

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE

**Explosive atmospheres –
Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance**

**Atmosphères explosives –
Partie 32-1: Dangers électrostatiques – Recommandations**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 21 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 21 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE

**Explosive atmospheres –
Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance**

**Atmosphères explosives –
Partie 32-1: Dangers électrostatiques – Recommandations**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.260.20

ISBN 978-2-8322-6241-2

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD.....	10
INTRODUCTION.....	12
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	16
4 Nomenclature	19
5 General	20
6 Static electricity in solid materials.....	21
6.1 General considerations	21
6.2 The use of conductive or dissipative materials in place of insulating ones.....	23
6.2.1 General considerations	23
6.2.2 Dissipative solid materials	23
6.2.3 Earthing of conductive and dissipative items.....	24
6.3 Precautions required when using insulating solid materials	25
6.3.1 General	25
6.3.2 Restrictions on the size of chargeable insulating surfaces	26
6.3.3 Earthed metal meshes	27
6.3.4 Insulating coatings on earthed conductive surfaces	27
6.3.5 Conductive or dissipative coatings on insulating materials	28
6.3.6 Static dissipative agents.....	29
6.3.7 Humidification.....	29
6.3.8 Ionisation / Charge Neutralisation.....	29
6.3.9 Methods to determine the incendivity of discharges	30
6.4 Conveyor belts and transmission belts	31
6.4.1 General	31
6.4.2 Conveyor belts	31
6.4.3 Transmission belts.....	32
7 Static electricity in liquids	33
7.1 General considerations	33
7.1.1 Occurrence of flammable atmospheres	33
7.1.2 Ignition sensitivity and limitations to the scope of advice.....	34
7.1.3 Charging mechanisms	35
7.1.4 Charge accumulation and conductivity classifications	35
7.1.5 Incendive discharges produced during liquid handling operations	36
7.2 Summary of precautions against ignition hazards during liquid handling operations.....	37
7.2.1 Earthing and avoidance of isolated conductors	37
7.2.2 Restricting charge generation	37
7.2.3 Avoidance of a flammable atmosphere	38
7.2.4 Promoting charge dissipation.....	38
7.3 Tanks and Containers	38
7.3.1 General	38
7.3.2 Conductive tanks and containers	39
7.3.3 Tanks and containers made entirely of dissipative material.....	52
7.3.4 Tanks and containers with insulating surfaces	52
7.3.5 Use of liners in containers	56

7.4	High viscosity liquids.....	57
7.5	High charging equipment	57
7.5.1	Filters, water separators and strainers	57
7.5.2	Pumps and other equipment	58
7.6	Gauging and sampling in tanks	59
7.6.1	General	59
7.6.2	Precautions during gauging and sampling.....	59
7.7	Pipes and hose assemblies for liquids.....	60
7.7.1	General	60
7.7.2	Pipes	60
7.7.3	Hoses and hose assemblies	63
7.8	Special filling procedures	69
7.8.1	Aircraft fuelling	69
7.8.2	Road tanker deliveries	70
7.8.3	Retail filling stations	71
7.8.4	Mobile or temporary liquid handling equipment.....	75
7.9	Plant processes (blending, stirring, mixing, crystallisation and stirred reactors)	75
7.9.1	General	75
7.9.2	Earthing.....	75
7.9.3	In-line blending.....	75
7.9.4	Blending in vessels or tanks.....	76
7.9.5	Jet mixing	76
7.9.6	High speed mixing	77
7.10	Spraying liquids and tank cleaning	77
7.10.1	General	77
7.10.2	Tank cleaning with low or medium pressure water jets (up to about 12 bar)	77
7.10.3	Tank cleaning with low conductivity liquids	78
7.10.4	Tank cleaning with high pressure water or solvent jets (above 12 bar).....	78
7.10.5	Steam cleaning tanks	78
7.10.6	Water deluge systems	79
7.11	Glass systems	79
7.11.1	General	79
7.11.2	Precautions to be taken for low conductivity liquids	79
8	Static electricity in gases	80
8.1	General.....	80
8.2	Grit blasting	80
8.3	Fire extinguishers	81
8.4	Inerting	81
8.5	Steam cleaning	81
8.6	Accidental leakage of compressed gas	81
8.7	Spraying of flammable paints and powders	82
8.7.1	General	82
8.7.2	Earthing.....	82
8.7.3	Plastic spray cabinets	82

8.8	Vacuum cleaners, fixed and mobile	82
8.8.1	General	82
8.8.2	Fixed systems.....	82
8.8.3	Portable systems	83
8.8.4	Vacuum trucks	83
9	Static electricity in powders	83
9.1	General.....	83
9.2	Discharges, occurrence and incendivity	84
9.3	Procedural measures	85
9.3.1	General	85
9.3.2	Humidification.....	85
9.3.3	Hoses for pneumatic transfer	85
9.3.4	Ionisation.....	85
9.4	Bulk materials in the absence of flammable gases and vapours.....	86
9.4.1	General	86
9.4.2	Equipment and objects made of conductive or dissipative materials.....	86
9.4.3	Equipment and objects made of insulating materials	86
9.4.4	Dust separators	87
9.4.5	Silos and Containers.....	87
9.5	Additional requirements for bulk material in the presence of flammable gases and vapours.....	93
9.5.1	General	93
9.5.2	Measures for resistivity greater equal 100 MΩ m	93
9.5.3	Measures for resistivity less than 100 MΩ m.....	93
9.5.4	Filling of bulk material into a container	94
9.6	Flexible intermediate bulk containers (FIBC)	95
9.6.1	General	95
9.6.2	Additional precautions when using FIBC	97
10	Static electricity when handling explosives and electro-explosive devices.....	98
10.1	Explosives manufacture, handling and storage.....	98
10.1.1	General	98
10.1.2	First degree protection.....	98
10.1.3	Intermediate protection	98
10.1.4	Second degree protection	98
10.2	Handling of electro-explosive devices	99
10.2.1	General	99
10.2.2	Earthing.....	99
10.2.3	Precautions during storage and issue	100
10.2.4	Precautions during preparation for use	100
11	Static electricity on people.....	100
11.1	General considerations	100
11.2	Static dissipative floors	101
11.3	Dissipative and conductive footwear	101
11.4	Supplementary devices for earthing of people.....	102
11.5	Clothing	102
11.6	Gloves	104
11.7	Other Items	104

12	Electrostatic shock	104
12.1	Introduction.....	104
12.2	Discharges relevant to electrostatic shocks.....	105
12.3	Sources of electrostatic shock.....	105
12.4	Precautions to avoid electrostatic shocks.....	106
12.4.1	Sources of electrostatic shocks.....	106
12.4.2	Reported shocks from equipment or processes.....	106
12.4.3	Shocks as a result of people being charged	106
12.5	Precautions in special cases	107
12.5.1	Pneumatic conveying.....	107
12.5.2	Vacuum cleaners	107
12.5.3	Reels of charged film or sheet	107
12.5.4	Fire extinguishers	108
13	Earthing and bonding.....	108
13.1	General.....	108
13.2	Criteria for the dissipation of static electricity from a conductor	109
13.2.1	Basic considerations.....	109
13.2.2	Practical criteria.....	109
13.3	Earthing requirements in practical systems	111
13.3.1	All-metal systems	111
13.3.2	Metal plant with insulating parts.....	112
13.3.3	Insulating materials	113
13.3.4	Conductive and dissipative materials	114
13.3.5	Earthing via intrinsic safety circuits.....	114
13.3.6	Earthing of ships.....	114
13.4	The establishment and monitoring of earthing systems	114
13.4.1	Design.....	114
13.4.2	Monitoring.....	115
Annex A	(informative) Fundamentals of static electricity	116
A.1	Electrostatic charging	116
A.1.1	Introduction	116
A.1.2	Contact charging	116
A.1.3	Contact charging of liquids	116
A.1.4	Charge generation on liquids flowing in pipes	117
A.1.5	Charge generation in filters.....	120
A.1.6	Charge generation during stirring and mixing of liquids.....	120
A.1.7	Settling potentials	120
A.1.8	Breakup of liquid jets	120
A.1.9	Contact charging of powders	120
A.1.10	Charging by induction	121
A.1.11	Charge transfer by conduction	121
A.1.12	Charging by corona discharge	121
A.2	Accumulation of electrostatic charge	121
A.2.1	General	121
A.2.2	Charge accumulation on liquids	122
A.2.3	Charge accumulation on powders	123
A.3	Electrostatic discharges	124
A.3.1	Introduction	124
A.3.2	Sparks.....	124

A.3.3	Corona	125
A.3.4	Brush discharges	125
A.3.5	Propagating brush discharges	126
A.3.6	Lightning like discharges	126
A.3.7	Cone discharges	127
A.4	Measurements for risk assessment	127
Annex B (informative)	Electrostatic discharges in specific situations	129
B.1	Incendive discharges involving insulating solid materials	129
B.1.1	General	129
B.1.2	Sparks from isolated conductors	129
B.1.3	Brush discharges from insulating solid materials	129
B.1.4	Propagating brush discharges from insulating solid materials	129
B.2	Incendive discharges produced during liquid handling	130
B.2.1	General	130
B.2.2	Calculated maximum safe flow velocities for filling medium-sized vertical axis storage tanks	130
B.3	Incendive discharges produced during powder handling and storage	132
B.3.1	General	132
B.3.2	Discharges from bulk powder	132
B.3.3	Discharges from powder clouds	132
B.3.4	Discharges involving insulating containers and people	132
B.3.5	The use of liners in powder processes	132
B.3.6	Spark discharges in powder processes	133
B.3.7	Brush discharges in powder processes	133
B.3.8	Corona discharges in powder processes	133
B.3.9	Propagating brush discharges in powder processes	133
Annex C (informative)	Flammability properties of substances	135
C.1	General	135
C.2	Effect of oxygen concentration and ambient conditions	135
C.3	Explosive limits for gases and liquids	135
C.4	Inerting	135
C.5	Flash point	136
C.6	Minimum ignition energies	136
C.7	Combustible powders	139
C.8	Biofuels	139
Annex D (informative)	Classification of hazardous areas	140
D.1	Concept of zoning	140
D.2	Classification	140
D.3	Explosion groups	140
D.3.1	General	140
D.3.2	Group I	140
D.3.3	Group II	141
D.3.4	Group III	141
Annex E (informative)	Classification of equipment protection level	142
Annex F (informative)	Flow chart for a systematic electrostatic evaluation	143
Annex G (informative)	Tests	145
G.1	General	145
G.2	Surface resistance	145

	G.2.1	General	145
	G.2.2	Principle	145
	G.2.3	Apparatus	145
	G.2.4	Test sample	146
	G.2.5	Procedure	147
	G.2.6	Acceptance criteria	147
	G.2.7	Test report	147
G.3		Surface resistivity	147
G.4		Leakage resistance	148
	G.4.1	General	148
	G.4.2	Principle	148
	G.4.3	Apparatus	148
	G.4.4	Test sample	148
	G.4.5	Procedure	149
	G.4.6	Acceptance criteria	149
	G.4.7	Test report	149
G.5		In-use testing of footwear	149
	G.5.1	General	149
	G.5.2	Principle	149
	G.5.3	Apparatus	149
	G.5.4	Procedure	150
	G.5.5	Acceptance criteria	150
	G.5.6	Test report	150
G.6		In-use testing of gloves	150
	G.6.1	General	150
	G.6.2	Principle	150
	G.6.3	Apparatus	151
	G.6.4	Procedure	151
	G.6.5	Acceptance criteria	151
	G.6.6	Test report	151
G.7		Powder resistivity	151
	G.7.1	General	151
	G.7.2	Principle	151
	G.7.3	Apparatus	152
	G.7.4	Procedure	152
	G.7.5	Acceptance criteria	153
	G.7.6	Test report	153
G.8		Liquid conductivity	153
	G.8.1	General	153
	G.8.2	Principle	153
	G.8.3	Apparatus	153
	G.8.4	Procedure	154
	G.8.5	Acceptance criteria	154
	G.8.6	Test report	154
G.9		Capacitance	155
	G.9.1	General	155
	G.9.2	Principle	155
	G.9.3	Apparatus	155
	G.9.4	Test sample	155

G.9.5	Procedure for moveable items	155
G.9.6	Procedure for installed items	156
G.9.7	Acceptance criteria	156
G.9.8	Test report	156
G.10	Transferred charge	157
G.10.1	General	157
G.10.2	Principle	157
G.10.3	Apparatus	157
G.10.4	Test sample	158
G.10.5	Procedure	158
G.10.6	Acceptance criteria	159
G.10.7	Test report	159
G.11	Ignition test	160
G.11.1	General	160
G.11.2	Apparatus	160
G.11.3	Procedure	163
G.11.4	Acceptance criteria	163
G.11.5	Test report	163
G.12	Measuring of charge decay	164
G.12.1	General	164
G.12.2	Principle	164
G.12.3	Apparatus	164
G.12.4	Test sample	165
G.12.5	Procedure	165
G.12.6	Acceptance criteria	166
G.12.7	Test report	166
G.13	Breakthrough voltage	166
G.13.1	General	166
G.13.2	Principle	166
G.13.3	Apparatus	166
G.13.4	Test procedure	167
G.13.5	Acceptance criteria	167
G.13.6	Test report	167
	Bibliography	169
	Figure 1 – Flow diagram: Assessment of bulk material with $\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$	89
	Figure 2 – Flow diagram: Assessment of bulk material with $1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$	90
	Figure 3 – Flow diagram: Assessment of bulk material with $\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$	91
	Figure 4 – Difference between earthing and bonding	108
	Figure 5 – Hazardous earthed conductor in contact with a flowing insulator	113
	Figure A.1 – Equivalent electrical circuit for an electrostatically charged conductor	122
	Figure B.1 – Calculated maximum safe filling velocities for medium sized tanks (see 7.3.2.2.5.2)	131
	Figure F.1 – Flowchart for a systematic electrostatic evaluation	144
	Figure G.1 – Test sample with applied electrodes	146
	Figure G.2 – Measuring cell for powder resistivity	152
	Figure G.3 – Measuring cell for liquid conductivity	154

Figure G.4 – Ignition probe	162
Figure G.5 – Perforated plate of ignition probe.....	163
Figure G.6 – Example of an arrangement for measurement of charge decay.....	165
Figure G.7 – Electrodes for measuring breakthrough voltage of sheets.....	167
Table 1 – Boundary limits at (23 ± 2) °C and (25 ± 5) % RH for the characterisation of solid materials and examples for the classification of objects	22
Table 2 – Maximum allowed isolated capacitance in Zones with explosive atmosphere.....	25
Table 3 – Restriction on size of insulating solid materials in hazardous areas	27
Table 4 – Maximum acceptable transferred charge	31
Table 5 – Requirements for conveyor belts	32
Table 6 – Requirements for transmission belts.....	33
Table 7 – Conductivities and relaxation times of some liquids	36
Table 8 – Precautions for filling large conductive tanks with low conductivity liquids	41
Table 9 – Filling rate limits for filling medium-sized vertical-axis tanks through schedule 40 pipes.....	47
Table 10 – Velocity and filling rate limits for loading low conductivity liquids into short (N=1), fixed horizontal axis tanks via schedule 40 pipes	48
Table 11 – Vehicles and compartments suitable for high-speed loading for ADR compliant vehicles	49
Table 12 – Influence of the sulphur content on middle distillate vd limits for road tankers	50
Table 13 – Velocity and filling rate limits for road tankers based on schedule 40 pipes; rates for hoses will be similar.....	50
Table 14 – Velocity and filling rate limits for loading rail tankers	51
Table 15 – Classification of end-to-end hose resistances for control of hazards from static electricity and stray current.....	64
Table 16 – ISO 8031 classification of hose grades.....	66
Table 17 – Hybrid grades of hoses and hose assemblies	67
Table 18 – Hose selection Table for flammable liquid service	68
Table 19 – Use of the different types of FIBC.....	96
Table 20 – Inner liners and FIBC: combinations that are permissible and not permissible in hazardous atmospheres	97
Table 21 – Determination of requirement for electrostatic dissipative protective clothing and other items of personal protective equipment	103
Table 22 – Summary of maximum earthing resistances for the control of static electricity in hazardous areas	110
Table A.1 – Charge build up on powders.....	121
Table A.2 – Values of capacitances for typical conductors	125
Table C.1 – Typical MIE intervals with examples.....	137
Table C.2 – Minimum ignition energy MIE and minimum ignition charge MIQ	138
Table G.1 – Volume concentrations of flammable gas mixtures.....	161

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EXPLOSIVE ATMOSPHERES –

Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC TS 60079-32-1, which is a technical specification, has been prepared by IEC Technical Committee 31: Equipment for explosive atmospheres, and IEC Technical Committee 101: Electrostatics.

This bilingual version (2018-11) corresponds to the monolingual English version, published in 2013-03.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
31/1033/DTS	31/1076/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical specification can be found in the report on voting indicated in the above table.

The French version of this technical report has not been voted upon.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 60079 series, under the general title *Explosive atmospheres*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013

INTRODUCTION

This IEC Technical Specification is based on CENELEC TR 50404:2003, *Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity* and a number of other documents:

- from the UK: BS 5958, Parts 1 & 2:1991, *Control of undesirable static electricity*,
- from Germany: TRBS 2153:2009, *Preventing risks of ignition due to electrostatic charges*,
- from Shell International Petroleum: *Static electricity – Technical and safety aspects*,
- from the US: NFPA 77, *Recommended Practice on Static Electricity* (2007),
- from Japan: JNIOH TR42, *Recommendations for Requirements for Avoiding Electrostatic Hazards in Industry* (2007),
- from ASTM, EUROPIA, IEC, International chamber of shipping, ISO etc.

It gives the best available accepted state of the art guidance for the avoidance of hazards due to static electricity.

This document is mainly written for designers and users of processes and equipment, manufacturers and test houses. It can also be used by suppliers of equipment (e.g. machines) and flooring or apparel when no product family or dedicated product standard exists or where the existing standard does not deal with electrostatic hazards.

A second part, IEC 60079-32-2, *Electrostatic Hazards, Tests*, is under development.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013

EXPLOSIVE ATMOSPHERES –

Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance

1 Scope

This part of IEC 60079 gives guidance about the equipment, product and process properties necessary to avoid ignition and electrostatic shock hazards arising from static electricity as well as the operational requirements needed to ensure safe use of the equipment, product or process. It can be used in a risk assessment of electrostatic hazards or for the preparation of product family or dedicated product standards for electrical or non-electrical machines or equipment.

The hazards associated with static electricity in industrial processes and environments that most commonly give problems are considered. These processes include the handling of solids, liquids, powders, gases, sprays and explosives. In each case, the source and nature of the electrostatic hazard are identified and specific recommendations are given for dealing with them.

The purpose of this document is to provide standard recommendations for the control of static electricity, such as earthing of conductors, reduction of charging and restriction of chargeable areas of insulators. In some cases static electricity plays an integral part of a process, e.g. electrostatic coating, but often it is an unwelcome side effect and it is with the latter that this guidance is concerned. If the standard recommendations given in this document are fulfilled it can be expected that the risk of hazardous electrostatic discharges in an explosive atmosphere is at an acceptably low level.

If the requirements of this document cannot be fulfilled, alternative approaches can be applied under the condition that at least the same level of safety is achieved.

Basic information about the generation of undesirable static electricity in solids, liquids, gases, explosives, and also on people, together with descriptions of how the charges generated cause ignitions or electrostatic shocks, is given in the annexes and in IEC TR 61340-1.

This Technical Specification is not applicable to the hazards of static electricity relating to lightning or to damage to electronic components.

This Technical Specification is not intended to supersede standards that cover specific products and industrial situations.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*

IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Combustible dust atmospheres*

IEC 60079-14, *Explosive atmospheres – Part 14: Electrical installations design, selection and erection*

IEC 60079-20-1, *Explosive atmospheres – Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification – Test methods and data*

IEC 60079-32-21, *Explosive atmospheres – Part 32-2: Electrostatic hazards – Tests*

IEC 60093, *Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials*

IEC 60167, *Methods of test for the determination of the insulation resistance of solid insulating materials*

IEC 61340-2-3, *Electrostatics – Part 2-3: Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid planar materials used to avoid electrostatic charge accumulation*

IEC 61340-4-1, *Electrostatics – Part 4-1: Standard test methods for specific applications – Electrical resistance of floor coverings and installed floors*

IEC 61340-4-3, *Electrostatics – Part 4-3: Standard test methods for specific applications – Footwear*

IEC 61340-4-4:2012, *Electrostatics – Part 4-4: Standard test methods for specific applications – Electrostatic classification of flexible intermediate bulk containers (FIBC)*

ISO 284, *Conveyor belts – Electrical conductivity – Specification and test method*

ISO 6297, *Petroleum products – Aviation and distillate fuels – Determination of electrical conductivity*

ISO 8031, *Rubber and plastics hoses and hose assemblies – Determination of electrical resistance*

ISO 9563, *Belt drives; electrical conductivity of antistatic endless synchronous belts; characteristics and test method*

ISO 12100-1, *Safety of machinery – Basic concepts, general principles for design – Part 1: Basic terminology, methodology*

ISO 16392, *Tyres – Electrical resistance – Test method for measuring electrical resistance of tyres on a test rig*

ISO 21178, *Light conveyor belts – Determination of electrical resistances*

ISO 21179, *Light conveyor belts – Determination of the electrostatic field generated by a running light conveyor belt*

ISO 21183-1, *Light conveyor belts – Part 1: Principal characteristics and applications*

¹ To be published.

ASTM D257, *Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials*

ASTM D2624-07a, *Standard Test Methods for Electrical Conductivity of Aviation and Distillate Fuels*

ASTM D4308-95, *Standard Test Method for Electrical Conductivity of Liquid Hydrocarbons by Precision Meter*

ASTM E582-88, *Standard test method for minimum ignition energy and quenching distance in gaseous mixtures*

ASTM E2019-03, *Standard test method for minimum ignition energy of a dust cloud in air*

ASTM F150, *Standard Test Method for Electrical Resistance of Conductive and Static Dissipative Resilient Flooring*

ASTM F1971, *Standard Test Method for Electrical Resistance of Tires Under Load On the Test Bench*

BS 5958: *Code of practice for control of undesirable static electricity*

Part 1: *General considerations*

Part 2: *Recommendations for particular industrial situations*

BS 7506, *Methods for measurements in electrostatics – Part 2 Test methods*

DIN 51412-1, *Testing of petroleum products; determination of the electrical conductivity, laboratory method*

DIN 51412-2, *Testing of petroleum products; determination of the electrical conductivity; field method*

EN 1081, *Resilient floor coverings – Determination of the electrical resistance*

EN 1149-3, *Protecting clothes – Electrostatic properties – Part 3: Test method for measuring the charge dissipation*

EN 1149-5, *Protective clothing – Electrostatic properties – Part 5: Material performance and design requirements*

EN 1360, *Rubber and plastic hoses and hose assemblies for measured fuel dispensing systems – Specification*

EN 1361, *Rubber hoses and hose assemblies for aviation fuel handling – Specification*

EN 13463-1, *Non-electrical equipment for potentially flammable atmospheres – Part 1: Basic principles and general requirements*

EN 14125, *Underground pipework for petrol filling stations*

EN 14973, *Conveyor belts for use in underground installations – Electrical and flammability safety requirements*

International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT), fifth edition, International chamber of shipping, 2006.

JNIOOSH TR 42, *Recommendations for Requirements for Avoiding Electrostatic Hazards in Industry*

NFPA 77, *Recommended practice on static electricity*

SAE J1645, *Surface vehicle recommended practice – Fuel systems and Components – Electrostatic Charge Mitigation*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document the following terms and definitions apply:

3.1

antistatic

conductive or dissipative

Note 1 to entry: Used to describe a material that is incapable of retaining a significant electrostatic charge when in contact with earth. In this context the word is commonly used to describe a type of footwear and antistatic additives (ASAs) for use with liquids.

Note 2 to entry: Preferred term is conductive or dissipative depending on which is correct.

3.2

conductive

having a resistivity or resistance below the dissipative range (see 3.7) allowing stray current arcs and electrostatic shocks to occur

Note 1 to entry: Conductive materials or objects are neither dissipative nor insulating and are incapable of retaining a significant electrostatic charge when in contact with earth.

Note 2 to entry: Boundary limits for the conductive range are given for solid materials, enclosures and some objects in 6.1 (Table 1), and for bulk materials in 9.1. For certain items, special definitions are maintained in other standards (see 3.3, 3.8 and 3.9).

Note 3 to entry: Product standards and other standards covering electrostatic properties often include specific definitions of “conductive” which apply only to items covered by those standards and may be different to the definitions given here. See e.g. ISO 8031 and ISO 8330 for hose and hose assemblies.

3.3

conductive footwear

footwear ensuring that a person standing on a conductive floor has a resistance to earth low enough to ensure dissipation of electrostatic charges even in particularly hazardous situations (e.g. when handling sensitive explosives) but not high enough to prevent a hazardous electrical shock at voltages less than 500 V

Note 1 to entry: See IEC 61340-4-3 and IEC 61340-4-5.

3.4

conductivity

electrical conductivity

reciprocal of volume resistivity, expressed in siemens per meter

3.5

conductor

conductive object

3.6

contaminated liquid

liquid containing more than 0,5 % by volume of free water or other immiscible liquids or more than 10 mg/l of suspended solids

3.7

dissipative

electrostatic dissipative

having an intermediate resistivity or resistance that lies between the conductive and insulating ranges (see 3.2 and 3.15)

Note 1 to entry: Dissipative materials or objects are neither conductive nor insulating but, like conductive items, safely limit contact charging and/or dissipate even the maximum charging currents associated with their designed application when in contact with earth.

Note 2 to entry: Boundary limits for the dissipative range are given for solid materials, enclosures and some objects in Table 1, and for bulk materials in 9.1. For certain items, special definitions are maintained in other standards (see 3.3, 3.8 and 3.9).

Note 3 to entry: Product standards often include specific definitions of “dissipative” which apply only to items covered by those standards and may be different to the definitions given here.

3.8

dissipative clothing

clothing that meets the material and design requirements specified in EN 1149-5

3.9

dissipative footwear

footwear ensuring that a person standing on a conductive or dissipative floor has a resistance to earth low enough to ensure dissipation of electrostatic charges but high enough to prevent a hazardous electrical shock at voltages less than 500 V

Note 1 to entry: See IEC 61340-4-3 and IEC 61340-4-5.

Note 2 to entry: Antistatic footwear as described in ISO 20345 may fulfil this function.

3.10

electrostatic shock

pathophysiological effect resulting from an electric current caused by an electrostatic discharge passing through human or animal body

3.11

enclosure

all the walls, doors, covers, cable glands, rods, spindles, shafts, coatings etc. which surround and enclose equipment

Note 1 to entry: For electrical equipment, the enclosure is likely to be identical to the enclosure defined in IEC 60079-0.

Note 2 to entry: Containers, e.g. drums and FIBC, are not equipment enclosures and, therefore, are considered separately in 9.6.

3.12

hazardous area

area in which flammable or explosive gas/vapour-air or dust-air mixtures or aerosols are, or can be, present in such quantities as to require special precautions against ignition

Note 1 to entry: See IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2. A short summary is given in Annex D.

3.13

high charging

a process that generates a higher rate of electrostatic charging than simple manual operations

EXAMPLE Rubbing, cleaning with a cloth, raising from a seat, walking, wiping of clothes etc.

Note 1 to entry: Typical examples of high charging operations include e.g. the flow of insulating liquids or powders and high voltage spray charging.

3.14**hybrid mixture**

an explosible heterogeneous mixture, comprising gas or vapour with suspended particulate solid or liquid, in which the total flammable gas concentration is at least 10 % of its lower flammable limit (LFL) and the total suspended particulate concentration is at least 10 % of its minimum explosible concentration (MEC)

3.15**insulating**

having a resistivity or resistance that is higher than the dissipative range (see 3.7)

Note 1 to entry: Insulating materials or objects are neither conductive nor dissipative. Electrostatic charges can accumulate on them and do not readily dissipate even when they are in contact with earth.

Note 2 to entry: Boundary limits for the insulating range are given for solid materials, enclosures and some objects in Table 1, for bulk materials in 9.1. For certain items, special definitions are maintained in other standards (see 3.3, 3.8 and 3.9).

Note 3 to entry: Product standards and other standards covering electrostatic properties often include specific definitions of “insulating” which apply only to items covered by those standards and may be different to the definitions given here. See e.g. ISO 8031 and ISO 8330 for hose and hose assemblies.

Note 4 to entry: The adjective “non-conductive” has often been used as a synonym for insulating. It is avoided in this document as it could be taken to mean either “insulating” or “insulating or dissipative” and this may lead to confusion.

3.16**isolated conductor**

conductive object which can accumulate charge due to an earth leakage resistance exceeding the values given in Table 22

3.17**leakage resistance****resistance to earth**

resistance expressed in ohms between an electrode in contact with the surface to be measured and earth

Note 1 to entry: The resistance depends upon the volume or surface resistivity of the materials and the distance between the chosen point of measurement and earth.

Note 2 to entry: One common configuration (e.g. in IEC 61340-4-1, ISO 10965 and ASTM F150) uses a circular electrode, (65 ±5) mm in diameter.

3.18**minimum ignition energy****MIE**

minimum energy that can ignite a mixture of a specified flammable material with air or oxygen, measured by a standard procedure

Note 1 to entry: See ASTM E582-88 for gases and vapours, IEC 61241-2-3, ASTM E2019-03 and EN 13821 for dust clouds.

3.19**multiphase liquid**

mixture of immiscible liquids that form separate phases with a distinct interfacial boundary, and solids suspended in liquids, and gas bubbles suspended in liquids

Note 1 to entry: Liquid-in-gas suspensions (mists or sprays) are covered separately.

3.20**relaxation time**

time during which the electrostatic charge on a solid surface or in the bulk of a liquid or powder decays exponentially to 1/e (i.e. about 37 %) of its original value (see A.2.2)

Note 1 to entry: For high charge generation with high resistivity liquids, relaxation may be hyperbolic rather than exponential.

3.21

surface resistance

resistance expressed in ohms between two electrodes in contact with the surface to be measured

Note 1 to entry: One common configuration (e.g. in IEC 60079-0 and IEC 60167) uses parallel electrodes, 100 mm long and 10 mm apart)

Note 2 to entry: The surface resistance is dependent upon the electrode configuration. The surface resistance measured with the example electrode configuration is ten times lower than the surface resistivity.

Note 3 to entry: Soft conductive rubber strip electrodes are preferred over silver paint electrodes.

3.22

surface resistivity

resistance across opposite sides of a surface of unit length and unit width commonly expressed in ohms (or ohms/square)

Note 1 to entry: This configuration is used e.g. in ASTM D257 and BS 7506-2.

3.23

volume resistivity

resistance of a body of unit length and unit cross-sectional area expressed in ohm metres

4 Nomenclature

Electrostatic safety regulations use many adjectives to classify the conducting ability of materials and objects. Different regulations and different industries use different adjectives and, even when the same adjectives are used, their definitions can vary. The nomenclature that is systematically followed in this document is given here in order to avoid confusion and to assist with translation:

Solid materials are classified as conductive, dissipative or insulating according to their volume resistivity (see 3.2, 3.7 and 3.15). Boundary limits are given in Table 1.

Solid objects and **textiles** are classified as conductive, dissipative or insulating according to their surface or leakage resistance, depending on application (see 3.2, 3.7 and 3.15). Boundary limits for enclosures and some objects are given in Table 1. For certain items, special definitions are maintained in other standards (see 3.3, 3.8 and 3.9).

Bulk materials (powders etc.) are classified as low, medium or high resistivity according to their volume resistivity (see 9.1 for boundary limits).

Liquids are classified as high, medium or low conductivity according to their electrical conductivity (see 7.1.4 for boundary limits).

NOTE More details about electrostatic properties, concepts and terms are given in Annexes A to G.

Resistances have mainly been stated in exponential form in other documents. However, exponents are small figures, and the exponents 6, 8 and 9 mainly used in electrostatics are easily misread in printed or projected documents, and even unreadable if they occur in notes. For this reason this document uses SI prefixes instead of exponents:

$$10^3 \, \Omega = 1 \, \text{k}\Omega$$

$$10^6 \, \Omega = 1 \, \text{M}\Omega$$

$$10^8 \, \Omega = 100 \, \text{M}\Omega$$

$$10^9 \Omega = 1 \text{ G}\Omega$$

$$10^{11} \Omega = 100 \text{ G}\Omega$$

$$10^{12} \Omega = 1 \text{ T}\Omega$$

Current is, for the same reasons, also given in SI prefixes instead of exponents:

$$10^{-3} \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

$$10^{-6} \text{ A} = 1 \mu\text{A}$$

$$10^{-9} \text{ A} = 1 \text{ nA}$$

$$10^{-12} \text{ A} = 1 \text{ pA}$$

5 General

Static electricity occurs commonly in industry and daily life. Many of the effects are harmless and either pass completely unnoticed or are simply a nuisance, but static electricity can also give rise to a hazardous situation. In such situations, the hazard can generally be reduced by charge relaxation (see Annex A).

Hazards caused by electrostatic charge include:

- a) ignition and / or explosion of flammable atmospheres, see IEC 60079-0 and EN 13463-1;
- b) electrostatic shock in combination with another hazard (e.g. fall, trip) – see ISO 12100-1;
- c) electrostatic shock giving rise to injury or death, see ISO 12100-1;
- d) damage to electronics (not covered by this document).

In addition, static electricity can introduce operational problems during manufacturing and handling processes, e.g. by causing articles to adhere to each other, or by attracting dust.

Static electricity is generated by:

- a) the contact and separation of solids e.g. the movement of conveyor belts, plastics film, etc. over rollers, the movement of a person;
- b) the flow of liquids or powders, and the production of sprays;
- c) induction phenomena, i.e. objects reach high potential or become charged due to being in an electric field.

The accumulation of electrostatic charge can give rise to hazards and problems in a wide range of industries and working environments, and to ignition and explosion hazards particularly in chemicals, pharmaceuticals, petroleum and food processing industries.

Because of the large number of industrial processes that could be involved it is not possible to give detailed information relevant to all of them. Instead, this document attempts to describe the problems associated with each process, and to give advice on how to avoid them. This information should enable the plant operator to take whatever precautions could be necessary to avoid ignitions of potentially flammable atmospheres and electrostatic shocks.

For convenience this document is divided into a number of clauses. These deal with problems associated with the following:

- a) the handling of solids;
- b) the storage and handling of liquids;
- c) the handling of gases and vapours;
- d) the storage and handling of powders;
- e) the storage and handling of explosives

- f) electrostatic problems caused by people;
- g) avoidance of electrostatic shock;
- h) earthing and bonding of plant and machinery;
- i) measuring methods.

This document also contains some fundamental information relating to electrostatic charging and its problems. This is contained in Annexes A to G and it should enable the reader to better understand the advice given and also to extend the advice to processes that have not been dealt with in the guidance.

As this document is very complex, correctly evaluating the electrostatic hazards of products and processes may not be easy for new readers. For this reason a universally applicable informative Annex F has been appended which references the relevant sections of this document in the correct order.

It is very seldom that an electrostatic hazard can be treated by itself. Precautions against electrostatic hazards should be in addition to other precautions, e.g. explosion protection. They should also be consistent with precautions taken to avoid other hazards that may be present, such as ignitions due to other causes, and toxicity. It is important that all sources of risk in a system of work are considered and that a balanced approach to safety that covers all risks is adopted. In particular, care should be exercised in the provision of earthing systems where they can interfere with other protective systems, e.g. cathodic protection or intrinsically safe electrical equipment.

6 Static electricity in solid materials

6.1 General considerations

Solid materials are usually characterised as insulating, dissipative or conductive according to their volume resistivity. Enclosures are usually classified according to their surface resistance or resistivity (measured according to IEC 60079-0, IEC 60167, IEC 60093 or IEC 61340-2-3 or equivalent methods). Measuring details will also be dealt with in IEC 60079-32-2². The two surface classifications are equivalent because the surface resistivity is ten times higher than the surface resistance for the specified electrode geometries. For other specific applications different definitions may be applicable (e.g. leakage resistance in the case of floors). The thresholds most commonly used for these purposes are shown in Table 1.

² To be published.

Table 1 – Boundary limits at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(25 \pm 5) \% \text{RH}$ for the characterisation of solid materials and examples for the classification of objects

Object	Unit	See subclause	Conductive	Dissipative ^a	Insulating ^a
Material	Volume Resistivity ($\Omega \text{ m}$)	6.2.1	$< 100 \text{ k}\Omega \text{ m}$	$100 \text{ k}\Omega \text{ m to } < 1 \text{ G}\Omega \text{ m}$	$\geq 1 \text{ G}\Omega \text{ m}$
Enclosure	Surface Resistance (Ω)	6.2.1	$< 10 \text{ k}\Omega$	$10 \text{ k}\Omega \text{ to } < 100 \text{ G}\Omega$	$\geq 100 \text{ G}\Omega$
	Surface Resistivity (Ω)	6.2.1	$< 100 \text{ k}\Omega$	$100 \text{ k}\Omega \text{ to } < 1 \text{ T}\Omega$	$\geq 1 \text{ T}\Omega$
Clothes	Surface Resistance, (Ω)	11.5	Not available	$< 2,5 \text{ G}\Omega$	$\geq 2,5 \text{ G}\Omega$
Footwear	Leakage resistance (Ω)	11.3	$< 100 \text{ k}\Omega$	$100 \text{ k}\Omega \text{ to } < 100 \text{ M}\Omega$	$\geq 100 \text{ M}\Omega$
Gloves	Leakage resistance (Ω)	11.6	$< 100 \text{ k}\Omega$	$100 \text{ k}\Omega \text{ to } < 100 \text{ M}\Omega$	$\geq 100 \text{ M}\Omega$
Floor	Leakage resistance (Ω)	11.2	$< 100 \text{ k}\Omega$	$100 \text{ k}\Omega \text{ to } < 100 \text{ M}\Omega$	$\geq 100 \text{ M}\Omega$
Pipes	Resistance per length (Ω/m)	7.7.2.1	$< 1 \text{ k}\Omega/\text{m}$	$1 \text{ k}\Omega/\text{m to } < 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$	$\geq 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$
Hoses^b	Resistance per assembly (Ω)	7.7.3.1	$< 1 \text{ k}\Omega$	$1 \text{ k}\Omega \text{ to } < 1 \text{ M}\Omega$	$\geq 1 \text{ M}\Omega$
^a Where local ambient conditions are significantly different from the stated worst case test condition of $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(25 \pm 5) \% \text{RH}$, other test conditions may be used after a careful hazard evaluation. In some countries, especially during winter, a relative humidity of $(12 \pm 3) \%$ at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ is an appropriate test environment for qualifying equipment. As the resistance of non-metals usually depends strongly on the measuring voltage, the measuring voltages (typically 500 to 1 000 V) should be chosen to be consistent with the purpose of the measurement and stated with the test result. ^b According to ISO 8031, the values for hoses are measured at $(50 \pm 5) \% \text{RH}$ and are the latest ones taken from Table 15 in 7.7.3.1. In the past, slightly different values have been used in ISO and CENELEC documents. Other classifications may be used by industry standards for specific applications (e.g. in ISO 8031 conductive hoses for industry applications, dissipative antistatic hoses for automobile applications) which does not necessarily imply electrostatic safety.					

Enclosure criteria are to prevent tribo-charging and thus do not necessarily dissipate charge deposited from unspecified processes within the enclosure.

Different values measured at 50 % RH have been applied in the past in the absence of a dehumidified test chamber and are considered to err on the safe side. This approach has now been discontinued, and limits at 50 % RH are, except for hoses, given in other documents only. They should only be used if an appropriate climate is not available. As the chargeability of materials is higher at 20 % RH compared to 30 % RH, the former value of 30 % RH has been reduced to $(25 \pm 5) \% \text{RH}$. A relative humidity at the lower part of the interval should be applied during measurements whenever possible.

When characterizing non-homogenous materials the measured values should be averaged and rounded to the nearest order of magnitude unless otherwise specified by the test method. Non-homogeneous materials may exhibit different resistivity in different directions

Instead of measuring resistance, the rate of charge decay may be used to characterize the dissipative behaviour of clothing (see EN 1149-3 and EN 1149-5).

Electrically insulating solid materials are commonly used in many forms, including pipes, containers, sheets, coatings and liners. The use of electrically insulating solid materials in hazardous areas can give rise to many electrostatic hazards, in particular:

- a) conductive objects could be isolated from earth by the material and could then reach a high electrical potential and give rise to sparks (see A.3.2);
- b) charges on the surface of the material could lead to brush discharges (see A.3.4);
- c) a combination of conductive and insulating materials in the presence of prolific charge generators (see 12.3) could lead to energetic propagating brush discharges (see A.3.5).

Measures to address these hazards are given in 6.2, 6.3 and 6.4.

If insulating materials are used, a risk assessment is necessary to identify if there is any process that can lead to direct production of or indirect induction of electrostatic charging on insulated materials that are present in the location.

6.2 The use of conductive or dissipative materials in place of insulating ones

6.2.1 General considerations

It is generally good practice to minimise the use of insulating materials in hazardous areas. While this may be achieved primarily by the use of inherently conductive materials (e.g. metals), many materials which used to be available only in insulating forms (e.g. rubbers or plastics) are now available in grades which meet the requirements to be considered conductive or dissipative as given in Table 1. This increase in conductivity is typically achieved either by adding conductive ingredients (e.g. carbon black) to its composition, or by applying hygroscopic agents to its surface that attract atmospheric moisture – conductive polymers, laminates with conductive elements and metallised films have all been developed for improved static dissipation.

It is important that such conductive and dissipative materials are earthed reliably according to Clause 13 and are long lasting according to Clause 13. Also, if conductive or dissipative coatings are used to make an insulating material non-chargeable, it is important that such coatings are properly earthed, and that their durability and suitability for use in hazardous areas (particularly Zone 0 and Zone 1) is demonstrated for the particular application.

Another consideration is that the use of a high proportion of additives such as carbon black may degrade the physical properties (primarily strength and chemical resistance) of the material. This may render such materials unsuitable for certain applications. This can be avoided by using intrinsically conductive polymers as a conducting ingredient or coating. Care should be taken to ensure sufficiently high concentrations of dissipative additives and their uniform distribution.

NOTE It is not possible to determine whether materials may be dissipative or conductive by their colour. Black polymers may not be dissipative, and modern conductive or dissipative materials may be available in a variety of colours.

Fabrics, e.g. filter cloth, can be made dissipative by incorporating stainless steel or other conductive or dissipative fibres in the fabric. Care has to be taken to ensure that, as a result of washing or mechanical stress, the overall conductivity of the fabric is maintained and isolated patches of conductive fibres are not formed.

6.2.2 Dissipative solid materials

A solid material is defined as dissipative if its surface resistance, surface resistivity or volume resistivity meet the combined criteria set out in 6.1.

In general, providing that dissipative materials are connected to earth according to Clause 13, no further protective measures need to be taken. However, in processes involving high speed separation (e.g. conveyor and transmission belts, see 6.4) lower resistivities and resistances can be required.

NOTE 1 For materials with resistivities at the top end of the dissipative range there will be significant constraints on the possible geometry of a manufactured item if the requirements of Clause 13 are to be met (e.g. long pipes or thin filaments will not meet the earthing requirements whilst thin sheets with a large earth contact area will).

In some cases, particularly with plastic films or sheeting, a material is added to attract atmospheric moisture to the surface, thus increasing surface conductivity. Care should be taken where this type of dissipative plastic film or sheeting is used in low humidity conditions: in environments with low humidity (typically <30 %), it can become insulating and accumulate electrostatic charge.

It should be ensured that a dissipative coating cannot be washed away or rubbed off and cannot lose its effectiveness over time. Otherwise such a coating would only be appropriate as a temporary measure to reduce accumulation of static electric charge.

Dissipative agents used in packaging should be compatible with the product contained within the package. Absorption of the dissipative agents by product with which it is in contact may cause product contamination and / or loss of dissipative properties of the package.

NOTE 2 New static dissipative additives are available which increase the volume resistivity and are, therefore, less sensitive to humidity but are also affected by aging as are other additives.

NOTE 3 The resistance of dissipative materials made from rubber vulcanized with carbon black may increase with decreasing temperature. Such materials may, for example, be dissipative (~100 MΩ) at 20 °C but insulating (~10 TΩ) at 0 °C.

6.2.3 Earthing of conductive and dissipative items

All metal and other conductive or dissipative material should be connected to earth according to Clause 13 with the exception of very small items. The capacitance of isolated items depends on their size, surrounding materials and proximity to other conductors and may be very different under installed or non-installed conditions. The maximum allowable capacitance of isolated items depends on the ignitability of the gases, vapours and dust expressed by the representative gas groups I, IIA, IIB and IIC (IEC 60079-20-1, see D.3) or dust group III (IEC 60079-0) and the classification of the hazardous area (IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2, see D.2) as shown in Table 2, taking account of the following:

- a) Capacitances below 3 pF need not be earthed provided that the object cannot reach a hazardous potential and is not situated in Zone 0 when gases or vapours belonging to Group IIC are used.
- b) In Zone 1 where gases or vapours belonging to Group IIA are used, and in Zones 20 and 21 the maximum allowed isolated capacitance may be increased to 6 pF provided high charging processes do not occur.
- c) In dust Zones 20 and 21 and in Group I the maximum allowed isolated capacitance may be further increased to 10 pF provided that either high charging processes do not occur or only powders with minimum ignition energies higher than 10 mJ are handled.
- d) The limits in Table 2 are not absolute values that prevent incendive discharges, but they merely reduce the risk of occurrence to a generally accepted low level.
- e) Hand held devices and hand tools are expected to be earthed via the user. In any case of doubt the user should ensure earthing of the device when working in hazardous areas.
- f) People are conductive items having sufficient capacitance to produce an incendive discharge. They, therefore, should be earthed according to Clause 11 before entering a hazardous area Zone 0, 1, 20, 21 or Group I.

Capacitances should be measured according to IEC 60079-0, 26.15.

NOTE It is scheduled to revise this method and move it to IEC 60079-32-2³.

³ To be published.

Table 2 – Maximum allowed isolated capacitance in Zones with explosive atmosphere

	Group I	Group IIA	Group IIB	Group IIC	Group III	Additional condition
Zone 0	10 pF	3 pF	3 pF	No isolated conductive objects allowed	-	No high charging processes
Zone 1		6 pF	3 pF	3 pF	-	
Zone 2		No requirements if charging processes capable of generating hazardous potentials are unlikely to occur during normal operation including maintenance and cleaning			-	
Zones 20,21 MIE < 10 mJ		-	-	-	6 pF	
Zones 20,21 MIE > 10 mJ		-	-	-	10 pF	
Zone 22		-	-	-	No requirements if charging processes capable of generating hazardous potentials are unlikely to occur during normal operation including maintenance and cleaning	
NOTE 1 The subdivisions are based on the maximum experimental safe gap (MESG) or the minimum ignition current ratio (MIC ratio) of the explosive gas atmosphere in which the equipment may be installed (see IEC 60079-20-1). More details can be found in C.6 and D.3.						
NOTE 2 Manual rubbing is usually not considered to be a high charging process.						

For dissipative materials with a surface resistance exceeding 10 GΩ earthing may not be necessary. In any case of doubt an additional test is necessary to prove electrostatic safety of unearthed objects (e.g. 6.3.9).

6.3 Precautions required when using insulating solid materials

6.3.1 General

The restrictions on the use of insulating materials in hazardous areas depend on the classification of the hazardous area according to IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2:

- in Zone 0, insulating solid materials should only be used if charging processes capable of generating hazardous potentials will not occur either during normal operation including maintenance and cleaning or even in the case of rare malfunctions;
- in Zone 1, insulating solid materials should only be used if charging processes capable of generating hazardous potentials will not occur either during normal operation including maintenance and cleaning or in the case of likely malfunctions;
- in Zone 2, insulating solid materials should only be used if charging processes capable of generating hazardous potentials are unlikely to occur during normal operation including maintenance and cleaning.
- in Zones 20, 21 and 22 consideration should be given to spark, brush, cone, and propagating brush discharges (see A.3). However, practical experience, experimental evidence and the absence of incidents indicate that brush discharges do not ignite even ignition sensitive powder clouds in the absence of any flammable gas or vapour.

NOTE 1 Synthetic fabrics used in cloths for cleaning or wiping can develop sufficient static electric charge to produce discharges capable of igniting solvent vapours. Typically, charge generation increases with the speed and vigour of the wiping action. The material being cleaned or wiped, if insulating, also can accumulate sufficient charge to produce an incendive discharge. Cotton or synthetic fabric treated with a static dissipative compound may be required if static electric charge generation needs to be controlled, especially if flammable insulating solvents are being used for cleaning or wiping.

NOTE 2 The presence of contamination (e.g. grease or moisture) may affect the potential ignition hazard when using insulating materials.

NOTE 3 Conductive solids, objects or liquids may form hazardous isolated conductive islands if present on charged insulating surfaces.

In addition, to prevent incendive discharges the precautions given in 6.3.2 to 6.3.4 should be taken in all Zones where the use of insulating solid materials is unavoidable. The precautions given in 6.3.2 to 6.3.4 relate to the avoidance of incendive brush discharges, that given in 6.3.4 also relates to propagating brush discharges.

6.3.2 Restrictions on the size of chargeable insulating surfaces

Where the use of chargeable insulating material in a hazardous area is necessary, the maximum allowable size of insulating surface depends on the ignitability of the gases and vapours expressed by the representative groups I, IIA, IIB, IIC (IEC 60079-20-1) or the representative dust group III (IEC 60079-0) and the classification of the hazardous area (IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2, see D.2) as shown in Table 3, taking account of the following:

- a) for sheet materials the area is defined by the exposed (chargeable) area;
- b) for curved or irregularly shaped objects the area is the projection of the object giving the maximum area;
- c) for long narrow materials, such as cable sheaths or pipes, the maximum size is defined by the transverse dimension (i.e. the diameter for a cable sheath or pipe); although when it is coiled it should be treated as for a sheet;
- d) even smaller diameters can be required for narrow pipes or tubes containing flowing liquids or powders;
- e) normal electric cables are usually acceptable in all zones. See IEC 60079-14. Very thick insulating layers on thick cables should, however, be tested experimentally e.g. according to IEC 60079-0:2007, 26.14.

NOTE It is scheduled to revise this method and move it to IEC 60079-32-2⁴.

It is essential that non-conductive solid materials used in hazardous areas do not exceed the maximum area or width values given in Table 3 for the zone within which it is used unless it can be experimentally shown that hazardous electrostatic charges are not to be expected (see 6.3.9) or charging mechanisms will not occur at any time. An example of the last-named case is signs or lamps at the ceiling which are normally not exposed to any charging mechanisms. In this case, a warning "Clean with a water-wet cloth only and allow to dry naturally" is sufficient to avoid charging when cleaning.

⁴ To be published.

Table 3 – Restriction on size of insulating solid materials in hazardous areas

Zone	Group I		Group IIA		Group IIB		Group IIC		Group III	
	Max area (mm ²)	Max width (mm)	Max area (mm ²)	Max width (mm)	Max area (mm ²)	Max width (mm)	Max area (mm ²)	Max width (mm)	Max area (mm ²)	Max width (mm)
0	10 000	30	5 000	3	2 500	3	400	1	-	-
1			10 000	30	10 000	30	2 000	20	-	-
2			No size limit (but see 6.3.1)		No size limit (but see 6.3.1)		No size limit (but see 6.3.1)		-	-
20 21 22	-	-	-	-	-	-	-	-	No size limit (but see 6.3.1)	

NOTE 1 The width criterion applies to thin pipes, cable sheaths, and other insulating materials having small widths or diameters.

NOTE 2 Equipment marked IIB is suitable for applications requiring Group IIA equipment. Similarly, equipment marked IIC is suitable for applications requiring Group IIA or Group IIB equipment.

NOTE 3 These border limits are also used e.g. in IEC 60079-0, CENELEC TR 50404, TRBS 2153, JNIO SH TR42, and BS 5958.

NOTE 4 The subdivisions are based on the maximum experimental safe gap (MESG) or the minimum ignition current ratio (MIC ratio) of the explosive gas atmosphere in which the equipment may be installed (see IEC 60079-20-1). More details can be found in C.6 and D.3.

NOTE 5 The limits in Table 3 are not absolute values that prevent incendive discharges, they merely reduce it to a generally accepted low level.

NOTE 6 The present state of knowledge indicates that there is no ignition risk due to brush discharges in the case of sensitive dusts providing that there are no flammable gases or vapours (see Annex A.3.4). However, charge generation processes stronger than manual rubbing may create incendive propagating brush discharges under certain circumstances (see 6.3.4.2).

6.3.3 Earthed metal meshes

The areas given in Table 3 can be increased by a factor of four by incorporating an earthed mesh (or metal frame) into the insulating solid or by wrapping such a mesh around its surface. In addition:

- the layer thickness above the mesh should be restricted to the values given in 6.3.4.2 to prevent brush discharges; and
- propagating brush discharges should be prevented according to 6.3.4.3; and
- special care should be taken to prevent or detect breaks which could lead to isolated conductive parts which present a greater electrostatic hazard than an insulating surface.

6.3.4 Insulating coatings on earthed conductive surfaces

6.3.4.1 General

Layers or coatings of insulating solids on earthed conductive surfaces (in particular metal surfaces) can give rise to brush and / or propagating brush discharges depending on several factors.

6.3.4.2 Avoidance of brush discharges

With regard to brush discharges, practical experience shows that these discharges are unlikely to be incendive if:

- high electrostatic charging processes are avoided (e.g. repeated filling and emptying of a conductive drum containing an insulating liner); and,
- the thickness of the layer does not exceed a value of 2 mm in the case of gases and vapours of groups I, IIA and IIB and a value of 0,2 mm in the case of gases and vapours

of group IIC. For dusts there is no thickness limitation unless the powder layer can form a high resistance continuous film, e.g. by self-polymerization or reaction with water.

NOTE 1 Manual rubbing is usually not considered to be a high charging process.

NOTE 2 The thinner the coating the less incensive are the brush discharges created by manual rubbing of the surface, and the more incensive are the propagating brush discharges created by stronger electrostatic charging processes on the surface.

In those cases no special protective measures are necessary within hazardous areas. However, in the case of fluorinated polymers an experimental evaluation of the chargeability is recommended, e.g. according to IEC 60079-0:2007, 26.14.

NOTE It is scheduled to revise this method and move it to IEC 60079-32-2⁵.

6.3.4.3 Avoidance of propagating brush discharges

Propagating brush discharges can occur when high or repeated electrostatic charging processes act on insulating layers or coatings on conductive surfaces. These discharges can be prevented by one or more of the following measures:

- a) Avoid having thin insulating coatings on metals or other conductive materials. Propagating brush discharges tend to occur with thin coatings; they can normally be prevented by having thicknesses greater than 10 mm;
- b) Reduce the surface or volume resistivity of the coating. It is not known precisely what levels are required to prevent the occurrence of propagating brush discharges, but the values for dissipative materials given in Table 1 and a leakage resistance less than 100 GΩ are known to be sufficiently low;
- c) Use a coating with a low dielectric strength (breakdown voltage for solid homogenous materials less than 4 kV, in the case of woven fabrics 6 kV, see A.3.5). Such coatings electrically break down before a propagating brush discharge can develop. The dielectric strength should be measured according to IEC 60243-2 in combination with IEC 60243-1, or IEC 60079-32-2⁵.
- d) Avoid high or repeated charging processes (e.g. air ions in the vicinity of high voltage electrodes, high speed flowing liquids and pneumatic transfer of powders, and paper or plastic foils transported by machines).

NOTE 1 Due to their slight porosity, layers of solvent or water based paint or loose powder usually have a low breakdown voltage so that propagating brush discharges are difficult to obtain from such layers.

NOTE 2 Coatings formed by baking on an applied powder and enamel usually have too high a breakdown voltage to avoid propagating brush discharges.

NOTE 3 Polymer films which are wound on to a reel or are lifted from a conductive or insulating surface can acquire bipolar charges i.e. equal and opposite charges on the two surface of the film. This can lead to brush discharges and occasionally even to propagating brush discharges.

NOTE 4 Manual rubbing is not normally considered a high charging process.

6.3.5 Conductive or dissipative coatings on insulating materials

Special care is necessary when applying a conductive or dissipative coating on an insulating surface to ensure a uniform distribution of the conductive particles. Non-uniform distribution may lead to isolated conductive islands which can be charged easily by insulated surfaces in their vicinity. Such isolated conductive islands present a greater electrostatic hazard than an insulating surface.

Conductive coatings should be earthed as other conductors in accordance with Clause 13.

⁵ To be published.

6.3.6 Static dissipative agents

Dissipative antistatic agents are frequently used on clothing and floors and to increase the conductivity of liquids and materials. Care should be taken to guarantee the presence of a sufficient concentration of these agents to achieve the desired function. For example, dissipative agents may become diluted or washed out. Therefore, their effectiveness needs to be monitored and maintained. Non-migratory permanent antistatic polymer additives have recently been developed to overcome these limitations.

6.3.7 Humidification

The surface resistivity of some insulating solid materials can be reduced to dissipative levels if the relative humidity is maintained above about 65 %. Even though damp air is not conductive, water / moisture may adsorb on the surface of many materials depending on the hygroscopic nature of the material. This may be sufficient to prevent accumulation of static electricity, provided there is a suitable path to earth.

However, whereas the surface of some materials (e.g. glass or natural fibres) can adsorb enough moisture to ensure a surface conductivity that is sufficient to prevent accumulation of static electricity, other materials do not (e.g. polytetrafluoroethylene or polyethylene) and are capable of accumulating a static electric charge even at high relative humidity. Also, when the humidity falls below about 30 %, materials which are susceptible to humidification generally return to being highly insulating. Increasing the relative humidity, therefore, is not effective in all cases and, in general, it should not be used as the sole protective measure. This is particularly important in Zone 0.

6.3.8 Ionisation / Charge Neutralisation

6.3.8.1 General

Ionisation of the air is a method of making the air locally ion-rich so that charges on insulating solid materials can be neutralised. It is particularly useful for neutralising charge on insulating plastic sheets or films. Methods that may be employed include those given in 6.3.8.2 to 6.3.8.5. Neutralisation cannot succeed if the rate at which charge is generated exceeds the rate at which ions are supplied to the air, or can migrate to the charged surface, or if sufficient ions of the desired polarity are not present. Consequently, correct installation and regular maintenance is essential for those devices, taking into consideration factors that can influence their effectiveness such as environmental conditions (e.g. dust and temperature) and positioning of the device in relation to the material processed, machine parts, and people.

The reduction of charge at any one point in the operation does not prevent generation of charge in later steps of the process, so ionisers may be required at a number of locations. Positioning is important, and effectiveness of individual installations should be confirmed by field measurement of residual charge or voltage. In particular, for films and sheets it is necessary to ensure that ions are directed at the correct side to avoid forming a bipolar layer which could give rise to propagating brush discharges.

Corona points remain functional only as long as they are clean and sharp. Accumulation of contaminants (e.g. ink, coating solution, or paper dust) and corrosion products should be controlled by an effective maintenance program.

Ionisers should be selected by their charge generation rate or by their charge decay time. They should not be used in Zone 1, IIC unless the risks have been evaluated by an expert. Furthermore they should not be used in Zone 0 as the only safety measure.

6.3.8.2 Passive ionisers

Pointed electrodes such as earthed sharp needles, fine wires or conductive tinsel produce corona discharges when placed in the electric field from a highly charged surface. These provide ions which neutralize the charge on the body. This method, however, is limited in its effectiveness and may, in addition produce discharges if passive ionisers are not properly earthed.

6.3.8.3 Active ionisers

Active ionisers produce ions by applying a high voltage to a number of corona points. Commercial systems commonly use alternating voltages in the range 5 kV to 10 kV. The use of a high voltage power supply eliminates the limitation of passive neutralizers in control of charges having fields below the corona onset threshold. The currents from the corona points are limited either by high resistance or capacitive coupling.

Active ionisers should be suitable for the location in which they are used and should be designed and constructed to prevent being a possible source of ignition. They require careful design to ensure that the supply of ions is balanced with the requirements of the process.

6.3.8.4 Radioactive / soft x-ray ionisers

Radioactive and soft x-ray sources ionise the surrounding air and can be used to dissipate the charges from a charged body. Such ionisation itself does not present an ignition hazard but is, however, limited in its effectiveness (performance deteriorates with the decay of the radioactive material).

6.3.8.5 Ionised air blowers

Ionised air blowers using either high voltages or radioactive sources are used mainly for dissipating charges from awkwardly shaped objects. However, the ion concentration can rapidly decrease downstream due to recombination or adsorption of the ions by the walls. As a result, it is difficult to convey the ionised air over large distances. The parts containing the high voltages should be placed in a non-hazardous area unless they have been appropriately certified.

NOTE The function of an ioniser can be tested by the method described in IEC 61340-4-7.

6.3.9 Methods to determine the incendivity of discharges

If the requirements in 6.3.2 to 6.3.8 are not applicable, an experimental determination of a value for the incendivity of possible discharges may be helpful.

One method is to charge the sample under worst case conditions as highly as possible (at least to the maximum level that could occur in service) to provoke discharges to an earthed sphere approaching and to pass such provoked discharges through gas mixtures of known MIE value. This method is described in IEC 61340-4-4.

The maximum charge transferred by a discharge is often used to give an indication of the incendivity of spark and brush discharges instead of using an explosive gas mixture. This method is described in IEC 60079-0:2007, 26.14. Table 4 shows a summary of all applicable threshold limits.

NOTE It is scheduled to revise this method and move it to IEC 60079-32-2⁶.

Special care should be taken to ensure that the test sample is charged as highly as possible, that induced charges are compensated for and that only one single discrete discharge is recorded.

Table 4 – Maximum acceptable transferred charge

Explosion Group	EPL Ma EPL Mb Mining	EPL Ga Zone 0	EPL Gb Zone 1	EPL Gc Zone 2	EPL Da Zone 20	EPL Db Zone 21	EPL Dc Zone 22
I	60 nC	-	-	-	-	-	-
IIA	-	25 nC	60 nC	60 nC	-	-	-
IIB	-	10 nC	25 nC	25 nC	-	-	-
IIC	-	No measurable discharge	10 nC	10 nC	-	-	-
III	-	-	-	-	60 nC ^a	200 nC ^a	200 nC ^a

^a Values only valid for spark discharges from unearthed conductive or dissipative parts

NOTE 1 The limits for Zone 1 and Zone 21 ensure that incendive discharges should not occur during normal operation. The limits for Zone 0 and 20 are further reduced to account for abnormal situations and the high level of safety required for these zones.

NOTE 2 For the explanation of EPL see IEC 60079-0 or Annex E.

NOTE 3 All of the values contain a certain safety margin. Recent work indicates that the value hitherto used for IIB contains a lower safety margin than all other values. To equalize all safety margins the values for IIB have been reduced from 30 nC to 25 nC.

6.4 Conveyor belts and transmission belts

6.4.1 General

Belts used for transmission of power or the transportation of solid materials can generate a considerable amount of charge and become an ignition hazard due to the continuous separation of the contacting surfaces (primarily a driving shaft and a belt). The amount of charge acquired depends on the material of the conveyor belt as well as the materials of the driving shaft and the rollers, and increases with the velocity and tension of the belt and the width of the area of contact.

The charge acquired by the belt can only be safely dissipated to earth via the earthed conductive rollers if the conveyor belt is sufficiently dissipative. Material that is spilled from the end of a conveyor belt into a hopper or chute can carry a significant charge. Conductive or dissipative belts cannot be expected to remove charge from an insulating conveyed product.

6.4.2 Conveyor belts

Conveyor belts are endless belts which run over rollers (usually metallic) and transport materials. A conveyor belt is considered to be dissipative if

- the surface resistances on both sides of the belt are below 300 MΩ measured according to ISO 284 and EN 14973, or
- the surface resistances on both sides of the belt are below 75 MΩ measured with the electrode configuration in 3.21, or
- in cases where the belt consists of layers of different materials the belt is considered to be dissipative if the resistance (measured at 23 °C and 50 % relative humidity) between the two opposite outer surfaces is below 1 GΩ.

NOTE Surface resistances measured according to ISO 284 and EN 14973 are at (23 ± 2) °C and (50 ± 5) % relative humidity and with an inner circular electrode of 25 mm in diameter, outer ring electrode with 125 mm inner and 150 mm outer diameter. Surface resistances measured with the electrode configuration described in 3.21 are exactly four times lower.

Table 5 shows a summary of all measures that are required for conveyor belts according to the classification of the hazardous area according to IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2:

Table 5 – Requirements for conveyor belts

Belt Speed	Zone 0	Zone 1		Zone 2	Zone 20		Zone 21	Zone 22
		IIC	IIA & IIB		MIE <10 mJ	MIE >10 mJ		
≤0,5 m/s	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, no belt connectors	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, belt connectors permitted	No requirements beyond those outlined in 6.4.1 unless experience shows that incendive discharges occur frequently	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, belt connectors permitted	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, belt connectors permitted	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, belt connectors permitted	No requirements beyond those outlined in 6.4.1 unless experience shows that incendive discharges occur frequently	No requirements beyond those outlined in 6.4.1 unless experience shows that incendive discharges occur frequently
0,5 – 5 m/s								
5 – 30 m/s	Not permitted	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, no belt connectors		Not permitted	Not permitted	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, no belt connectors		

^a dissipative according to the definition of 6.4.2

NOTE No information is available for belt velocities >30 m/s.

For explosion Group I, the requirements of Zone 1 (IIA & IIB) apply. However, insulating coal dust conveyors transporting hardly ignitable conductive coal dust and similar conveyors may be used if a risk assessment provides a low risk of ignition.

Table 5 and the requirements in 6.4.2 do not apply to belts which dissipate charge by corona. Such belts have to be tested by experts e.g. by measuring their chargeability under worst case conditions.

A layer of wax or dirt on the belt could increase the chargeability of the belt and also its resistance and this could increase the charging hazard. Care should be taken to ensure that repairs do not increase the values given. It is essential that layers of insulating adhesives used to connect the belt do not interrupt the conductive path.

Light conveyor belts as described in ISO 21183-1 frequently have to comply with highly specialised customer's demands. For these cases, the specific standards ISO 21178, *Light conveyor belts – Determination of electrical resistances* and ISO 21179, *Light conveyor belts – Determination of the electrostatic field generated by a running light conveyor belt* exist and shall be used.

6.4.3 Transmission belts

Transmission belts are V-belts and flat belts which drive rotating parts or machines. The amount of charge acquired by the belt due to the continuous separation of the contacting surfaces depends on the material of the belt and pulleys and increases with the velocity and tension of the belt and the width of the contact area. According to ISO 9563 and ISO 1813 a transmission belt material is deemed to be dissipative if:

$$R \times B / L \leq 600 \text{ k}\Omega$$

where L is the distance between two conductive electrodes (e.g. graphite, silver paint, metal electrode) on a transmission belt, B is the width of the flat belt or double the width of the side face of the V-belt, and R the measured resistance between the electrodes at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, with no moisture condensation.

NOTE In older documents (e.g. CENELEC TR 50404), the acceptance criteria was $R \times B \leq 100 \text{ k}\Omega \text{ m}$, where R is the resistance measured at the inner side of the mounted transmission belt between an electrode halfway between the two pulleys and earth and B is the width of the flat belt or double the width of the side face of the V-belt. As the

fulfilment of this $R \times B$ criterion depends on the distance between the two pulleys it is impossible to characterise a belt material as dissipative. For this reason ISO 9563 and ISO 1813 give a dissipative criteria which is independent from the length of the belt. If the distance between two pulleys exceeds 0,67 m the requirements of both ISO standards are automatically fulfilled by the $R \times B$ criterion in older documents stated above.

Table 6 shows a summary of all measures that are required according to the classification of the hazardous area according to IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2:

Table 6 – Requirements for transmission belts

Belt Speed	Zone 0	Zone 1		Zone 2	Zone 20		Zone 21	Zone 22
		IIC	IIA & IIB		MIE < 10 mJ	MIE > 10 mJ		
≤ 0,5 m/s	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, no belt connectors		Dissipative ^a belt and conductive pulleys, belt connectors permitted	Protective measures beyond those outlined in 6.4.1 not required unless experience shows that incendive discharges occur frequently	Dissipative ^a belt and conductive pulleys, belt connectors permitted		Protective measures beyond those outlined in 6.4.1 not required unless experience shows that incendive discharges occur frequently	
0,5 – 5 m/s	Not permitted				Dissipative ^a belt and conductive pulleys, no belt connectors			
5 – 30 m/s					Dissipative ^a belt and conductive pulleys, no belt connectors			
^a dissipative according to the definition in 6.4.3								
NOTE No information is available for belt velocities >30 m/s.								

For explosion Group I, the requirements of Zone 1 (IIA & IIB) apply.

Table 6 and the requirements in 6.4.3 do not apply to belts which dissipate charge by corona. Such belts have to be tested by experts e.g. by measuring their chargeability under worst case conditions.

In cases where the belt consists of layers of different materials the belt is considered to be dissipative if the resistance across it does not exceed 1 GΩ (resistance measured at 23 °C and 50 % relative humidity).

A layer of wax or dirt on the belt could increase the chargeability of the belt and also its resistance and this could increase the charging hazard. Care should be taken to ensure that repairs do not increase the values given. It is essential that layers of insulating adhesives used to connect the belt do not interrupt the conductive path.

7 Static electricity in liquids

7.1 General considerations

7.1.1 Occurrence of flammable atmospheres

NOTE General information about the flammability and ignitability of gas and vapour atmospheres is given in Annex C.

Many operations with flammable liquids produce flammable atmospheres by evaporation of the liquid being handled. The flash point provides an approximate indication of the minimum liquid surface temperature required to produce a flammable atmosphere by this process. However, because of the uncertainties involved in flash point measurement, differences between flash point test conditions and those in a real industrial situation and the difficulty of

establishing liquid surface (rather than bulk) temperature, it is prudent to assume that a flammable atmosphere could exist even when the liquid temperature is below the flash point by a certain safety margin. The margin depends on the level of uncertainty about temperature, liquid composition etc. For well-controlled conditions a margin of 5 °C for pure liquids and at least 11 °C for mixtures is typically needed.

Where tanks are exposed to direct sunlight and liquid temperatures are not monitored it should be assumed that a flammable atmosphere could be present when handling liquids with flash points up to 60 °C. In areas of high ambient temperature and strong sunlight, flammable atmospheres may occur even with liquids that have flash points above 60 °C.

When handling a liquid at a temperature that is well above its flash point, the saturated vapour may give an over-rich (i.e. non-flammable) atmosphere. However, the actual atmosphere above the liquid may not be saturated (e.g. because of ventilation) and so may be flammable. It is therefore necessary to assume that the atmosphere could be flammable unless it can be shown otherwise. Consequently, for low flash-point liquids, the presence of an over-rich atmosphere should not generally be relied upon as the only control measure.

In some circumstances, the flammable atmosphere is not due to the liquid being handled but due to residues of volatile liquid or vapour from earlier operations with the same equipment or from nearby operations. Residual vapours can occur during switch loading, in which a liquid having a high flash point (e.g. diesel) is loaded into a tank which previously contained a liquid with a low flash point (e.g. gasoline). A high proportion of road tanker fires has been associated with switch-loading.

7.1.2 Ignition sensitivity and limitations to the scope of advice

The sensitivity of a flammable atmosphere to electrostatic ignition depends on the concentration and minimum ignition energy (MIE – see C.6) of the flammable material. A helpful rule of thumb is that the most easily ignitable vapour concentration is approximately double the concentration at the lower flammable limit. Because of the concentration effect, a mixture made with a high MIE material at its most easily ignitable concentration may be more sensitive to ignition than a mixture made with a low MIE material at a vapour concentration that lies only just within the flammable range.

For equilibrium vapour/air mixtures created by flammable liquids, the most easily ignitable vapour concentration is typically achieved at temperatures of approximately 10 °C to 20 °C above the flashpoint. Flammable liquids of intermediate volatility tend to produce their most easily ignitable mixtures at common ambient temperatures: such liquids include toluene (flashpoint 6 °C), propyl acetate (flashpoint 10 °C) and acetonitrile (flashpoint 2 °C).

The general precautions given in this chapter are designed to prevent the ignition of materials with MIEs of 0,20 mJ or more when present at the most easily ignitable vapour concentration. They are thus applicable to the most easily ignitable mixtures in air of the vapours of common flammable liquids such as paraffinic and aromatic solvents, hydrocarbon fuels and many organic solvents (see list of MIE in Table C.2). At typical ambient temperatures, the safety margins are at a minimum when handling flammable liquids of intermediate volatility such as those listed above. In such operations, particular care should therefore be taken to ensure that all recommended precautions are diligently followed.

Although Explosion Groups are not assigned on the basis of MIE (see C.6), the precautions required in the presence of most Explosion Group IIA vapours are likely to be similar to those given here for MIEs of 0,20 mJ and above. Additional precautions are, however, likely to be required where the atmosphere above the liquid is more sensitive to ignition. This situation will arise, for example, with the most readily ignitable mixtures in air of volatile materials that have MIEs of less than 0,20 mJ (most Explosion Group IIB and IIC materials) or with oxygen-rich mixtures. Although general advice has not been developed for these more sensitive atmospheres, recommendations are given for a few specific activities. Where they are given, the additional precautions for the more sensitive materials are explicitly identified as such in the text.

7.1.3 Charging mechanisms

Liquids can become electrostatically charged when they move relative to contacting solids or if there are two or more immiscible liquid phases and there is movement. The spraying of liquids can also create a highly charged mist or spray. Further details of charge generation and charge accumulation in liquids are given in A.1.3 to A.1.7 (generation) and A.2.2 (accumulation).

7.1.4 Charge accumulation and conductivity classifications

The level of charge accumulation in a particular liquid, and therefore the electrostatic hazard that can be created, is strongly dependent upon its electrical conductivity and dielectric constant (relative permittivity), ϵ_r . To describe the possible hazards and associated means of prevention, the conductivities of liquids have been classified as follows:

high conductivity	$> 10\,000 \text{ pS/m}$;
medium conductivity	between $25 \times \epsilon_r \text{ pS/m}$ and $10\,000 \text{ pS/m}$;
low conductivity	$< 25 \times \epsilon_r \text{ pS/m}$.

For liquids with a dielectric constant of around 2, (e.g. hydrocarbons), these classifications reduce to:

high conductivity	$> 10\,000 \text{ pS/m}$;
medium conductivity	between 50 pS/m and $10\,000 \text{ pS/m}$;
low conductivity	$< 50 \text{ pS/m}$.

For liquids with a dielectric constant that is substantially higher than 2 or for liquids whose dielectric constant is unknown, the border limit for low conductivity is usually set to 100 pS/m . The upper border limit of medium conductivity remains at $10\,000 \text{ pS/m}$.

NOTE 100 pS/m is considered sufficient for unknown cases because few, if any, low conductivity liquids have a relative permittivity significantly higher than 4.

Hazardous levels of charge accumulation are most commonly associated with liquids of low conductivity. However, they can occur with medium or high conductivity liquids in processes that produce mists or sprays, when transporting medium conductivity liquids through insulating pipes or during two-phase mixing operations.

In general, polar solvents such as alcohols, ketones and water have a high conductivity, while saturated hydrocarbon liquids and purified aromatics have a low conductivity. The conductivities and relaxation times for a number of liquids are given in Table 7.

NOTE 1 A more complete list including a wider range of liquids and dielectric constant data is given in NFPA-77.

NOTE 2 Biofuels and hydrocarbon fuels blended with biocomponents can have a wide range of conductivity depending on their composition.

NOTE 3 Test methods for measuring the conductivity of a liquid are given in e.g. ASTM D4308-95, DIN 51412-1, DIN 51412-2 and ISO 6297.

Table 7 – Conductivities and relaxation times of some liquids

Liquid	Conductivity (pS/m)	Relaxation time (seconds)
Low conductivity		
highly purified paraffins	0,01	2 000
typical paraffins	0,1 to 10	2 to 200
purified aromatic compounds (toluene, xylene etc.)	0,1 to 10	2 to 200
typical aromatic compounds	5 to 50	0,4 to 4
gasoline	0,1 to 100	0,2 to 200
kerosene	0,1 – 50	0,4 to 200
gas oil	1 to 100	0,2 to 20
white oils	0,1 to 100	0,2 to 200
lubricating oils	0,01 to 100	0,02 to 2 000
ethers except glycols	0,1 to 100	0,2 to 200
proprietary aromatic solvent mixtures	1 to 1 000	0,02 to 20
natural gas condensate without corrosion inhibitor	10 to 100	0,2 to 2
Medium conductivity		
gasoline containing performance additives or 5 % ethanol	50 to 1 000	0,02 to 0,4
fuels and oils containing dissipative additives	50 to 1 000	0,02 to 0,4
heavy (black) fuel oils	50 to 10 000	2×10^{-4} to 0,4
esters	100 to 1 000 000	2×10^{-5} to 0,2
High conductivity ($\mu\text{S/m}$)		
crude oil	$\geq 0,001$	$\leq 0,02$
gasoline containing 10 % ethanol or more	$\geq 0,01$	$\leq 0,002$
natural gas condensate with corrosion inhibitor	$\geq 0,001$	$\leq 0,02$
glycols and glycol ethers	1 to 100	2×10^{-7} to 2×10^{-5}
alcohols	1 to 100	2×10^{-7} to 2×10^{-5}
ketones	0,1 to 100	2×10^{-7} to 2×10^{-4}
pure water	5	10^{-6}
water (not distilled)	≥ 100	$\leq 2 \times 10^{-7}$
NOTE Although ketones and esters usually have a high conductivity middle- and long-chained ketones and esters are often highly chargeable		

A liquid of high or medium conductivity should be considered as a conductive or dissipative item and needs to be earthed.

7.1.5 Incendive discharges produced during liquid handling operations

When a tank is being filled with a charged liquid of low conductivity, the charge that accumulates in the liquid inside the tank creates electrical fields and potentials both in the liquid and in the vapour space of the tank. With high liquid surface potentials, brush discharges can occur between the surface of the charged liquid and metallic parts of the tank structure. Studies indicate that aliphatic hydrocarbons such as propane can be ignited by brush discharges to a grounded electrode if the liquid surface potential exceeds 25 kV.

An ignition hazard can arise at much lower potentials (typically 5 kV to 10 kV) if isolated conductors such as floating metal cans or improperly bonded components are present in the tank, or if the container has an insulating lining, no contact point for earthing the liquid, and is splash filled with a liquid that is sufficiently conductive to produce sparks.

7.2 Summary of precautions against ignition hazards during liquid handling operations

7.2.1 Earthing and avoidance of isolated conductors

Isolated conductors such as metal tanks, tank structures or any other isolated metal objects either deliberately or accidentally associated with liquid handling can be raised to high potentials by charges on the liquid. This can lead to spark discharges. These are particularly hazardous because they can usually ignite flammable vapours at much lower potentials than brush discharges. Therefore, all conductive parts of a liquid handling system should be adequately connected to earth (see Clause 13). People handling flammable liquids should also be earthed (see 11.1).

Tanks should be regularly inspected to ensure there are no loose, unbonded conductive objects, e.g. a can, floating on the liquid.

7.2.2 Restricting charge generation

Charge generation can be restricted by controlling the relevant process parameters. Suitable control measures include:

1) tank filling operations:

- a) restrict the linear flow velocity in the feeding line of the tank by restricting the pumping rate or by increasing the diameter of the feeding line (see 7.3.2.2.3 and 7.3.2.3.2 to 7.3.2.3.5);
- b) provide sufficient residence time for charge relaxation downstream of pumps and filters (see 7.5 and A.2.2);
- c) avoid having a dispersed second immiscible phase in the liquid; this can be caused, for example, by stirring up the water present in the bottoms of oil tanks. Where the avoidance of a second dispersed phase is not possible restrict the velocity further (see 7.3.2.2.2 and 7.3.2.3.5.3);
- d) avoid splash filling by employing bottom entry or by using a fill pipe extending close to the bottom of the tank. If a short, top-entry fill-pipe must be used in the presence of a flammable atmosphere, reduce the flow velocity to 2 m/s and take the additional precautions in 7.3.2.3.2 (e.g. direct the liquid flow along the container wall). In the case of high conductivity liquids it is sufficient to provide a contact area to earth in the bottom of the container.

2) stirring or agitating operations (see 7.9):

- a) limit the power input to or tip speed of the stirrer (e.g. in BS 5958, a maximum power of 0,37 kW/m³ was required for a suspension with a conductivity of 1 000 pS/m);
- b) avoid the presence of a second immiscible phase in the liquid;
- c) use a high conductivity continuous phase (conductivity exceeding 10 000 pS/m).

3) tank cleaning operations with liquid jets (see 7.10):

- a) limit the liquid pressure and throughput of the washing machines to the values recommended in 7.10;
- b) avoid the build-up of a second immiscible phase in the washing liquid, particularly if the washing liquid is recirculated;
- c) avoid unbroken jets that may form large isolated volumes of liquid (see 7.10).

7.2.3 Avoidance of a flammable atmosphere

The most effective way of avoiding ignition hazards is to prevent the occurrence of a flammable atmosphere, for example:

- a) avoid vapour spaces in the system;
- b) inert the vapour space of the tank using inert gases such as nitrogen, carbon dioxide or purified flue gas (note the precautions given in 8.4);
- c) avoid switch loading and common vapour collection systems that allow ignitable vapour-air mixtures to enter tanks not designed for this service;
- d) after handling volatile liquids, clean and ventilate tanks to remove residual flammable liquids, gases and vapours;
- e) ensure that sufficient fresh air is drawn continuously through the system. Regular gas tests and possible forced ventilation may be necessary;
- f) purging a tank with air to avoid a flammable atmosphere should be done with caution in a tank that contains, or has previously contained, a flammable liquid with a low flash point due to the risk of residual liquid being present.

7.2.4 Promoting charge dissipation

In situations where it is not possible to avoid a flammable atmosphere, the risk of ignition can be controlled by limiting charge accumulation. For the components of the handling system, this involves bonding solid conductors and people to ground and, if necessary, replacing insulating system components with earthed dissipative or conductive components. For the liquids themselves, the most effective way of promoting dissipation is to increase the conductivity of the liquid by the use of commercially available static dissipative additives (SDA). When added to a liquid in very low concentrations of the order of parts per million, these additives can readily increase the conductivity to levels that prevent the hazardous build-up of charge (see 7.1.4).

NOTE 1 SDA are widely used in aviation fuels and at the concentrations normally used the effects on both aircraft engine and filter/water separator performance are acceptable.

NOTE 2 Some SDA may lose efficiency in certain situations, e.g. at low temperatures, after contact with water, after clay filtration or due to interaction with other components.

Alternative methods of enhancing charge dissipation are to replace an insulating (low conductivity) solvent with a more conductive (medium or high conductivity) one or to add a miscible conductive solvent to an insulating one. The amount of conductive solvent needed will depend on the liquids involved and the conductivity level required.

7.3 Tanks and Containers

7.3.1 General

The possible hazards and the associated means of protection are divided according to whether the tanks, or their coatings and linings, are classified as conductive, dissipative or insulating (see 3.2, 3.7 and 3.15). Fully conductive tanks have a resistance to earth of 1 kΩ or less from everywhere on the shell; fully dissipative tanks have a resistance to earth of 1 MΩ or less from everywhere on the shell.

Following this classification, this section is divided into chapters as follows:

Conductive tanks and containers: 7.3.2

Tanks and containers made entirely of dissipative material: 7.3.3

Tanks and containers with insulating surfaces: 7.3.4

Use of liners in containers: 7.3.5

Operations that give rise to electrostatic hazards inside a tank include filling, transportation (of the tank and contents), emptying, gauging and sampling. If there could be a flammable atmosphere inside a tank when carrying out these operations, the precautions given below should be taken.

NOTE If there cannot be a flammable atmosphere (see 7.1.1), the precautions given in 7.3 are not necessary.

Other operations such as circulation of liquid, stirring, mixing, crystallisation and cleaning are dealt with in 7.9 and 7.10.

The standard restrictions on flow velocities given in 7.3.2 primarily apply to hydrocarbons. They may, however, be applied with caution to other solvents and fuels having kinematic viscosities less than about 6 mm²/s at 20 °C but care may be needed with materials such as biofuel components (see C.8) or blends that are chemically different from hydrocarbons and for which there is limited experience of handling in high throughput systems. Further restrictions are known to be necessary for controlling charging in high viscosity liquids such as luboils (see 7.4).

7.3.2 Conductive tanks and containers

7.3.2.1 General

In order to describe the possible hazards and associated means of prevention, conductive tanks have been classified according to size as follows:

	Vertical axis cylindrical tanks and non-cylindrical tanks with square or nearly square cross-section (see NOTE 3)	Horizontal axis cylindrical tanks or non-cylindrical tanks with elongated cross section (see NOTE 3)
Large tanks (7.3.2.2)	diameter > 10 m	capacity > 500 m ³ (125 000 USG)
Medium tanks (7.3.2.3)	1,3 m < effective diameter ≤ 10 m	2 m ³ (500 USG) < capacity capacity ≤ 500 m ³ (125 000 USG)
Small tanks and containers (7.3.2.4)	effective diameter ≤ 1,3 m	capacity ≤ 2 m ³ (500 USG)

NOTE 1 In older documents, e.g. CENELEC TR 50404, the upper limit for medium tanks was 50 m³ and the lower limit 1 m³. Recent work (see A.2.2) has suggested that both the upper and lower boundary limits for medium tanks should be increased and that diameter limits are better than capacity limits for vertical axis tanks (voltages depend more strongly on diameter than capacity). The capacity limits given above for horizontal axis tanks correspond approximately to the diameter limits for vertical axis tanks combined with the lowest typical heights of these tanks.

NOTE 2 The capacity boundary limits are given in both m³ and US gallons. They have been rounded to give convenient numbers in each set of units. As a consequence the boundary values are similar but do not exactly correspond. Either may be adopted at the users discretion.

NOTE 3 "Nearly-square" tanks have a length to width ratio not exceeding 1.5. "Elongated" tanks have a length to width ratio of more than 1.5. The rules given for square tanks are safe for elongated tanks of the same cross-sectional area but may be found to be conservative.

7.3.2.2 Large conductive tanks

7.3.2.2.1 General

Irrespective of the conductivity of the liquid or the tank structure, the following general precautions should be taken:

- earth the tank and all associated structures such as pipes, pumps, filter housings, etc. (see Clause 13);
- ensure that people entering or working near an opening of the tank are earthed (see Clause 11);

- c) avoid splash filling by employing side-entry near the bottom, bottom-entry or by using a fill pipe reaching close to the bottom of the tank.

7.3.2.2.2 Fixed roof tanks

For medium or low conductivity liquids, inspect the tank regularly, especially after each opening of the manhole, for loose metal objects, e.g. cans, that could act as floating isolated conductors.

For low conductivity liquids the following additional precautions are necessary:

- 1) Pump and filter location. Locate pumps, filters and other strong charge generating elements at an adequate residence time upstream of the tank inlet to allow the extra charges to relax before the liquid enters the tank (see 7.5 and A.2.2).
- 2) Restrict the flow velocity. For an incoming flow of uncontaminated, single phase liquid, the flow velocity should be restricted to 1 m/s for an initial filling period that lasts until:
 - a) the fill pipe and any other structure on the base of the tank has been submerged to twice the fill pipe diameter;
 - b) any water which has collected in the pipework has been cleared.

NOTE 1 Restriction a) is designed to prevent discharges to the fill pipe or the structure and to reduce the disturbance of water or sediment.

NOTE 2 For b), it is necessary to wait either for a period of half an hour or until two pipe volumes have been loaded into the tank, whichever is the shorter.

After this initial filling period, the velocity for an uncontaminated, single-phase liquid may be raised above 1 m/s. The maximum safe velocity has not been accurately determined but extensive experience has shown that hazardous potentials do not occur if the velocity is below 7 m/s.

Because of the high charge generation that occurs in two phase flows (see A.1.4) the flow velocity for an incoming two phase or contaminated liquid (see 3.6) should be restricted to 1 m/s during the whole filling period.

- 3) Inlet design. Liquid should enter the tank horizontally to minimise both the possible disturbance to water bottoms or sediment and the jetting of highly charged incoming liquid to the surface. A good arrangement in this respect is to use a horizontal tee or cruciform end to direct the incoming liquid horizontally around the walls.
- 4) Control water bottoms. If there are water bottoms or sediment present in the tank, the level of the bottom layer should be carefully controlled by monitoring and draining to keep it at least two pipe diameters below the inlet. The inlet design requirements described in 3 should then ensure that the water bottom or sediment is not unduly disturbed by the incoming liquid during filling.
- 5) If a flammable atmosphere is present and it cannot be ensured that sediments or water bottoms will not be disturbed, then the velocity should be limited to 1 m/s when filling.

NOTE It is not usually necessary to restrict flow speeds to 1 m/s throughout the fill just because a second phase is present in the form of water bottom or sediment in the tank. The risks associated with water bottoms can normally be dealt with by precautions 3 and 4.

- 6) If it can be avoided, liquid of low density should not be loaded into a tank containing a liquid of substantially higher density, because the resultant buoyancy effect would carry the incoming highly charged liquid to the liquid surface leading to a higher surface potential. For the same reason, loading warmer liquids into tanks partially filled with colder liquids, and entrainment of air or other gas into the incoming liquid should also be avoided where possible. If such operations cannot be avoided, the inlet flow speed should be reduced to 1 m/s to minimise charge generation.

7.3.2.2.3 Tanks with floating roofs or internal floating covers

In a tank with a floating roof or internal floating cover, the flammable atmosphere is shielded from the potentials developing during filling by the floating roof or cover. Therefore, after the initial period of filling and when the roof or cover is afloat there is no need for a restriction on

the flow velocity. However, the velocity should be restricted to 1 m/s until the roof is afloat. To ensure the desired shielding effect, it is essential that the floating roof or internal cover is made from conductive material and is properly earthed (see Clause 13).

Sometimes floating spheres or balls are used in tanks to minimise evaporation. It is essential that they are made of dissipative or conductive material. These spheres should only be used on high conductivity liquids since, on a medium or low conductivity liquid, a ball or a group of balls could become isolated from earth thus leading to the possibility of sparks.

7.3.2.2.4 Summary of precautions for large conductive tanks

Table 8 summarises the precautions necessary for filling large conductive tanks with low conductivity liquids. If the electrical conductivity is raised above the low conductivity range, e.g. by using a static dissipative additive (SDA, see 7.1.4 and 7.2.4), these precautions are not necessary. However, in this case, it is essential to ensure reliable addition of the SDA because failure to incorporate the additive into the liquid could lead to a fire or explosion. The precautions for low conductivity liquids should be retained if there is any doubt about the reliability of the additive addition.

Table 8 – Precautions for filling large conductive tanks with low conductivity liquids

Precautions	Applicability to tank	
	With floating roof or internal cover	With fixed roof, no floating cover
Keep flow velocities below 1 m/s	Essential until the roof or cover is afloat	Essential during the initial filling period, and when loading a contaminated or two phase liquid or a liquid with a substantially lower density than that already in the tank
Keep flow velocities below 7 m/s	Unnecessary when the roof or cover is afloat NOTE A flow rate limit will often be needed to avoid damaging the roof by too rapid movement.	Recommended in all cases in which the 1 m/s limit does not apply
Ensure an adequate residence time between strong charge generators (e.g. microfilters) and the tank	Essential until the roof or cover is afloat NOTE The residence time can be calculated using a velocity of 1 m/s in this instance.	Essential
Avoid disturbing water bottoms with incoming product, entrained air or by blowing out lines with gas	Essential until the roof or cover is afloat	Essential
Avoid charging low density liquids into tanks containing substantially higher density liquids (see 7.3.2.2.1)	Unnecessary	Recommended as far as practicable. If unavoidable keep the flow velocity below 1 m/s (see row 1 of this table)

7.3.2.3 Medium-sized conductive tanks

7.3.2.3.1 Scope

Medium sized conductive tanks (see 7.3.2.1 for size definitions) include both fixed storage tanks and mobile tanks such as road or rail tankers. Although aircraft fuel tanks generally fall within the medium size range, the loading of aircraft tanks is covered separately in 7.8.1.

7.3.2.3.2 Precautions for fixed tanks

7.3.2.3.2.1 Precautions for all types of liquid

- a) Earthing: The earthing requirements given in 7.2.1 and item a) of 7.3.2.2 should be adopted.

- b) Pipes and hoses: Pipes and hoses should comply with 7.7.2 and 7.7.3 respectively.
- c) People: Hazards due to the charging of people should be avoided by compliance with the requirements in Clause 11.
- d) Filling velocity: Flow velocities should be kept within the limits outlined in 7.3.2.3.5.2.

NOTE The flow limits vary with the tank design, pipe diameter and the nature of the liquid.

- e) Air and gas: Do not clear lines with air or other gas unless it is certain that the operation will not overpressure the equipment. Nitrogen or nitrogen-air "mixed gas" should be considered for line clearing rather than compressed air. To avoid excessive flow velocities (relative to the limits given in 7.3.2.3.5.2), use the smallest source pressure that will successfully clear the line. Minimize the volume of entrained gas delivered sub-surface in the receiving tank.
- f) Gauging and sampling: Gauging and sampling can introduce additional hazards. These should be dealt with as described in 7.6.

7.3.2.3.2.2 Additional precautions for low conductivity liquids

- a) Filters and other high charging equipment: Fine filters, pumps and other high charging equipment installed in the pipeline upstream of a tank can generate high levels of charge. To deal with this, follow the advice given in 7.5.
- b) Tank drainage: If the product is not fully miscible with water and it is possible that a water bottom may form (e.g. if the incoming product contains water or if there is dissolved water or contact with moist air and variable water solubility due to temperature cycling), the tank should be provided with a low level drain to enable the water bottom to be removed. The level of the water bottom should be monitored and controlled to keep it below the product inlet by at least two pipe diameters.
- c) Tank inlet: The inlet should be located low in the tank but above the level to which a water bottom will be permitted to accumulate. This can be achieved either by top filling via a fill pipe reaching close to the bottom of the tank or by bottom filling (including side filling close to the bottom). The inlet should be designed to feed incoming liquid horizontally into the tank both to minimise the jetting of highly charge product to the surface and to minimise the disturbance of water bottoms or sediment. A tee-shaped inlet that directs the liquid parallel to the side walls is ideal in this respect.

NOTE For fixed tanks with side entry inlets, the use of a tee is more practical than the deflector plate because it keeps highly charged liquid near the tank base and minimises suspension of any water and sediment from the tank floor.

d) Splash Filling:

- For most applications, splash filling should be avoided by using a low level inlet with the incoming flow directed horizontally as described in the previous paragraph (see also 7.2.2).
- Splash top filling is sometimes essential for process reasons (e.g. to avoid interference with stirrers in chemical reaction vessels). In this case:
 - i) The fill pipe should enter the vessel close to a side-wall and the incoming liquid should be directed downwards and slightly towards the wall (at an angle of 15° to 30° to the vertical).
 - ii) The operation should be assessed in detail to determine an acceptable loading velocity. This should not exceed 50 % of the velocity derived from the normal velocity or vd limits (see 7.3.2.3.5) and should not be more than 2 m/s.
 - iii) The distance from the end of the fill pipe (and other protrusions) to the maximum liquid level should be at least 200 mm so that discharges from the liquid surface are unlikely to occur.

Flammable liquids of low volatility (e.g. luboils) that are incapable of producing a flammable vapour atmosphere at the maximum handling temperature can be splash filled without the above additional loading restrictions (which are for cases where there could be a flammable atmosphere). However, with this approach it is essential to ensure that there are no other sources of flammable vapour and that the loading

process does not produce enough mist or suspended droplets to render the atmosphere flammable.

7.3.2.3.3 Precautions for road tankers

The precautions for road tankers are the same as for fixed tanks (7.3.2.3.2) except for the use of different velocity limits as described in 7.3.2.3.5.4 and the following additional requirements:

1) Earthing and bonding

- a) The bonding resistance between the chassis, the tank and the associated pipes and fittings on the truck should be less than 1 M Ω . For wholly metallic systems, the resistance should be 10 Ω or less and if a higher value is found further investigations should be made to check for possible problems of e.g. corrosion or loose connection.
- b) An earthing cable should be connected to the truck before any operation (e.g. opening man lids, connecting pipes) is carried out. It should provide a resistance of less than 10 Ω between the truck and the gantry's designated earthing point and should not be removed until all operations have been completed.
- c) It is recommended that the earth cable required in b) be part of a static earth monitoring system that continuously monitors the resistance between the truck and a designated earthing point on the gantry and activates interlocks to prevent loading when this resistance exceeds 10 Ω . It is further recommended that the static earth monitoring system should be capable of differentiating between connection to the truck's tank (or earth connection point) and other metal objects. This type of system will prevent operators from connecting the earthing system to objects (e.g. the mud-guards) that may be electrically isolated from the truck's container.

2) Top loading

- a) The loading arm (or dip leg or drop pipe) should be inserted to the bottom of the tank before starting liquid flow.
- b) The drop pipe should:
 - i) be positioned vertically,
 - ii) reach the bottom of the compartment;
 - iii) have a tee-piece or similar deflector on the bottom to deflect the flow along the base of the compartment.

3) Lightning

When there is the possibility of lightning, road tankers should not be loaded in the open air with a liquid that can give rise to a flammable atmosphere outside the tank compartment. Loading may take place under canopies or where an adequate cone of lightning protection is provided.

7.3.2.3.4 Precautions for rail tankers

The precautions for rail tankers are the same as for fixed tanks (7.3.2.3.2) except for the use of different velocity limits (see 7.3.2.3.5.5) and the following additional requirements:

1) Bonding

- a) The rails of the track should be bonded to each other and to the gantry with a bonding resistance of less than 1 M Ω .
- b) The bonding resistance between the wheels, the tank and the rest of the car should be less than 1 M Ω . Independent bonding of the rail tank car is not needed as it is provided by the rails.

2) Circulating/stray currents

- a) An insulating flange may be installed in the filling line to prevent stray currents. In this case the fill nozzle should be bonded to the rail-car before filling commences.

- b) The siding used for tank car filling should be isolated from the rest of the railway track in order to avoid stray currents. This insulation should not be short circuited by rail equipment or rail cars.

3) Top loading

The loading arm (drop pipe) should be inserted to the bottom of the tank before starting liquid flow. The drop pipe should:

- a) be positioned vertically (automated top loading systems may insert the lance at a slight angle);
- b) reach the bottom of the compartment;
- c) have a tee-piece or similar deflector on the bottom to deflect the flow along the base of the compartment.

4) Lightning

When there is the possibility of lightning, rail tankers should not be loaded in the open air with a liquid that can give rise to a flammable atmosphere outside the tank compartment. Loading may take place under canopies or where an adequate cone of lightning protection is provided.

7.3.2.3.5 Flow velocity and vd limits

7.3.2.3.5.1 General explanatory notes

Flow limits are expressed either directly in terms of velocity or indirectly in terms of limits on the product of velocity and pipe diameter (vd). The key factors that influence these limits are:

- a) The size and shape of the tank: The most critical size tends to lie in the range 3 to 10 m³ and tall, narrow tanks give the highest voltages. Potentials are generally lower in larger or smaller tanks, in horizontally elongated tanks or in tanks for which the length and width (or diameter) are greater than the height.

NOTE Extremely narrow tanks would also give low voltages but the height to width ratios needed to realise this case fall outside the normal practical range.

- b) The presence of a central conductor: In a near-cubic tank (i.e. all major dimensions of similar magnitude), the presence of a substantial conductor running vertically down the centre reduces the maximum potential by about a factor of two. Because of the reduced potential, a higher maximum fill velocity may be permitted. A central conductor is much less effective at reducing potentials in elongated horizontal tanks or tanks with a small height to width ratio. Examples of operations that can benefit from the presence of a central conductor are road tanker top-loading (the filling arm provides the conductor) and road tanker bottom-loading in compartments with dip tubes.
- c) The nature of the liquid: The conductivity is important as is the presence or absence of multiple phases. In addition, the oil industry has found an increased risk of electrostatic ignition when loading vehicles with middle-distillate fuels that have low sulphur content (< 50 ppm).

NOTE The increased risk with low-sulphur diesel is thought to arise fundamentally from factors associated with diesel processing and there is, as yet, no evidence that other low sulphur liquids are similarly affected (e.g. gasolines, pure chemicals or solvents may be low in sulphur but there is no evidence that they have an increased risk of electrostatic ignition).

- d) Whether the tank is fixed or mobile: Filling facilities for fixed tanks can be designed for a specific duty whereas facilities for mobile tanks have to deal with a range of tank sizes and shapes. For mobile tanks, the velocity or vd limit should be suitable for the worst case that could be encountered. Also mobile tanks tend to be elongated horizontally for stability in transit (e.g. rail tanker compartments) whereas fixed tanks are often tall and narrow (height/diameter > 1).

Because of these practical differences, there are separate velocity or vd limits for fixed tanks, road tankers and rail tankers. Also, for both road and rail tankers, there are separate limits for middle-distillate hydrocarbons and other liquids.

7.3.2.3.5.2 Region over which flow limits apply

Where velocity or vd limits are specified they should be met throughout a “relaxation region” upstream of the tank. The relaxation region consists of the pipework within a residence time of 30 seconds or 3 relaxation times upstream of the tank whichever is lower. Where the relaxation time is used to calculate the residence time it should be determined from the lowest possible conductivity that may be handled. If the lowest conductivity is not known, the 30 s criterion should be adopted.

To ensure that the vd or velocity limits are met throughout the relaxation region it is necessary only to ensure that they are met over the most critical section within the region.

For an un-branched system the critical section is the one with the smallest pipe diameter except that if the section with the smallest diameter is less than 5 m long and is only one nominal pipe size less than the section with the next smallest diameter, the latter may be taken as the critical one.

For a branched pipe system (e.g. a large feeder line splitting into smaller lines such that the upstream pipe segments feed several tanks whilst the downstream ones each feed just one tank), the critical section is the one with the highest value of F_s/d_s^m where F_s is the highest possible flow rate through the segment, d_s is the diameter of the pipe in the segment and $m=2$ for evaluating vd limits or $m=3$ for evaluating velocity limits (see A.1.4).

The maximum acceptable current in a critical segment filling multiple tanks simultaneously is N_s times that into each tank where:

$$N_s = F_s/F_T$$

F_s is the maximum possible flow rate through the segment and F_T is the volumetric flow rate into the tank. The increased current is acceptable in the segment because it is divided between the tanks. Because the streaming current varies as the square of the velocity, the permitted flow velocity or vd limit for the segment is correspondingly $N_s^{1/2}$ times higher than the limit for the tank (see A.1.4).

7.3.2.3.5.3 Limits for fixed tanks

Different limits apply, as follows, in an initial slow start period and in the main flow period:

Slow start: For medium and low conductivity liquids where there could be water bottoms or sediment present in the tank, the initial flow velocity should not exceed 1 m/s until the fill pipe outlet is submerged to two pipe diameters. This slow start is required to control the hazards associated with the disturbance of the sediment. Opinions differ as to whether a slow start is necessary where there is no possibility of water bottoms or sediment. Measurements have suggested that in this case slow starts do not significantly reduce the maximum voltage. Nevertheless, they may be advisable to avoid possible issues with displacement of water from the piping.

If a tank is filled in a series of separate stages, a slow start of 1 m/s is recommended for each individual stage.

Full flow: The flow velocity and vd limits for the full flow period depend, as follows, on the nature of the liquid and the tank:

- 1) **All high conductivity liquids and single-phase medium conductivity liquids:** There is no mandatory restriction on the flow velocity but a general precautionary limit of 7 m/s is recommended. If a high velocity is permitted only because the conductivity has been raised with a Static Dissipative Additive (SDA), it is essential to ensure reliable addition of the SDA because failure to incorporate enough additive into the liquid could then lead to a fire or explosion. If there is any doubt about the reliability of SDA addition, the velocity limits for low conductivity liquids should be used.

- 2) Contaminated or two-phase liquid of medium or low conductivity: When filling tanks with two-phase mixtures (e.g. contaminated liquids, liquids with suspended water or solids) for which the continuous phase has a medium or low conductivity there is a fixed velocity limit of 1 m/s. This limit should also be applied if water bottoms or sediment could be stirred up in a tank containing a medium or low conductivity liquid e.g. if water has accumulated until the product/water interface is close to (within one entry pipe diameter) or higher than the level of the inlet. Velocities should not be much below 1 m/s or water could accumulate at low points in the pipes.
- 3) Uncontaminated low conductivity liquids: For uncontaminated (clean), single-phase, low-conductivity liquids, the velocity restrictions are either given directly in terms of velocity or they are derived from vd limits where v is the average flow velocity in the pipe in metres/second and d the pipe diameter in metres. There are different limits, as follows, for vertical-axis and horizontal-axis tanks.
 - a) Vertical-axis cylindrical tanks or vessels with vertical sides and square or near-square cross section:

NOTE Near-square tanks are those for which the ratio of length to width does not exceed 1,5.

When filling through an un-branched line, the filling velocity v in the critical section of the relaxation region (see 7.3.2.3.5.2) should be restricted to:

$$v \leq K(D/d)^{1/2} \text{ m/s}$$

subject to a maximum flow velocity of 7 m/s.

Here D is the tank diameter or, for near-square vessels of length, L , and width, W , an effective diameter determined from $D=2(LW/\pi)^{1/2}$ (for square-section vessels $L=W$), d is the pipe diameter (both D and d must be in the same units) and K is a constant that depends weakly on the dielectric constant of the liquid and has dimensions of velocity. It is shown in B.2.2, that $K = 0,7 \text{ m/s}$ for $\epsilon = 2$ and that the maximum departure from this value is less than 6,3 % for the range of dielectric constants associated with low conductivity liquids (up to $\epsilon \sim 5$). This small difference is within the uncertainties and safety margins of the analysis, so the value 0.7 m/s is adopted universally.

When filling multiple tanks through a branched line the critical section may occur at a location that feeds more than one tank. In this case, the maximum velocity in the critical section may be increased by a factor $N_s^{1/2}$ from the value given above, where N_s is the ratio of the maximum flow rate through the critical segment to the flow rate into the tank (see 7.3.2.3.5.2 and A.1.4).

Flow rates derived from the above expression for filling tanks through un-branched lines with schedule 40 wall thicknesses are given in Tables 9a (in m³/min) and 9b (in USG/min).

NOTE In North America, pipes are defined by their NPS (Nominal Pipe Size, the outer diameter in inch) and a Schedule for their wall thickness. In Europe, pipes are defined by their DN (Diameter Nominal, the outer diameter in mm) and their IN (Inner diameter Nominal in mm).

Table 9 – Filling rate limits for filling medium-sized vertical-axis tanks through schedule 40 pipes

a) Flow rates in m³/min

Pipe size			Tank diameter, m									
NPS	DN	ID, mm	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10
1	25	26,6	0,14	0,18	0,20	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
1,5	40	40,9	0,27	0,33	0,39	0,43	0,47	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
2	50	52,5	0,40	0,49	0,56	0,63	0,69	0,79	0,89	0,91	0,91	0,91
2,5	65	62,7	0,52	0,63	0,73	0,82	0,90	1,04	1,16	1,27	1,30	1,30
3	80	77,9	0,72	0,88	1,01	1,13	1,24	1,44	1,60	1,76	2,00	2,00
4	100	102	1,08	1,32	1,53	1,71	1,87	2,16	2,41	2,64	3,05	3,41
5	125	128	1,51	1,85	2,14	2,39	2,62	3,03	3,39	3,71	4,28	4,79
6	150	154	1,99	2,44	2,82	3,15	3,45	3,99	4,46	4,89	5,64	6,31
8	200	203	3,01	3,69	4,26	4,76	5,21	6,02	6,73	7,38	8,52	9,52
10	250	254	4,24	5,19	5,99	6,70	7,34	8,47	9,47	10,4	12,0	13,4
12	300	305	5,51	6,75	7,79	8,71	9,54	11,0	12,3	13,5	15,6	17,4

b) Flow rates in USG/min

Pipe size			Tank diameter, ft									
NPS	DN	ID, mm	4	5	6	8	10	12	16	20	26	33
1	25	26,6	42	47	51	59	62	62	62	62	62	62
1,5	40	40,9	80	89	97	113	126	138	146	146	146	146
2	50	52,5	116	129	142	164	183	201	232	240	240	240
2,5	65	62,7	151	169	185	214	239	262	302	338	343	343
3	80	77,9	209	234	256	296	331	363	419	468	529	529
4	100	102	315	352	385	445	497	545	629	704	802	904
5	125	128	442	494	541	625	698	765	883	988	1130	1270
6	150	154	582	650	713	823	920	1010	1160	1300	1480	1670
8	200	203	878	982	1080	1240	1390	1520	1760	1960	2240	2520
10	250	254	1240	1380	1510	1750	1950	2140	2470	2760	3150	3550
12	300	305	1610	1800	1970	2270	2540	2780	3210	3590	4100	4620

b) vd limits for other medium sized tanks (e.g. horizontal-axis tanks or vertical-sided vessels with elongated non-square cross sections):

$$vd \leq N \times 0,50 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{for top loading or bottom loading with a central conductor}$$

$$vd \leq N \times 0,38 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{for bottom loading without a central conductor}$$

subject to a maximum flow velocity of 7 m/s.

In these limit expressions N is a factor that describes the influence of the tank length, L , which is the largest horizontal dimension. With L expressed in metres: $N = 1$ for $L < 2$, $N = \sqrt{L/2}$ for $2 \leq L \leq 4,6$ and, $N = 1,5$ for $L > 4,6$. Internal structures such as baffles need not to be taken into account when determining the tank length, but if the tank is subdivided into completely separate compartments, each compartment should be treated as a separate tank.

These limits apply to the critical section of the piping in the relaxation region upstream of the tank (see 7.3.2.3.5.2). When filling multiple tanks through a branched line the critical section may occur at a location that feeds more than one tank. In this case, the maximum velocity in the critical section may be increased by a factor $N_s^{1/2}$ from the value given above, where N_s is the ratio of the maximum flow rate through the critical segment to the flow rate into the tank (see 7.3.2.3.5.2 and A.1.4).

Flow velocity and volume flow rate limits for filling horizontal axis tanks through unbranched lines via a range of pipe sizes can be obtained by combining the vd and velocity limits and are given in Table 10.

Table 10 – Velocity and filling rate limits for loading low conductivity liquids into short ($N=1$), fixed horizontal axis tanks via schedule 40 pipes

Pipe size ^a			Bottom loading or loading without a central conductor		Top loading or loading with a central conductor	
			$vd = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$		$vd = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	
NPS	DN	ID, mm	Flow velocity, m/s	Filling rate, m ³ /min	Flow velocity, m/s	Filling rate, m ³ /min
1	25	26,6	7,0	0,23	7,0	0,23
1,5	40	40,9	7,0	0,55	7,0	0,55
2	50	52,5	7,0	0,91	7,0	0,91
2,5	65	62,7	6,1	1,12	7,0	1,30
3	80	77,9	4,9	1,40	6,4	1,84
4	100	102	3,7	1,83	4,9	2,41
6	150	154	2,5	2,76	3,2	3,63
8	200	203	1,9	3,63	2,5	4,78
12	300	305	1,2	5,46	1,6	7,18

^a based on diameter of critical pipe section (see 7.3.2.3.5.2).

The velocity, vd , and flow rate limits given in this section are derived on the assumption that all the requirements outlined in 7.3.2.3.2 are fulfilled. Sometimes this is difficult to ensure (e.g. it is not always certain that splash loading can be prevented). Where there is any doubt, a risk assessment should be carried out and additional control measures put in place if appropriate. Additional measures may include:

- reducing the flow velocity below the level required by the limits in Table 10;
- raising the conductivity using SDA (see 7.2.4).

7.3.2.3.5.4 Limits for road tankers

This subclause describes how the velocity or vd limits for loading uncontaminated, single-phase, low-conductivity liquids into road tankers differ from the limits for fixed tanks (7.3.2.3.5.3). Any velocity or vd limit that is not explicitly mentioned in this section (e.g. limits for slow starts and contaminated liquids) remains as given in 7.3.2.3.5.3 for fixed tanks:

Liquids other than petroleum fuels: Use the fixed-tank velocity limits in 7.3.2.3.5.3 except that if compartments of different length are to be filled at the same loading point, as will usually be the case, the vd limit and flow velocity should be calculated using the N value for the shortest compartment that will be filled. If the length of the shortest compartment is not known, $N = 1$ should be used. This will ensure that the maximum flow velocity is acceptable for the worst-case compartment lengths ($L \leq 2 \text{ m}$). The flow velocities and flow rates for this case are given in Table 10.

Petroleum middle distillate fuels: To deal with differences in vehicle design, the oil industry has started to classify those road tankers for which a higher flow velocity can be tolerated in

all compartments as “vehicles suitable for high-speed loading”. These vehicles have the features identified in Table 11 as promoting reduced potentials and may be loaded up to 33 % faster than standard vehicles if local regulations permit. A terminal that is set to load at the higher velocity limit should specify that only vehicles suitable for high speed loading be filled.

Table 11 gives a definition of the vehicles that may be considered suitable for high speed loading. Using this definition to classify vehicles, flow velocities should be set so that vd does not exceed the appropriate limit taken from Table 12. The vd limits in Table 12 depend on the type of product (low sulphur (< 50 ppm) or other middle-distillate product), the nature of the compartment (suitable for high speed loading or not) and the product conductivity.

Gasolines: Finished gasolines may be loaded at rates determined from a universal limit of $vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ (subject to $v \leq 7 \text{ m/s}$) irrespective of vehicle type, gasoline conductivity or sulphur content. This rate is based on the degree of protection conferred by high volatility coupled with limited scope for air ingress in bottom loaded vehicles and its use is supported by operational experience. It should not be applied to the loading of individual gasoline components such as naphthas, which may have significantly lower volatility than finished gasolines. Such components should be loaded using the filling rules for middle distillates.

Flow velocities and volume flow rates derived from the vd limits in Table 12 and subject to the maximum flow velocity of 7 m/s are given in Table 13 for a range of pipe sizes.

Table 11 – Vehicles and compartments suitable for high-speed loading for ADR compliant vehicles

Vehicle	If a vehicle/tanker is to be classed as suitable for High Speed Loading, then all compartments on that vehicle must be High Speed Loading Compartments.
Compartment	A High Speed Loading Compartment is any compartment or chamber with a capacity of 2 000 l to 15 000 l equipped with a conductor which is either a) a full height baffle or surge plate, or b) an Internal Tube, or c) a Central Conductor Wire, so that no part of the liquid, in plan view, has a distance exceeding 0,8 m from any conducting surface. Larger compartment sizes do not require such a conductor to be classed as High Speed Loading Compartments. Where a compartment is fitted with an overfill, or other, probe which is at least 0,5 m from a "conductor", as defined above, the probe should be fitted with a "probe extender" to be fixed to the probe and located at the floor of the compartment.
Central Conductor	An electrically continuous cable/wire/tube with a diameter of at least 2 mm, fixed to the roof of the compartment or chamber and located at the floor. The cable/wire/tube should be of corrosion-resistant metal and have sufficient mechanical integrity to resist normal wear and tear.
Internal Tube	Any tube for dipping, service or vapour recovery that is electrically continuous with the shell of a compartment or chamber.
Chamber	A chamber is the space created in a compartment larger than 7 500 l when that compartment is subdivided by baffles or surge plates, in accordance with the ADR, into spaces of smaller capacity.
NOTE ADR is the European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Roads.	

Table 12 – Influence of the sulphur content on middle distillate vd limits for road tankers

Product class	Conductivity, pS/m		
	> 50	> 10	< 10 or unknown
Diesel or gas oil with > 50 ppm sulphur and all other middle distillate fuels	$vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$vd \leq 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ ($vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$)
Diesel or gasoil with ≤ 50 ppm sulphur	$vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$vd \leq 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ ($vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$)	$vd \leq 0,25 \text{ m}^2/\text{s}$ ($vd \leq 0,35 \text{ m}^2/\text{s}$)

NOTE Values in brackets apply to vehicles suitable for high speed loading (see Table 10).

Table 13 – Velocity and filling rate limits for road tankers based on schedule 40 pipes; rates for hoses will be similar

Pipe size ^a			$vd = 0,25 \text{ m}^2/\text{s}$		$vd = 0,35 \text{ m}^2/\text{s}$		$vd = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$		$vd = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	
NPS	DN	ID, mm	Flow velocity, m/s	Filling rate, m ³ /min	Flow velocity, m/s	Filling rate, m ³ /min	Flow velocity, m/s	Filling rate, m ³ /min	Flow velocity, m/s	Filling rate, m ³ /min
2,5	65	62,7	4,0	0,74	5,6	1,03	6,1	1,1	7,0	1,3
3	80	77,9	3,2	0,92	4,5	1,3	4,9	1,4	6,4	1,8
4	100	102	2,4	1,20	3,4	1,7	3,7	1,8	4,9	2,4
6	150	154	1,6	1,81	2,3	2,5	2,5	2,7	3,2	3,6

^a based on diameter of critical pipe section (see 7.3.2.3.5.2).

If a vehicle is not ADR compliant, a detailed assessment should be carried out before it can be classified as suitable for High Speed Loading.

The vd limits in Table 12 and the velocities and filling rates in Table 13 are derived on the assumption that the requirements in 7.3.2.3.3 are fulfilled. Sometimes this is difficult to ensure (e.g. it is not always certain that splash loading can be prevented). Where there is any doubt, a risk assessment should be carried out and additional control measures put in place if appropriate. Additional measures may include:

- reducing the flow velocity below the values required by the vd values in Table 12;
- using SDA (see 7.2.4) in products that have low conductivity.

7.3.2.3.5.5 Limits for rail tankers

This subclause describes how the velocity or vd limits for loading uncontaminated, single-phase, low-conductivity liquids into rail tankers differ from the limits for fixed tanks (7.3.2.3.5.3). Any velocity or vd limit that is not explicitly mentioned in this chapter (e.g. limits for slow starts and contaminated liquids) remains as given in 7.3.2.3.5.3 for fixed tanks:

The given limits assume the use of standard rail tank compartments that are significantly larger than road tank compartments. If this is not the case, a risk analysis should be done to consider whether the (lower) road tanker vd limits ought to be adopted.

NOTE There is no top-loading/bottom-loading/central conductor distinction for standard rail tank car compartments as they are usually long and a central conductor is therefore not effective in reducing the maximum surface voltage.

- vd limit for low-sulphur (< 50 ppm) petroleum middle-distillate fuels (diesel etc):

$$vd \leq 0,53 \text{ m}^2/\text{s}$$

b) vd limit for all other liquids:

$$vd \leq 0,75 \text{ m}^2/\text{s}$$

In case of doubt about product classification, a vd limit of $0,53 \text{ m}^2/\text{s}$ should be used.

Flow velocities and volume flow rates corresponding to these vd limits and subject to the maximum flow velocity of 7 m/s are given in Table 14 for a range of pipe sizes.

Table 14 – Velocity and filling rate limits for loading rail tankers

Pipe size ^a			Low sulphur diesel		Standard products	
			$vd = 0,53 \text{ m}^2/\text{s}$		$vd = 0,75 \text{ m}^2/\text{s}$	
NPS	DN	ID	Flow velocity, m/s	Filling rate, m^3/min	Flow velocity, m/s	Filling rate, m^3/min
2	50	52,5	7,0	0,91	7,0	0,91
2,5	65	62,7	7,0	1,30	7,0	1,30
3	80	77,9	6,8	1,95	7,0	2,00
4	100	102	5,2	2,55	7,0	3,45
6	150	154	3,4	3,85	4,9	5,44
8	200	203	2,6	5,06	3,7	7,16
12	300	305	1,7	7,61	2,5	10,77

^a based on diameter of critical pipe section (see 7.3.2.3.5.2)

The vd limits and flow limits in Table 14 are sufficient only if all the conditions set out in 7.3.2.3.4 are fulfilled. Sometimes this is difficult to ensure (e.g. it is not always certain that splash loading can be prevented). Where there is any doubt, a risk assessment should be carried out and additional control measures put in place if appropriate. Additional measures may include:

- reducing the loading velocity below the values required by Table 14;
- using SDA (see 7.2.4) in products that have low conductivity.

7.3.2.4 Small conductive tanks and containers

Examples of small conductive containers (see definitions in 7.3.2) are buckets, drums, petrol containers and Intermediate Bulk Containers (IBC) made of metal. Care should be taken to ensure that the metal containers and drums are not coated with an insulating coating, otherwise these containers have to be used according to 7.3.4.

NOTE Some forms of coating might be transparent and, consequently, hard to identify visually.

Hazards arise because the charges generated by liquid flow can lead to brush discharges from the surface of low conductivity liquids or to sparks from isolated metal containers or components such as drum pumps. People in the vicinity should be earthed to avoid becoming hazardedly charged (see Clause 11).

The following precautions should be taken whenever a flammable atmosphere could be present inside or outside the container (e.g. when they are filled with flammable liquids, are filled in hazardous areas or are filled in the presence of flammable vapours remaining from previous loads).

- During both filling and emptying the container, all conductive and dissipative parts of the system such as funnels and nozzles should be bonded together and earthed.
- A metal funnel should be reliably earthed and should not, for example, be accidentally isolated from the container by an insulating bushing.

- c) Plastic funnels should not be used unless the material is dissipative and earthed.

NOTE The use of plastic filler necks in cars is, at present, considered to be safe due to over-rich gasoline and too lean diesel fuel vapours. This statement may be not true for some biofuels.

- d) For single-phase liquids, the vd and velocity limits set for medium-sized tanks should not, in principle, be exceeded. In practice these limits usually permit flow rates well above limitations of the filling equipment for small tanks. Therefore, there is usually no restriction on the filling rate. If an explicit flow limit is desired, it is suggested that the filling velocity should not exceed 2 m/s.
- e) When filling a container with a two-phase or contaminated liquid, the flow velocity should not exceed 1 m/s when the continuous phase is of medium or low conductivity.
- f) For ignition-sensitive liquids with MIE less than 0,20 mJ (see C.6 for a list of MIE) the flow velocity should not exceed 1 m/s.
- g) If fine filters (e.g. microfilters) are used in the filling system upstream of the container, the precautions in 7.5 should be taken.

The only type of IBC that is acceptable for use with liquids of explosion group IIC (see also 7.3.4.5) is that made of conductive or dissipative material. Limited amounts of insulating material may be permissible (e.g. filler cap or areas around the filler cap) but chargeable areas should not exceed the limiting values given in 6.3.2.

7.3.3 Tanks and containers made entirely of dissipative material

These tanks may be treated exactly as the equivalent conductive tanks since they cause no additional hazards. They should be clearly marked "electrostatic dissipative" and provided with means for earthing.

Tanks made partly of dissipative and partly of insulating material may be treated as fully dissipative if the area of each piece of insulating material is less than the relevant maximum allowable area from Table 3. Otherwise, they should be treated like tanks with insulating surfaces.

7.3.4 Tanks and containers with insulating surfaces

7.3.4.1 General

For tanks with insulating surfaces (including metal tanks with insulating coatings), the precautions given in 7.3.4.2 to 7.3.4.6 apply in addition to the requirements already given for the equivalent metal tanks.

7.3.4.2 Tanks and containers made of conductive or dissipative material with insulating inner coatings

Additional hazards arise due to the possibility of charging of the inner coating by rubbing (e.g. cleaning) or by contact with the charged liquid.

When the coating thickness is less than 50 μm (e.g. paint, phenolic or epoxy coatings) there is no additional hazard (see 6.3.4.2) unless there are rapid repeat fills. The coating thickness may be increased to less than 2 mm if there is a contact point to earth for the liquid at the bottom of the container.

In all other cases the following additional precautions should be taken:

- a) the coating should be in good contact with the wall (i.e. no separation or delamination);
- b) irrespective of whether the tank or container is filled with a high, medium or low conductivity liquid, there should be a conductive path between the liquid and earth. This may be an earthed conductive dip tube projecting to the lowest point of the tank, a foot valve or a conductive plate at the base of the tank;

- c) if the tank can be entered by a person (e.g. for cleaning) precautions should be taken to prevent persons and hand tools from being charged. This can be achieved by ensuring the person is earthed by wearing dissipative shoes and providing an earthed conductive or dissipative walkway at the tank bottom (e.g. by providing dissipative coatings in the area where people may walk), or by other means;
- d) rapid repeated fillings should be avoided, because they can cause incendive propagating brush discharges. These can be avoided either if the breakdown strength of the coating is less than 4 kV (see A.3.5) or if the thickness of the coating exceeds 10 mm.

Insulating tanks buried underground are usually medium in size and are electrically similar to those covered in this clause. However, they are dealt with in 7.3.4.6.

7.3.4.3 Tanks and containers made of conductive or dissipative materials with insulating outer coatings

With these tanks there are the additional hazards that the outer coating could become charged or it could insulate conductive objects. With coatings less than 2 mm thick, brush discharges capable of igniting hydrocarbon/air atmospheres are unlikely to occur. Propagating brush discharges are also unlikely, providing there are no strong external sources of charging (e.g. electrostatic spraying). All metal or dissipative objects, however, which could become isolated by the coating should be earthed. In particular the tank or container itself should be reliably earthed. Earthed conductive or dissipative walkways should be provided to prevent people becoming charged.

7.3.4.4 Tanks and containers with conductive layers embedded in the walls

These tanks are effectively conductive tanks with both inner and outer insulating coatings. Therefore the precautions given in both 7.3.4.2 and 7.3.4.3 should be taken together with the following:

- a) the conductive layer should be robust and reliably earthed;
- b) if the liquid is not in contact with the conductive layer, a path to earth from the liquid should be provided via an earthed metal object in the base of the tank. This could be a metal plate, a foot valve or a fill pipe extending close to the bottom of the tank;
- c) if the conductive layer is in the form of a conductive net or grill, the area of each mesh (i.e. the area contained by the wires) should not exceed the area value given in 6.3.3 for Zone 0.

Where rapid repeated fills take place there is a possibility that the inner coating could become highly charged enabling propagating brush discharges to occur. These can be avoided if the breakdown strength of the coating is less than 4 kV (see A.3.5).

7.3.4.5 Containers and IBCs made of an insulating material surrounded by a conductive enclosure or coating

This form of construction is generally used for small tanks or containers with a capacity of around 1 m³. Electrostatically, it is similar to that covered in 7.3.4.2. but the coverage provided by the conductive enclosure may be incomplete and there may be gaps between the enclosure and the container wall. Examples are plastic containers, such as IBCs, surrounded by a conductive shield, grid, mesh or coating. The advice in this clause focuses on the application to IBCs and applies principally to containers of around 1 m³ in capacity. Conductive enclosures are not normally provided for plastic containers much smaller than this. Although specific advice has not been developed for smaller vessels, the advice in this clause would provide for safe operation. Alternatively, the provisions of 7.3.4.6 may be used for vessels of this type with max. 5 l capacity.

Expert advice is recommended if the use of medium or large sized tanks with conductive enclosures is being considered in other contexts.

NOTE 1 Insulating tanks buried underground can be medium or large in size and are electrically similar to those covered in this clause. However, they are dealt with in 7.3.4.6.

The use of IBCs is one activity for which specific requirements for more ignition-sensitive materials are given. For IBCs and similar tanks, a full conductive enclosure, coating or an open mesh screen with open areas not exceeding 10 000 mm² prevents the outer surface of the plastic charging to a hazardous level (subject to the provisions given below about contact between enclosure and plastic) and helps to bind any charges present on the inner surface to reduce the risk of incendive brush discharges inside the container. Strict care should be taken to avoid conductive islands caused by inhomogeneous conductive coatings on insulating receptacles.

NOTE 2 The outer coating may be a non-chargeable layer co-extruded with the inner receptacle of the IBC. The receptacle may consist of several other layers.

To ensure that neither the inner and outer walls of the container nor the liquid inside can be charged to a hazardous level, all of the following precautions should be taken:

- 1) Requirements for containers that will only be used for liquids of explosion group IIA and ethanol, propanol, butanol, hexanol, heptanol, 1,2-ethanediol, ethylbenzene and 3-oxobutanoic acid ethyl ester.

NOTE Only a few groups of liquids are not classed in explosion group IIA. See IEC 60079-20-1 for more details. A summary is given in Clause C.6.

- a) The container should be completely surrounded by a conductive shield, grid, mesh or coating except for limited design related areas (i.e. areas for which the consequences of incomplete coverage have been considered in the design process and shown to be non-hazardous). If the enclosure is a grid the open mesh area of each open mesh unit should be not more than 10 000 mm².
- b) Any limited areas not enclosed by the conductive shield, grid, mesh or coating (e.g. the filler cap or areas around the filler cap) should be either dissipative and earthed or protected by other measures so that ignition hazards for explosion group IIA in Zone 1 outside and Zone 0 inside of the container do not occur (e.g. limiting the chargeable area to the values of 6.3.2 or surface treatment). The effectiveness and durability of the surface treatment (e.g. profiling, homogenous coating with dissipative layers etc.) has to be demonstrated experimentally under the worst case conditions of charging, humidity and contamination (see 6.3.9).
- c) The shield, grid, mesh or coating should have good and close contact to the inner receptacle on all faces of the container except for limited design related areas. For a grid, with open mesh areas exceeding 3 000 mm² a local maximum distance of 20 mm between grid and inner receptacle should not be exceeded on the design related areas, e.g. the outlet valve area. Only in edges and corners of the containers a local maximum distance of up to 40 mm can be tolerated. For a solid shield, grid, mesh or coating or a grid with mesh sizes lower than 3 000 mm² a local maximum distance of 40 mm is allowed in design related areas, and edges and corners.

NOTE It is generally impractical to achieve smaller distances. The resulting charged areas are small and generally present an acceptably low risk.

- d) All conductive and dissipative items should be bonded together and earthed.
- e) A conductive path with a maximum resistance of 1 MΩ should be provided between the liquid and earth, e.g. by using an earthed conductive fill pipe extended close to the bottom of the container or an earthed conductive foot valve or a sufficient large conductive plate at the base of the tank. Even small amounts of remaining liquid, e.g. 1 l, should be permanently in contact with the bottom earth point to prevent the liquid from becoming a charged isolated conductor.
- f) The container should be equipped with a yellow warning label concerning its safe use (see h) to m)).
- g) Before refilling, the container should be checked whether it still fulfils the requirements of a) to f).
- h) The container should not be filled with any other liquids.

- i) The container should not be used where a Zone 0 is present outside the container.
 - j) Insulating liquids (e.g. toluene) should be added via an earthed conductive dip pipe. This dip pipe should go to within a few cm of the floor to avoid brush discharges from insulating liquids.
 - k) The filling velocity should be restricted to 400 l/min and the flow velocity should not exceed 2 m/s.
NOTE Both values are usually fulfilled when filling by gravity.
 - l) Rapid repeated fillings or other high charging processes should be avoided. Such other high charging processes are dealt with in 7.5, 7.9 and 7.10.
 - m) The container should not be filled immediately after cleaning, manufacturing etc. when it may be hazardously charged.
- 2) Requirements for containers which may be used for all liquids producing vapours of explosion groups IIB:
- a) The container should be surrounded by a continuous earthed dissipative or conductive outer wall surface, obtained e.g. by coating or co-extrusion.
 - b) Grids or separate metal shields that are not physically bonded to the wall throughout should be earthed.
 - c) Any limited areas not enclosed by the conductive outer wall surface (e.g. the filler cap or areas around the filler cap) should be either dissipative and earthed or protected by limiting the chargeable area to the values in 6.3.2.
 - d) A conductive path with a maximum resistance of 1 M Ω should be provided between the liquid and earth.
 - e) The container should be equipped with a green warning label concerning its safe use (see f)).
 - f) Follow precautions h) to m) in section 1.
- 3) Liquids producing vapours of explosion group IIC may only be used with dissipative or conductive containers (see 7.3.3).
- 4) Although IBC are not constructed to be used as mixing vessels or reaction containers it may be necessary to homogenize the contents by stirring before filling or emptying the IBC. As these processes are likely to cause powerful charging the following precautions should be taken:
- a) Use only explosion-proof stirring devices.
 - b) Use stirring devices with a large metal surface immersed in the liquid.
 - c) Earth both the IBC and the stirring device including the metal stirrer immersed in the liquid.
 - d) Do not activate the stirring device until fully immersed.
 - e) The conductivity of the continuous liquid phase should exceed 1 000 pS/m.
NOTE Water soluble liquid phases usually fulfil this requirement.
 - f) Reduce the circumferential tip speed of the stirrer to 7 m/s for single phase liquids and 1 m/s for multi-phase liquids.
 - g) If high charging liquids (see A.1.3) are used, strong charge generation is expected so that further measures, e.g. inerting, are necessary.
 - h) Further measures are also necessary in the case of high speed mixing, e.g. use of surfactants.

7.3.4.6 Tanks and containers made entirely of insulating material

If the tank is buried underground it is electrically similar to a conductive tank with an insulating inner coating (see 7.3.4.2) or a tank surrounded by a conductive enclosure (see 7.3.4.5). In these circumstances, the tanks may be used for flammable liquids providing there is an earthed metallic object (e.g. fill pipe or foot valve) in contact with the liquid and rapid repeated fills are avoided. Where the tank wall thickness exceeds 2 mm brush discharges

could occur from the internal surface during cleaning operations. The precautions given in 7.10 should be taken to avoid this hazard.

In all other circumstances, tanks and containers without any conductive or dissipative layer present a higher risk than those described in 7.3.4.2 to 7.3.4.5 because of the following:

- a) They can insulate conductive and dissipative objects, e.g. metal funnels, tools, lids, even pools of liquid, from earth;
- b) Potentials are higher than with equivalent metal containers;
- c) The insulating wall could be charged either by rubbing or by contact with the charged liquid;
- d) The relaxation of charge from the liquid will usually be impeded by the insulating wall;
- e) The charge retained on the liquid or the wall of the container produces an external electric field. This could lead to brush discharges or sparks from external conductors charged by induction;
- f) In the case of rapid repeat fills, strong brush discharges could occur.

For these reasons, insulating tanks should not normally be used above ground if a flammable atmosphere could be present inside or outside the tank. Where product purity requirements or other processing issues dictate the use of an insulating tank or container either the following precautions should be applied or an expert review of the hazards should be undertaken:

In external Zone 2, insulating containers with a nominal capacity exceeding 5 l should not be used for flammable liquids and should only be used for non-flammable liquids under the following conditions:

- a) All conductive and dissipative components, particularly metal funnels, should be earthed;
- b) During filling operations the liquid should be in good contact with earth, for example, by an earthed metal fill pipe reaching to the bottom of the container. During emptying operations the appropriate precautions should also be applied to the receiving vessel;
- c) The liquid flow rate during filling operations should not be greater than that recommended for a metal container of similar size;
- d) Do not carry out operations such as fast mixing, stirring or wiping of the surface that may generate hazardous electrostatic charges.

In Zone 1 containers of insulating material with a capacity exceeding 5 l should not be used. Containers with a nominal capacity up to 5 l may be used with flammable and non-flammable liquids provided the flow velocity is limited to 1 m/s and the precautions for Zone 2 are met.

In Zone 0, insulating containers are strictly forbidden except small ones (≤ 1 l) for sampling inside tanks (see 7.6).

NOTE Small coextruded containers > 5 l with a dissipative outer and an insulating inner layer are available on the market which are preferable.

7.3.5 Use of liners in containers

The following assessments are based on the assumption that the handling of liners and containers occurs in a hazardous area (typically Zone 0, 1 or 2 with substances of explosion groups IIA and IIB).

Conductive or dissipative liners may be used in any container if they are earthed reliably and permanently. Removal of conductive or dissipative liners from any container is only permissible if the liner stays reliably earthed.

Where unearthed conductive or static dissipative removable liners are used in metal containers having painted coatings, the coating should have a maximum surface resistance of

1 G Ω and precautions should be taken to limit the charging current to no more than 1 microampere, such as by placing filters a safe distance upstream (see 7.5 and A.2.2). Alternatively measures should be taken to ensure a safe earth connection for the liner, such as by securely attaching a portion of it to an uncoated section of the drum.

Insulating liners should only be used in conductive containers or in conductive containers with insulating coatings, if they always remain in tight contact with the wall of the container and, in the case of a conductive liquid, if the liquid is properly earthed (e.g. by earthed dip pipe, earthing rod, etc.). In addition the thickness of the coating and liner in total should not exceed 2 mm. The removal of insulating liners in explosive atmosphere (e.g. the removal of solvent wet liners) should be avoided.

Solvent-wet conductive or dissipative liners should be handled by a properly earthed person wearing static dissipative gloves (see 11.6) and stored in a well-ventilated area outside the operating area. The liners should be stacked on an earthed conductive or dissipative surface such as concrete and placed in static dissipative bags pending disposal.

Users of conductive or dissipative container liners should adopt a simple performance test to check for batch defects. Such a procedure might involve resistance testing using a series of tera ohmmeter measurements between the top and bottom of the liner or similar testing. The specific performance standard should be provided by the supplier of the liner.

7.4 High viscosity liquids

High viscosity liquids (kinematic viscosity about 100 mm²/s) tend to charge more readily than low viscosity liquids such as fuels or solvents like hexane (about 1 mm²/s) during flow through pipes and especially filters. They can also have an electrical conductivity as low as 0,01 pS/m enabling them to retain their charge for more than 1 h. Because of this, the restrictions on flow velocity recommended for low viscosity liquids in various parts of 7.3 are not adequate if a flammable atmosphere could be present.

Fortunately, most high viscosity liquids are either of high conductivity (e.g. crude oil) or are not volatile enough to produce a flammable atmosphere (e.g. most lubricating oils). As a result, they do not normally give rise to an ignition hazard. In some cases, however, there is a high risk of ignition, e.g. when a low conductivity lubricating oil is switch-loaded into a road tanker that previously contained a volatile flammable liquid. Since reliable flow limits for high-viscosity liquids are not known, the recommended precaution when low-conductivity, high-viscosity liquids are being handled is to avoid a flammable atmosphere, e.g. by inerting.

7.5 High charging equipment

7.5.1 Filters, water separators and strainers

Flow through fine filters (including water separators) and strainers, can produce significantly higher charge densities than flow through pipes.

Coarse wire mesh or gauze strainers (pore size < 150 μ m) are not normally regarded as high charging although if partially blocked they can generate charge densities that considerably exceed those obtained in pipe-flow. Partial blockages can be detected by monitoring the pressure drop.

Microfilters (pore size < 30 μ m) often generate very high levels of charge: for example, charge densities exceeding 5 000 μ C/m³ have been reported in systems that gave about 10 μ C/m³ from pipe flow. Moderately fine filters (30 μ m $\leq$ pore size $\leq$ 150 μ m) generate intermediate levels of charge.

Flow rate limits are based on the charging due to pipe flow. Therefore, if there could be a flammable atmosphere in the vapour space of a tank located downstream of a microfilter, moderately fine filter/strainer or blocked coarse-strainer, it is essential that there is sufficient

residence time between the filter and the tank for the excess charge to relax to a safe level before the liquid enters the tank. The residence time could be provided by conductive pipe work downstream of the filter or, if necessary, by an additional conductive relaxation chamber.

The residence time requirements and additional precautions for filters and strainers are as follows:

- 1) Residence time requirements between filter and tank for microfilters, filters/strainers with pore size less than 150 μm and coarse strainers that may be subject to blockage:
 - a) Liquids of (reliably) known minimum conductivity: the residence time should be at least three times the relaxation time based on the minimum conductivity (see Table 7 and A.2.2) although it is not necessary to provide more than the maximum values set out in the next paragraph for liquids of unknown conductivity.
 - b) Upper limits for liquids of unknown conductivity: The maximum residence times required when the liquid conductivity is unknown or is very low, are as follows:
 - i) For microfilters (pore size < 30 μm) and moderately fine filters (30 μm $\leq$ pore/mesh size $\leq$ 150 μm) with a tendency to partial blockage: 100 s;
 - ii) For moderately fine filters (30 μm $\leq$ pore/mesh size $\leq$ 150 μm) with no tendency to partial blockage and coarse filters with a tendency to blockage: 30 s.
- NOTE These residence times are adequate for all conductivities except in the case of high viscosity liquids (see 7.4).
- 2) Other precautions:
 - a) Ensure that all conductive parts on filters and in filter housings are bonded together and earthed;
 - b) Ensure that the filter housing and the relaxation chamber, if used, remain full of liquid during normal operation in order to prevent a flammable atmosphere.

If provision of the required residence time is impractical, consider using SDA to increase the conductivity of the liquid or replacing the liquid with a more conductive one. If this is not possible, the vapour space should be inerted.

The use of a shorter residence time than the upper limit value requires a reliable knowledge or control of the minimum liquid conductivity that could be encountered. In many practical cases, this minimum conductivity is not known and it is necessary to provide a residence time equal to the upper limit.

In the case of high-viscosity, low-conductivity liquids such as base lubricating oils (see 7.4) the usual maximum residence times are not adequate. When the required residence times are unknown or are too long to be practicable, it is essential to avoid a flammable atmosphere in the receiving tank.

For tanks with a floating roof or an internal floating cover, the residence time can be calculated from the reduced initial flow velocity of 1 m/s that applies before the roof or internal cover is floating (see 7.3.2.2.3). This is because there is no longer an ignition hazard after the roof or cover is afloat.

Free hanging filter bags, also known as end-of-line polishing filters, should not be used in explosive atmospheres. Even if the liquid is conductive such filters should be located upstream so that the fabric is not in contact with vapour-air mixtures. With low conductivity liquids the filter should be located an appropriate residence time upstream of the pipe end (see above).

7.5.2 Pumps and other equipment

Other equipment, such as pumps and partly closed valves, may also give increased charge generation. However these items do not usually generate as much charge as a microfilter. Therefore, if there could be a flammable atmosphere in the vapour space of a tank located

downstream of such equipment, the residence time requirements for moderately fine filters should be applied (see 7.5.1, i.e. a residence time of at least three relaxation times (3τ) up to a maximum of 30 s should be allowed between the equipment and the tank).

7.6 Gauging and sampling in tanks

7.6.1 General

Gauging and sampling could cause electrostatic ignition in any size of tank if there is a flammable atmosphere present, and the gauging and sampling equipment or the people using the equipment could become charged. Also, for large and medium tanks, the risk of ignition is high if the liquid in the tank is highly charged by either filling processes or agitation, e.g. in a mixing operation (see 7.9). The latter risks are, however, eliminated if gauging or sampling takes place in a fixed, earthed dip-pipe extending to the bottom of the tank (gauge well).

An incendive discharge can occur between the liquid and the gauging or sampling equipment as they approach each other, or between the equipment, or the person handling it, and the rim of the manhole or dip hatch through which the operation is taking place. To avoid these hazards, the recommendations in 7.6.2 should be followed.

7.6.2 Precautions during gauging and sampling

The following precautions should be taken:

- a) All conductive and dissipative parts of gauging and sampling equipment should be earthed either by connecting them to the tank, or if the tank is constructed of insulating material, directly to earth. The connections should be made of dissipative or conductive material. A metal chain should not be used.
- b) Where the earthing of conductive gauging and sampling equipment for low and medium conductivity liquids cannot be ensured, small (≤ 1 l) glass or glass containers, preferably coated with a static dissipative coating, and wooden dip sticks should be used. This equipment should also be used in the case of unearthed high conductivity liquids.
- c) Ensure that people engaged in gauging and sampling do not present an ignition risk and are earthed (see Clause 11).

Unless fixed gauging equipment is used or the gauging takes place in a fixed, earthed dip-pipe extending to the bottom of the tank, the following measures should also be applied:

- a) Gauging and sampling from above the liquid surface should not be carried out in a tank containing a flammable atmosphere while any charge generating operation is going on. Charge generating operations include pumping or circulating low conductivity, single-phase liquids, pumping or circulating low or medium conductivity multi-phase liquids and many cleaning procedures.
- b) Gauging and sampling should not take place while the components of a low conductivity mixture are settling. Therefore, a time delay of at least 30 min should be allowed after completion of the operation before gauging or sampling if a low conductivity liquid containing a second phase has been pumped into a tank or has been involved in a mixing operation in a tank. Examples of this include stirred up water or non-dissolved solid particles.
- c) Gauging and sampling should not be carried out through the open manhole of an inerted container. In this case the inerting is destroyed even if the manhole is open for only a few seconds.

Gauging and sampling of flammable liquids outdoors should not be carried out if there is a possibility of thunderstorms, snowstorms, hailstorms, or other disturbed atmospheric electrical conditions.

7.7 Pipes and hose assemblies for liquids

7.7.1 General

When a liquid flows in a pipe or hose assembly, charge separation produces electrostatic charges of opposite polarity on the liquid and the inner pipe wall. If the pipe is entirely conductive or dissipative and is earthed, charges cannot accumulate on the wall and the electrostatic hazards are confined to the tanks where the liquid charges may accumulate. The hazards associated with tanks are dealt with in 7.3.

If the pipe or hose assembly contains insulating materials, charge accumulation on the pipe wall becomes possible and hazards may also be associated with the pipe or hose assembly itself. Thus, the wall could be charged by liquid flow or by rubbing and metal components could be isolated and accumulate charge. The hazards associated with charge accumulation on pipes or hoses that are wholly or partly insulating are dealt with in this clause. The degree of accumulation depends on the resistivity of the pipe material, the conductivity of the liquid and the physical geometry of the system. It can reach levels that produce incendive discharges.

Ignition hazards can occur both inside the pipe, if it runs partly empty when handling a flammable low flash point liquid, and / or outside, if the surrounding atmosphere is flammable. Discharges may also puncture the walls of insulating pipes and hence cause leakage. Leakage could generate an external flammable atmosphere that could be ignited by later discharges or it could lead to a toxic hazard (e.g. if the pipe carried a toxic liquid) or environmental harm. Additional requirements for petrol forecourt pipes are specified in EN 14125.

7.7.2 Pipes

7.7.2.1 Classification of pipes

Pipes are classified into the categories conductive (resistance $< 1 \text{ k}\Omega/\text{m}$), dissipative (resistance $1 \text{ k}\Omega/\text{m}$ to $< 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$) and insulating (resistance $\geq 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$) given in the Terms and definitions (3.2, 3.7 and 3.15) and Table 1.

7.7.2.2 Conductive or dissipative pipes

All sections of conductive or dissipative pipes should be adequately bonded and earthed (see 7.7.1). Unless the pipe is made entirely of conductive or dissipative materials, the possibility of puncturing insulating linings remains (see 7.7.2.3 and 7.7.2.4).

7.7.2.3 Conductive or dissipative pipes with an insulating inner lining

When a conductive or dissipative pipe with an insulating inner lining is used to convey a low or medium conductivity liquid, electrostatic charges could accumulate on the inner surface of the lining and produce discharges through the lining to the outer wall of the pipe. Theory indicates that the potential on the surface of a lining often increases in proportion to the thickness of the lining. Hazardous discharges are therefore more likely to occur with thicker linings such as plastic sleeves than with thin linings such as epoxy coatings. Even under adverse conditions (high charge density in the liquid, large pipe diameter, thick lining) discharges are unlikely to occur when the volume resistivity of the lining is less than about $100 \text{ M}\Omega \text{ m}$. Under typical conditions (charge density $< 1\,000 \text{ }\mu\text{C}/\text{m}^3$, pipe diameter about 100 mm , lining thickness $< 5 \text{ mm}$) discharges will not occur unless the volume resistivity exceeds $100 \text{ G}\Omega \text{ m}$.

NOTE The thicker the insulating liner, the more likely the occurrence of brush discharges and the less likely the occurrence of propagating brush discharges. See A.3.4 and A.3.5.

The use of conductive or dissipative pipes with thicker and/or less conductive linings could still be acceptable for many liquid handling applications. In this case it is necessary that all conductive sections of the pipe are reliably earthed and the pipe remains full of liquid

throughout the operations. The latter requirement ensures that there is no flammable atmosphere inside the pipe.

A pipe with a thick and less conductive lining should be filled and emptied slowly if a flammable atmosphere could be present. In general, the velocity of the liquid/air interface should not be allowed to exceed 1 m/s. Lower velocities could be necessary downstream of microfilters.

Although there is no electrostatic ignition hazard if the pipe remains full of liquid, an electrical breakdown could puncture a highly insulating lining. Where it is essential to avoid this (e.g. to prevent corrosion) it can generally be prevented by using a lining with a low volume resistivity. A value of less than 100 GΩ m is usually adequate although, under high rates of charge generation, less than 100 MΩ m could be necessary.

7.7.2.4 Insulating pipes

7.7.2.4.1 General

The flow of low, medium and high conductivity liquids through insulating pipes can produce high surface charge densities, electric fields and potentials on the pipe walls. These may lead to the following hazards:

- a) high fields and potentials may lead directly to incendive discharges inside or outside the pipe,
- b) high fields will extend beyond the pipe and, consequently, sparks could occur by electrostatic induction from nearby conductive objects or people that are not earthed.
- c) high charge densities on the inner surface of the pipe could lead to the electrical breakdown and puncture of the pipe wall.
- d) damp air may enter the pipe and condense on the walls inside, creating conductive puddles that may give spark discharges to earthed objects.

7.7.2.4.2 Insulating pipes above ground

Above ground, hazards could arise from internal or external discharges, inductive sparks or wall puncture. The following requirements therefore apply if there could be a flammable atmosphere inside or outside the pipe (e.g. in hazardous areas or when handling flammable liquids in partly-filled pipes):

- 1) For low or medium conductivity liquids either:
 - a) ensure that the pipe end-to-end resistance falls within safe limits developed specifically for the application using a detailed hazard analysis, or
 - b) empirically adjust the pipe resistances and operating conditions until it can be demonstrated by experimental hazard assessments that incendive discharges will not be generated by the proposed operation even under worst-case conditions.

NOTE Both these approaches are used, for example, in SAE J1645 for designing plastic fuel handling systems on motor vehicles.

- 2) For high conductivity liquids either follow the precautions for medium and low conductivity liquids or:
 - a) ensure that the liquid is in direct contact with an earthed conductive component such as a valve or tank at the upstream end of the pipe, and
 - b) ensure that the flow velocity does not exceed 1 m/s.
- 3) Use the precautions given in Clause 6 to ensure that the external wall of the pipe cannot be hazardedly charged by external sources such as steam impingement or rubbing.
- 4) To avoid sparks due to induction-charging, earth all conductive components attached to the pipe (e.g. flanges, valves, balls of valves or conductive layers inside the pipe) and all such items in the vicinity of the pipe unless their installed electrical capacitance is less than 3 pF.

NOTE 1 Installed capacitance means the capacitance of the component as installed in the working assembly. It may be significantly higher than the capacitance of the isolated component if the component is mounted close to an earthed surface.

NOTE 2 In some circumstances it may be possible to prevent electrostatic discharges from conductive items by other means than earthing, e.g. by surrounding them with an airtight insulating material of sufficiently high breakdown strength.

- 5) Use the procedures given in item 1a or 1b as appropriate to set resistance limits and conditions that also prevent incendive discharges inside the pipe or eliminate the internal flammable atmosphere either:
 - a) by ensuring that the pipe is permanently filled with liquid, or
 - b) by inerting.
- 6) Prevent puncturing e.g. by using a wall with a high dielectric strength, by limiting the flow velocity, or by adopting the volume resistivity criteria given in 7.7.2.3 for insulating pipe linings.

The final precaution may be used on its own where the only issue is to prevent puncturing.

If the pipe passes through a zoned hazardous area the pipe should fulfil the requirements of 6.3.

7.7.2.4.3 Buried insulating pipes

When an insulating pipe is buried, its whole external surface is in contact with the earth and usually no further precautions are needed to prevent external incendive discharges. The external earth contact reduces the risk of internal brush discharge but does not remove it completely if the pipe wall has a very high resistivity. Therefore the following additional measures are needed:

High conductivity liquids:

- a) Ensure that the liquid is, at some point, in contact with an earthed metal object, e.g. a valve, and
- b) Prevent puncturing of the wall by discharges (e.g. by using a wall with a high dielectric strength, by limiting the flow velocity, by selecting a wall material with a low resistivity, and using the criteria given in 7.7.2.3 for insulating pipe linings), and
- c) Earth isolated conductive items or surround them with an airtight insulating material of sufficiently high breakthrough strength to prevent discharges (e.g. close the connectors of electric welding sockets with insulating caps).

Medium or low conductivity liquids:

Buried insulating pipes may also be used for the passage of medium or low conductivity liquids but stronger measures (e.g. lower flow velocity, increased dielectric strength of the wall material, further reduction of the wall resistivity, avoidance of explosive atmosphere inside the pipe) are needed to prevent puncturing or explosion of the pipe. These should be guided by a detailed, case-specific hazard assessment.

Excavation of a section of buried pipe could increase the voltages arising from liquid flow and expose conductive or dissipative components. Therefore excavations should not be carried out whilst the pipe is in service and if there is any possibility of a flammable atmosphere, all conductive objects on or near the pipe which could be charged by electrostatic induction should be earthed. However, it can be hazardous to make an earthing connection in a potentially flammable atmosphere.

NOTE Requirements on buried pipes at filling stations can be found in 7.8.4.

7.7.3 Hoses and hose assemblies

7.7.3.1 General

Subclause 7.7.3 deals with hoses for chemical and mineral oil transfers. Paint hoses are dealt with in ISO 8028.

7.7.3.2 Design aims for electrostatic safety of hoses

- 1) Bonding equipment: Hoses are often used to electrically bond connected equipment and may also provide a second layer of protection in bonding of items such as nozzles and lances. The resistance of the hose between end couplings should not exceed a specified limit and the couplings should provide reliable electrical contact to attached equipment.
- 2) Preventing incendive discharges: Where flammable mixtures may be present inside or outside a hose assembly, hazardous charge accumulation should be avoided by a design that:
 - a) Avoids isolation of conductive components such as hose connectors, reinforcing helices and in-line valves. For hoses with one helix inside and one outside it has to be ensured that both of them, especially the inner, are reliably connected to the end fittings. This is especially important for hoses with helices chemically protected by insulating coatings.

NOTE In case of hoses made of conductive or dissipative hose material a direct contact of uncoated metallic helices and end fittings may not be necessary.

 - b) Limits accumulation on insulating surfaces by the placement of conductors or the utilisation of dissipative external and/or internal surfaces as appropriate.
 - c) Avoids formation of charged, isolated liquid “slugs” within the hose.
- 3) Avoiding hose damage: Electrostatic discharges should not damage the hose in any way that compromises performance. In particular, discharges that create pinholes through the hose wall should be prevented.
- 4) Preventing stray currents: It is sometimes necessary to prevent significant levels of stray current from flowing along the hose whilst still ensuring that electrostatic charges can be dissipated. In this document, hoses designed to do this are classed as dissipative, hoses that may conduct significant stray currents are classed as conductive and those with too high a resistance to safely dissipate any electrostatic charging current are classed as insulating.

Although these definitions are somewhat different from those used to define hose grades in ISO 8031 and EN 12115 they help identifying hoses which are safe from the electrostatic point of view because the classification by resistance between end fittings in ISO 8031 does not necessarily imply electrostatic safety. These classifications for controlling hazards caused by electrostatic discharges and stray currents are summarised in Table 15 and compared to the hose grades in ISO 8031 in Table 16.

Table 15 – Classification of end-to-end hose resistances for control of hazards from static electricity and stray current

Classification	End-to-end resistance R limits	Comments
Conductive	$R < 1 \text{ k}\Omega$	Controls most static electricity hazards but may need additional measures due to high resistance covers or linings. Does not limit stray currents from power system faults, cathodic protection systems or earth loops.
Dissipative	$1 \text{ k}\Omega \leq R < 1 \text{ M}\Omega$	Controls most static electricity hazards but may need additional measures due to high resistance covers or linings. Limits stray currents to safe levels.
Insulating	$1 \text{ M}\Omega \leq R$	Cannot be relied upon to control static electricity hazards. Limits stray currents to safe levels.

In meeting the above criteria for controlling ignition, different design features may be needed depending on the conductivity of the liquid, the process requirements and the sensitivity of the atmosphere to ignition.

7.7.3.3 Application of design principles for avoidance of ignition in flammable atmospheres having MIE < 0,20 mJ

7.7.3.3.1 End-to-end electrical bonding (continuity)

End-to-end electrical bonding is usually provided by reinforcing helixes, wires embedded in the hose wall, or braided metal sheaths bonded to conductive end couplings. It is important that each bonding wire or reinforcing helix is securely connected to the end couplings. Connections between bonding wires and couplings should be robust and the resistance between the end couplings should be tested periodically. The frequency and type of testing will depend on the application and should be determined in consultation with the manufacturer.

7.7.3.3.2 Elimination of electrically isolated conductive elements

Conductive hose elements typically include end fittings, hose clips (clamps), reinforcing helixes, embedded wires and braided sheaths.

- End couplings: Couplings are bonded together by a conductive or dissipative (antistatic) hose element to meet the end-to-end resistance requirements.
- Hose clips: Isolated metal hose clips should be avoided for systems carrying flammable liquids since they may be raised to a high potential due to charging currents within the hose and thus become a potential ignition source.
- Reinforcing helixes, bonding wires and braided sheaths: In the absence of a conductive or dissipative inner lining these objects may become charged by liquid flow. The capacitance of these components is usually high, therefore they may produce significant discharge energies if isolated. Since the only provision generally made for earthing/bonding is via the end couplings it is particularly important to ensure that each such component is bonded securely to the couplings at both ends of the hose. The end-to-end resistance of the hose should be checked regularly to ensure that this bonding remains intact. If there are multiple end-to-end conductors (e.g. two reinforcing helixes or two flexible bonding wires), an end-to-end continuity check does not reveal whether all conductors are properly bonded and the continuity check needs to be supplemented by careful quality control during construction and regular visual inspection for any damage that could compromise the integrity of a conductor. A hose of this type showing any sign of mechanical damage should be discarded or relegated to duties with non-flammable liquids.

7.7.3.3.3 Avoidance of incendive brush discharges from insulating surfaces

This may be done using one of the following measures:

- a) Use a dissipative or conductive outer cover and/or inner lining bonded to the end couplings to eliminate the chargeable insulating surface(s).
- b) Limit the extent of any chargeable insulating surface either by keeping the hose diameter low (see Table 3) or by limiting the gap between the turns of reinforcing helix(es) in accordance with 6.3.2. These limits may not prevent the erosion of pinholes particularly with thick and/or highly resistive (e.g. fluoropolymer) linings.

7.7.3.3.4 Avoidance of propagating brush discharges

Propagating brush discharges may occur when there is a thin layer of insulating material with a conductive backing and the breakdown voltage of the insulating layer exceeds 4 kV (see 6.3.4.2). This situation may arise if there are closely-spaced turns of a reinforcing helix that is not in direct contact with the liquid or if there is a thin wall with an external braided sheath, but it requires a large build-up of surface charge density. Usually the hose wall material is sufficiently conductive that dissipation through the wall to the reinforcing helix or sheath occurs before the charge density reaches the required level. This may, however, not be the case with fluoropolymer lined hose assemblies unless dissipative (e.g. carbon filled) fluoropolymer materials are used or the lining has a breakdown voltage that does not exceed 4 kV.

NOTE Although a breakdown voltage of less than 4 kV will prevent propagating brush discharges, it may encourage discharges that lead to pinholing.

7.7.3.3.5 Avoiding discharges from isolated masses of conductive liquid

A mass (slug) of conductive liquid could become charged as a result of flow if it is isolated from the earthed ends of the hose by vapour breaks and the hose has an insulating inner surface. A charged liquid slug could create an incendive spark as it approached an earthed end coupling. This scenario can be avoided by using a conductive or dissipative inner hose lining bonded to the end couplings or, for hoses up to about 200 mm (8 inches) in diameter, by using a hose with a thin lining (≤ 1 mm) and reinforcing helical wire having a pitch of 10 mm or less.

7.7.3.4 Practical hose classifications

Hoses should be clearly marked to prevent the use of a wrong type of hose. ISO 8031 defines six practical grades of hoses together with three subdivisions of the conductive and antistatic grades. The nomenclature and resistance limits for the hose grades, which differ from those in older editions of ISO 8031, are summarised in Table 16.

NOTE Hoses are usually supplied complete with end fittings that form a critical part of the static dissipation path. For these reasons, the classification of hose grades given in ISO 8031 covers only complete assemblies with end fittings.

In ISO 8031, the resistance boundary limits given for each hose grade apply to a variety of resistance measurements as described in that document for each type. When applied to the end-to-end resistance, these limits can be used to relate each grade to the dissipation categories given in Table 15. Table 16 includes a listing of the dissipation categories for each hose grade.

Table 16 – ISO 8031 classification of hose grades

ISO 8031 Grades			IEC 60079-32-1 static dissipation category
Grade ID	Name/description	Resistance R per assembly between end fittings ¹⁾	
M	<u>Electrically bonded</u> At least two flexible metal bonding wires with or without a metal helix.	$R < 100 \, \Omega$	Conductive
-	<u>Continuous electrically bonded</u> Metal helix(es) connected electrically to both end fittings.	$R < 100 \, \Omega$	Conductive
Ω	<u>Conductive</u> Incorporating conductive rubber or plastics layer(s).	$R < 1 \, \text{M}\Omega$	Conductive
Ω-L	Conductive only on inner lining.		or
Ω-C	Conductive only on outer cover.		Dissipative
Ω-CL	Conductive cover and lining.		
Ω	<u>Antistatic</u> Incorporating antistatic rubber or plastics layer(s).	$1 \, \text{k}\Omega \leq R \leq 100 \, \text{M}\Omega$	Dissipative
Ω-L	Antistatic only on inner lining.		or
Ω-C	Antistatic only on outer cover.		Insulating
Ω-CL	Antistatic cover and lining.		
-	<u>Insulating</u>	$100 \, \text{M}\Omega < R$	Insulating
-	<u>Discontinuous</u>	$10 \, \text{k}\Omega < R$	Dissipative or Insulating
NOTE More details concerning grade classification and appropriate test methods for the different hose types specified in this Table are described in ISO 8031.			

Antistatic hoses, grade Ω , are commonly used in automotive applications and in fluoropolymer lined hoses. In these and other applications that do not produce very high levels of electrostatic charging, the $100 \, \text{M}\Omega$ limit is an appropriate upper bound for the dissipative range. However, where rates of charge generation could exceed $10 \, \mu\text{A}$, hoses with resistances of up to $100 \, \text{M}\Omega$ may not be able to dissipate charges safely (see 7.7.3.5 c)).

Other requirements in addition to end-to-end resistance are necessary to ensure the avoidance of hazardous brush discharges and propagating brush discharges, see 7.7.3.3.3 and 7.7.3.3.4. Consequently, the end-to-end resistance is not always the only criterion for hose suitability.

Certain hybrid methods of hose construction provide both electrical bonding and conductive or antistatic (dissipating) liners or covers. This combination is used, for example, where equipment earthing requirements demand electrical bonding but the process requires a thick inner lining that would, if made of an insulating material, lead to internal discharges. These hybrid designs do not fit any of the grades defined in ISO 8031 and Table 16 but can be described by the hybrid grades defined in Table 17 that provide useful information for selecting or specifying hoses for particular duties.

Table 17 – Hybrid grades of hoses and hose assemblies

Hybrid classification based on ISO 8031			IEC 60079-32-1
Hybrid grade	Name	Resistance R per assembly between end fittings	Static dissipation class
M/Ω-L	Electrically bonded with conductive/antistatic inner liner.	$R < 100 \Omega$	Conductive
M/Ω-C	Electrically bonded with conductive/antistatic outer cover.	$R < 100 \Omega$	Conductive
M/Ω-CL	Electrically bonded with conductive/antistatic cover and liner.	$R < 100 \Omega$	Conductive

The safety of the hybrid hose grades cannot be predicted on the basis of end-to-end resistance measurements alone. Other measurements such as the resistance between the inner lining and the end fittings should also be considered (see ISO 8031).

7.7.3.5 Properties and usage of ISO 8031 hose assembly grades

- a) Electrically Bonded (Grade M), and Continuous Electrically Bonded hoses: Electrically Bonded (Grade M) and Continuous Electrically Bonded hose assemblies contain metallic end-to-end bonding. Regular continuity checks and visual inspections should be carried out as outlined in 7.7.3.3.2 to prevent one or more of the bonding components (i.e. bonding wire, reinforcing helix or sheath) from becoming electrically isolated.

Usually, these hose grades prevent incendive brush discharges as described in 7.7.3.3.3 in which case, a well-maintained hose assembly does not introduce an electrostatic ignition hazard. However in some types of bonded hose assembly, e.g. fluoropolymer (PTFE) lined hoses or hoses with unusually thick linings or large gaps between conductive elements, the electrical bonding alone is not sufficient to prevent hazardous or damaging voltages occurring on one of the insulating surfaces. In this case hybrid Grade M/Ω-L or M/Ω-CL hoses with dissipative inner linings should be used rather than pure Grade M. The electrically bonded character of the hose then provides electrical continuity between the parts of the equipment it is connected to, and the dissipative character of the lining prevents hazardous charge build up on the hose surfaces.

Because of their low end-to-end resistance, Grade M, M/Ω-L or M/Ω-CL hoses can conduct stray currents and create an ignition hazard when the stray currents are interrupted (e.g. when the hose is disconnected). Where stray currents may give rise to problems, these hoses should therefore be used in conjunction with an insulating flange.

- b) Grade Ω, Conductive: Grade Ω, Conductive hose assemblies have conductive or dissipative layers on one or more of the hose surfaces. Grade Ω-L has a conductive or dissipative inner lining, Grade Ω-C has a conductive or dissipative outer cover and Grade Ω-CL has both. Conductive hose assemblies should be constructed so that all conductive components are bonded to the end couplings with a resistance per assembly as specified in Table 16.

The construction of conductive hose assemblies is often such that electrical continuity cannot be lost whilst the hose remains usable. Regular continuity checks are unnecessary when electrical continuity is inherent to the hose construction in this way.

As described in 7.7.3.4, conductive/dissipative covers or linings may be combined with electrical bonding to give the hybrid classification grades M/Ω-L, M/Ω-C and M/Ω-CL.

- c) Grade Ω, Antistatic: Grade Ω, Antistatic hose assemblies have an intermediate resistance (see Table 16) that is low enough to dissipate electrostatic charges safely in most circumstances but high enough to restrict stray currents to safe levels. They differ from Grade Ω, Conductive hoses only in the resistance boundary limits although there is considerable overlap between the resistance ranges and Grade Ω. Antistatic hose assemblies may also be Grade Ω, Conductive.

The charging currents due solely to flow through pipes or hoses can be estimated from the correlations given in A.1.4 (see also NFPA 77) and will usually be less than 10 μA. Where

rates of charge generation can exceed 10 μ A, Antistatic hoses, which may have resistances of up to 100 M Ω , may not be able to dissipate charges safely. In particular, the charging currents immediately downstream of high charging elements such as high-throughput fine filters may be higher. Immediately downstream of such devices and for a distance that enables the residence time requirements set out in 7.5 to be met, it is preferable to use fixed conductive pipes rather than hoses. If a hose must be used in such a location, resistances at the upper end of the Grade Ω , Antistatic range, may be too high to safely dissipate charge and should be avoided. In this case, if stray currents are not an issue, a Grade Ω -L or Ω -CL, Conductive hose should be used and if stray currents are an issue, a hose that meets both Grade Ω -L or Ω -CL, Conductive and Grade Ω -L or Ω -CL, Antistatic requirements, should be used.

The number of interconnected Grade Ω , Antistatic hose assemblies in a hose string should be limited to ensure that the resistance to earth, given in Table 16, is not exceeded anywhere on the string, otherwise additional earth bonding points should be provided.

- d) Discontinuous: A hose that has no conductive end-to-end bonding. Usually this type of hose is made of insulating material. It may contain metallic wires or reinforcing helices, but these are not connected to the end fittings.

Where stray currents may occur, Grade Ω , Antistatic hose assemblies with end-to-end resistances in the dissipative range (see Table 15) are preferred, if available, to electrically bonded ones since they protect against inductive sparks arising from the interruption of stray currents as well as against electrostatic discharges. Electrically bonded hose assemblies (Grade M or hybrid) may be used where Antistatic hoses are not available. In this case it may be necessary to insert an insulating flange, coupling or hose section to provide protection against inductive sparks from stray currents. Where this is done, the hose string on either side of the insulating piece should be separately earthed.

Insulating hoses should not be used where a flammable atmosphere could be present.

Table 18 summarises the duties for which each hose type can be used.

Table 18 – Hose selection Table for flammable liquid service

Grade	Construction	High conductivity liquids ($>10\,000$ pS/m)	Medium and low conductivity liquids ($<10\,000$ pS/m)
-	Flexible metal	Acceptable	Acceptable
M	Electrically bonded	Generally acceptable ^a	Generally acceptable ^{d,e}
-	Continuous electrically bonded	Generally acceptable ^a	Generally acceptable ^{d,e}
Ω -L	Conductive inner lining	Acceptable	Acceptable
Ω -C	Conductive outer cover	Review each application ^a	Review each application ^d
Ω -CL	Conductive inner lining and outer cover	Acceptable	Acceptable
Ω -L	Antistatic inner lining	Acceptable	Generally acceptable ^f
Ω -C	Antistatic outer cover	Review each application ^a	Review each application ^{d,f}
Ω -CL	Antistatic inner lining and outer cover	Acceptable	Generally acceptable ^f
M/ Ω -L	Hybrid with bonding and conductive inner lining	Acceptable	Acceptable
M/ Ω -C	Hybrid with bonding and conductive cover	Review each application ^a	Generally acceptable ^d
M/ Ω -CL	Hybrid with bonding and conductive cover and inner lining	Acceptable	Acceptable
M/ Ω -L	Hybrid with bonding and antistatic inner lining	Generally acceptable	Generally acceptable ^{d,f}

Grade	Construction	High conductivity liquids ($>10\,000\text{ pS/m}$)	Medium and low conductivity liquids ($<10\,000\text{ pS/m}$)
M/Ω-C	Hybrid with bonding and antistatic cover	Generally acceptable	Generally acceptable ^d
M/Ω-CL	Hybrid with bonding and antistatic cover and lining	Generally acceptable	Generally acceptable ^{d,f}
-	Insulating	Prohibited	Prohibited
-	Discontinuous	Generally prohibited ^{b,c}	Generally prohibited ^{b,c}

^a Acceptable only if there is a continuous column of high conductivity liquid throughout the hose. Hazards may arise if the column is broken into isolated segments by insulating vapour gaps, the wall resistance is very high (e.g. thick linings, fluoropolymer linings) and the capacitance to the embedded conductor is low (thick lining, large gaps between bonding conductors). The hazards arising under these conditions may be mitigated by employing a slow flow (1 m/s) until the liquid column is continuous or by using a more conductive lining.

^b It is not possible to ascertain the safety of discontinuous hoses from resistance data alone. Details of the hose construction need to be considered. In special cases, safe operation may be possible.

^c For marine applications, single lengths of insulating marine hose, which corresponds to the ISO 8031 discontinuous Grade, are acceptable in lieu of an insulating flange as specified by ISGOTT.

^d Hazards may arise if the lining resistance is very high (e.g. thick linings, fluoropolymer linings) and the capacitance to the embedded conductor or conductive cover is low (thick lining, large gaps between bonding conductors). Hazards may be mitigated by using a more conductive lining or hybrid grade (e.g. Grade M/Ω-L or M/Ω-CL).

^e Hoses with embedded wires or external reinforcing helices have been used in petroleum applications (e.g. truck deliveries) for many years without causing problems. However issues have arisen with very highly resistive linings such as PTFE. It is, therefore, recommended that high resistance lining materials are only used after careful evaluation of the risks.

^f Antistatic Ω-L and Ω-CL grade hoses are acceptable in most circumstances but should be avoided immediately downstream of high charging devices such as high throughput fine filters that may generate more than 10 μA of current. In cases of doubt, a test resistance that meets the Grade Ω, Conductive standard or both the Conductive and Antistatic standards should be specified.

7.8 Special filling procedures

7.8.1 Aircraft fuelling

7.8.1.1 General

Aircraft are most frequently fuelled by means of mobile fuellers or by hydrant systems feeding the aircraft through mobile dispensers. Smaller airfields usually employ a cabinet dispenser system (similar to a retail station) and remote airfields may fuel ex-drum. Fuel transfers are made through flexible rubber hoses and ignition hazards due to static electricity can arise during these operations. Charge can be generated on the fuel in the system feeding the aircraft or in the aircraft tank, which is normally made of metal though future aircraft will employ composite materials for fuel tanks, wing components etc. Aircraft fuelling systems always contain either a filter monitor or, less commonly, a filter water separator.

NOTE Detailed requirements for aircraft fuelling are given in API/IP RP 1540.

Although not an electrostatic hazard, the possibility of sparks due to stray currents from, for example, electrical power installations or cathodic protection systems, exists when making or breaking hose connections. Precautions against static electricity ignitions should be consistent with the precautions for avoidance of these sparks. Hose designs are given in EN 1361.

7.8.1.2 Hose assemblies

Flexible hose assemblies for aircraft fuelling should normally be of the dissipative-type (see 7.7.3.2) so as to dissipate electrostatic charges while limiting stray currents. Electrically bonded (conductive) hoses may be used, however, in a few specific applications (e.g. on the suction side of a pump where the presence of a metal helix might resist hose collapse). For

hydrant systems, the hose connecting the inlet coupler to the hydrant dispenser should be dissipative; electrically bonded hoses should not be permitted.

7.8.1.3 Earthing and bonding

7.8.1.3.1 General

All the metallic fuelling components of the fuelling vehicle (e.g. chassis, tank, filter, meter, pipework, sample equipment, bonding reel) should be in good electrical contact with each other. Good electrical continuity should exist within the hydrant system.

A bonding connection should always be made between the aircraft and the refuelling vehicle before the filling hoses are attached. According to aviation rules, the bonding cable should have an overall resistance below 25 Ω . It should remain in place until fuelling is completed and the hoses are disconnected. The aircraft bonding lugs should always be used. The use of other metal parts of aircraft, e.g. pitot tubes, landing gear doors etc is strictly forbidden by aviation industry guidelines (except for overwing fuelling – see below).

There should be a direct bond between the aircraft fuelling orifice and the metallic end of the fuelling hose. For underwing fuelling, this connection is provided by the metal-to-metal contact between the hose end-coupling and the aircraft fuelling adapter. For overwing fuelling, this connection is made by holding the fuelling nozzle in contact with the metal orifice during fuelling. A separate bonding wire between the nozzle and orifice may be used, although this arrangement is not always possible due to the lack of suitable connecting point. Where a nozzle bonding wire is not used, a maximum filling rate of 200 l/min should be applied.

In aviation industry guidelines, the use of a funnel is strictly forbidden for overwing fuelling because the funnel compromises the grade selectivity of the fuelling nozzle.

In some places earthing is required by the airport authority. Where there is a choice, earthing is not recommended because of potential issues caused by multiple earth points, earth loops and circulating currents. Where earthing is to be employed, the fuelling vehicle should be earthed either by a cable joined to the bonding cable or by a separate earthing cable attached to the vehicle bonding reel.

Fuelling from drums should follow the same procedures as other overwing fuellings. In particular it is necessary to bond the drum pump both to the aircraft and to the drum. Containers smaller than nominal 200 l drums are not allowed for aviation fuel use.

7.8.1.3.2 Flow velocities

The maximum flow velocity in aircraft fuelling hoses should not exceed 7 m/s for fuels with a conductivity greater than or equal to 50 pS/m or 5 m/s for fuels with a conductivity of less than 50 pS/m. Care has to be taken that sufficient residence time is provided downstream of the filters (see 7.5.1).

7.8.2 Road tanker deliveries

Deliveries from road tankers are performed via a hosereel or loose hoses using either gravity feed or pumps on the vehicle. Electrostatic ignition hazards may occur as a result of sparks from isolated conductors (e.g. hose couplings or the road tanker as a whole), brush discharges from non-conductive hoses or brush discharges within the receiving tank.

The following precautions are recommended:

- a) Conductive or properly designed electrically bonded hose assemblies (see 7.7.3) should be used;
- b) Ensure that the truck and all metallic couplings are bonded to the tank being filled. The recommended hose assemblies provide the required bonding so separate additional

bonding is not necessarily needed. If company standards require separate bonding these should be connected before the connection of the hoses (see 7.3.2.3.3 1b);

- c) For deliveries via loose hoses, when connecting the truck to the receiving tank, first connect the hose to the tank fill pipe and then, before completing the hose connection to the truck, equalise the potentials by touching the end coupling of the hose on to a metallic part of the truck;
- d) For deliveries via a hose reel, touch the hose-end fitting or nozzle on to a metallic part of the receiving tank assembly, piping or couplings before inserting the nozzle or making a connection. This initial touching should be done away from any region, such as the immediate vicinity of the discharge fitting of the tank, where residual traces of flammable vapour may be present;
- e) Providing the maximum safe flow velocities for medium sized tanks are not exceeded (see 7.3.2.3.3) it is unlikely that there is an ignition hazard within the tank. If the liquid contains a second phase, the flow velocity should be restricted to 1 m/s;
- f) The continuity and mechanical condition of electrically bonded hoses should be checked regularly (see 7.7.3.3).

7.8.3 Retail filling stations

7.8.3.1 General

Fuel handling operations at retail filling stations involve both the delivery of fuel into underground tanks at the station, usually from road tankers, and the dispensing of fuel from the underground tanks into customer's vehicles. Flash fires initiated by static electricity have occurred both whilst delivering fuel into the underground tanks and whilst dispensing gasoline to customer vehicles.

The production of explosive atmospheres during both delivery and dispensing operations depends on the fuel type. Based on the Flash Point of diesel fuel being at least 58 °C, diesel fuel vapours are usually too lean for combustion at ambient temperatures although hot diesel return lines on the vehicle may sometimes produce an explosive atmosphere within the vehicle tank. However, some countries permit diesel fuel to have a significantly lower flash point. In these countries diesel vapours may produce flammable mixtures at high ambient temperatures.

In contrast, gasoline vapour mixtures are generally too rich for combustion in enclosed spaces such as fuel tanks but may come into the explosive range where mixing with fresh air is possible (e.g. when fuelling a vehicle with gasoline there will always be a place near the filler inlet where the mixture strength is at the optimum for ignition, consequently, an electrostatic discharge near the filler inlet could lead to a fire and burn the person filling the vehicle). Ethanol-gasoline mixtures with high concentrations of ethanol may produce explosive atmospheres within closed tanks at standard ambient temperatures although these fuels are less likely to become electrostatically charged because of their high conductivity.

Based on the above, explosive atmospheres may occur in the following situations:

- inside gasoline-ethanol (e.g. E85) tanks or drained pipes,
- inside gasoline pipes when air is drawn in after hoses are disconnected following a delivery,
- around gasoline filler openings during refuelling,
- outside gasoline or gasoline-ethanol pipes due to leaks or spillage, particularly in enclosed underground "sumps" or "fill boxes" where the underground pipes are connected to tanks or truck hoses. Gasoline and diesel pipes are often housed in the same fill box so it is conceivable for a leak from the gasoline line to produce an explosive atmosphere that could be ignited during diesel loading.

The fuel at filling stations varies from low conductivity hydrocarbon blends without static dissipative additive (SDA) to high conductivity blends of oxygenated bio-components (e.g.

ethanol) and hydrocarbons. Even with the low conductivity fuels, the flow rates are sufficiently small to prevent hazardous potentials being generated by the accumulation of charge on the liquid either in the underground storage tanks or in the fuel tanks on customer vehicles.

However, if any of the conductors associated with the operations (e.g. the filler nozzle, pipe couplings, the vehicle being filled, the filler neck, or a person) are electrically isolated, charge accumulation on the isolated item could then give rise to incendive spark discharges. Also, charges accumulating on insulating pipes or other insulating components in the handling system could produce incendive brush discharges. An ignition could occur if any of these discharges occurred in an explosive atmosphere (see above). The precautions listed in 7.8.3.2 and 7.8.3.3 should be taken to avoid electrostatic ignitions in fuel delivery to underground tanks and fuel dispensing operations to customer vehicles respectively.

7.8.3.2 Delivering fuel to underground tanks

7.8.3.2.1 Systems with metal pipes

- a) All pipe sections should be earthed in a manner that does not risk introducing electrical fault currents into the piping system (e.g. with a suitable isolating resistance).
- b) The earthing should be regularly checked.
- c) Equipment such as fine filters that may give enhanced fuel charging should be used only if there is enough relaxation time in the conductive pipe.

7.8.3.2.2 Systems with plastic pipes

Plastic pipes are increasingly being used for fuel delivery from road tankers to underground tanks, from underground tanks to fuel dispensers, and for vapour recovery lines and vents because they provide improved corrosion resistance and secondary containment.

NOTE Specific requirements for thermoplastic and flexible metal pipework for this application are covered in EN 14125.

Two main varieties of plastic pipe system are in use: the so-called “non-conductive” (insulating) pipes and the so-called “conductive” pipes (non-conductive pipes incorporating co-extruded dissipative inner linings). Typical plastic pipe systems use connectors which incorporate metal heating coils (electrofusion couplers, EFCs) to couple and seal pipe lengths and joints. These EFCs may have an installed capacitance of between 5 pF and 30 pF depending on the installation. Plastic pipes normally incorporate a co-extruded inner lining for countering fuel permeation. For pipes that also have a dissipative lining, the dissipative lining is usually the innermost.

Specific risks in these types of systems include:

- a) Fuel flow could cause significant charging of low or medium conductivity fuels. Consequently:
 - i) For fully insulating (“non-conductive”) pipes:
 - 1) High voltages could build up on unburied pipe walls or on associated non-earthed connectors.
 - 2) Discharges can occur on the inner surface of a charged pipe. The fill point where the hose from the lorry is attached is a critical point in this respect because discharges to earthed connectors or couplings or from highly charged to less charged plastic surfaces may cause ignition if air ingress occurs on disconnection.
 - 3) The electrostatic fields arising from the build up of charge on the pipe wall could cause high voltages to arise on nearby conductive EFCs, tools, and other items outside pipes and cause spark discharges to nearby earthed conductive items.
 - 4) High electric fields could occur in the walls of buried pipes leading to possible breakdown and pinholing by electrostatic discharges.
 - ii) For insulating pipes with dissipative liners (so-called “conductive pipes”):

- 1) Charge cannot accumulate if the lining is earthed, and the shielding provided by an earthed lining minimises the risk of flow-related high voltages on associated conductors such as EFCs.
 - 2) However, voltages may build up on any unearthed liner sections or on the connectors associated with them.
- b) Charging of external insulating pipe surfaces by rubbing could give brush discharges.
- c) Mixing of insulating and conductive pipes in a system could lead to isolated conductive parts. It is acceptable only if all conductive parts are certain to be earthed. Particular attention should be paid to earthing metal flanges, couplings and clips on insulating segments and earthing the lining of the conductive segments.
- d) Where pipes are fitted during maintenance of a system, when a flammable atmosphere could be present, specific risks may arise. Both conductive and insulating pipes may charge during handling and give potentially incendive discharges.
- i) For insulating pipes, incendive brush discharges from the outer pipe surface are possible
 - ii) For pipes with dissipative liners, the accumulated surface charge could induce high voltage on an erroneously un-earthed liner and this could be the source of shocks to people and incendive discharges.

The voltage build-up on insulating pipes from fuel charging depends on flow speed, fill volume and the length of unburied sections as well as on pipe and fuel properties. The variability of these charging characteristics and the variation of charge dissipation characteristics with age and temperature is still not well understood. Wide safety margins for dissipation should, therefore, be applied until the worst-case charging characteristics are better known.

There is, however, a considerable installed base of pipes and there are only few recorded incidents so existing practices seem to be broadly acceptable with today's fuels. It is, however, unclear whether existing practices would continue to provide adequate safety margins if the increasing use of oxygenated biocomponents in gasoline were to give rise to higher charging.

NOTE There are indications that at least some ethers and esters are prone to higher charging than hydrocarbon fuels.

In order to prevent excessive electrostatic charge and voltage build-up on the pipe walls, valves and couplings the following precautions are recommended:

- 1) Insulating plastic pipes:
 - a) To avoid pin holing insulating plastic pipes should have an electrical breakthrough strength across the pipe exceeding 100 kV, measured according to IEC 60243-2. A polyethylene layer of at least 4 mm in thickness usually exceeds this breakthrough strength.
 - b) Unburied EFCs should be either long-lasting and reliably earthed or sealed using airtight seals.
 - c) All other conductive parts of pipes or joints should be earthed.
 - d) The earthing of all conductive and dissipative items should be regularly checked.
 - e) Unburied fully insulating plastic pipe sections should be kept as short as practicable.
 - f) Fuel flow rates should be limited to $< 2,8$ m/s.
- NOTE The possible future introduction of bio-components may change the charging behaviour of fuel.
- g) The earthing of the majority of each pipe by burial contributes significantly to the safe operation of the system. Consequently, following installation or repair, liquid should not be admitted into a pipe until all sections that are intended to be buried are confirmed to be fully covered with earth.
 - h) Equipment such as fine filters that may give enhanced fuel charging should be used only with careful assessment of the likely hazards.

- i) The fill point where the truck hose is attached should use a safety connection valve, preferably an interlocked system that does not allow air to enter the system and mix with the fuel vapours, e.g. a valve that is closed before disconnecting hose and pipe.
 - j) The exposure of pipes and joints in sumps where flammable vapours could accumulate should be minimised.
 - k) People should avoid brushing against external pipe surfaces where a flammable vapour may be present.
 - l) During system maintenance, care should be taken to avoid introducing a highly charged pipe into a flammable atmosphere.
- 2) Plastic pipes with dissipative linings:
- a) The linings should be earthed. An earthed, dissipative liner prevents internal discharges and screens external conductors from flow charging.
 - b) Earthing may be achieved by a suitable arrangement of dissipative internal couplings linking to external grounding points.
 - c) The earthing of all conductive and dissipative items should be regularly checked.
 - d) Equipment such as fine filters that may give enhanced fuel charging should be used only with careful assessment of the likely hazards.
 - e) During system maintenance, care should be taken to avoid introducing a highly charged pipe into a flammable atmosphere. Dissipative liners should be grounded before the pipe is introduced into a flammable atmosphere and the ground connection should be maintained during the fitting process, until the liner is reliably grounded via the installed system.
 - f) People should avoid brushing against external pipe surfaces where a flammable vapour may be present.

7.8.3.3 Dispensing fuel to customer vehicles

The following precautions should be taken:

- a) The pump should be properly earthed.
- b) A conductive or properly designed electrically bonded hose assembly (see 7.7.3.2) should be used to connect the nozzle to the pump. The filling nozzle to earth resistance via the hose should be less than 1 MΩ for conductive hoses and less than 100 Ω for electrically bonded hoses. Detailed requirements can be found in EN 1360.
- c) The surfaces of forecourts should have a leakage resistance to earth of less than 100 MΩ, measured in dry condition at less than 50 % relative humidity, to enable the earthing of vehicles via their tyres.
- d) The dissipative surface of the forecourt around the pump should be big enough to assure that all four tyres of a private car will have contact to it in all filling positions.
- e) The grip of the filling nozzle should be designed with conductive or dissipative materials to ensure that earthing of the refuelling person is established during the refuelling process.

NOTE To avoid electrostatic shocks dissipative materials are preferred.

- f) If there is a latch-open device on the filler nozzle it should meet any local requirements that may exist for automatic shut-off.
- g) Generally for vehicles, the resistance between a standard filler nozzle inserted into the filler neck and a metal plate on which each tyre stands in succession should not exceed 10 GΩ when all other tyres rest on an insulating surface. For tyres to be used in hazardous areas the border limit reduces to 1 MΩ. Detailed requirements can be found in ISO 16392 and ASTM F1971.
- h) The vehicle design should ensure that hazardous levels of charge will not accumulate on plastic filler system components on the vehicle and that metal filler system components on the vehicle are adequately bonded to the chassis. Detailed requirements can be found in SAE J1645.

These precautions will ensure earthing of:

- a) the nozzle, directly via the conductive or dissipative hose assembly;
- b) a person grasping it, unless wearing insulating gloves;
- c) the vehicle chassis during filling, by contact with the nozzle and through the tyres;
- d) conductive filling system components on the vehicle by bonding to the vehicle chassis.

Experience indicates that earthing via the nozzle and the tyres is sufficient to dissipate the relatively small amounts of charge that are generated during filling.

NOTE Most fires during car refuelling are caused by charged persons.

7.8.4 Mobile or temporary liquid handling equipment

Particular care should be taken when using temporary equipment that introduces filters or other restrictions into the system. An example of this is portable meter proving equipment that contains fine filters to protect the sensitive meters. When using such equipment, precautions should be taken to ensure that the temporary handling arrangement provides an adequate residence time between the portable equipment and any tanks being filled (see 7.5) and to ensure that all normal earthing requirements are met (see Clause 13).

7.9 Plant processes (blending, stirring, mixing, crystallisation and stirred reactors)

7.9.1 General

The processing of liquids or suspensions (mixing, stirring, blending or crystallisation) can give rise to ignition risks due to static electricity. When these processes involve low or sometimes even medium conductivity liquids the charge is retained in the continuous liquid phase, on suspended liquid or solid particulate matter, or on any isolated metallic object. If a flammable vapour/air mixture, mist or foam is present there is an ignition hazard and to avoid this, the recommendations in 7.9.2 to 7.9.6 should be followed as appropriate.

High levels of charge generation are often associated with fluids consisting of two immiscible liquid phases or a liquid with suspended solids. As a consequence, two-phase flows are subject to additional flow rate restrictions. These reduced flow rates are also required for handling "contaminated" liquids, which, in this context, are defined in 3.6 as liquids that contains more than 0,5 % by volume of free water or other immiscible liquid or more than 10 mg/l of suspended solids.

7.9.2 Earthing

All conductive parts of the equipment should be bonded and earthed, see Clause 13.

Ensure that people working in the vicinity of a blending operation are not an ignition risk by following the precautions in Clause 11.

7.9.3 In-line blending

In this process, mixing takes place within a pipe into which the various constituents are pumped at prescribed rates. There is usually no vapour space in which a flammable mixture can occur, and hence no ignition risk where the mixing is taking place.

To avoid ignition hazards in the receiving tank arising from charge generated in the mixing operation or in subsequent flow to the tank, the recommendations for tank filling in 7.3 should be adopted as appropriate.

7.9.4 Blending in vessels or tanks

The blending of miscible liquids to produce a single phase is not unduly hazardous at any conductivity provided that the precautions appropriate to liquid handling operations are taken (see 7.3).

If the mixture contains dispersed liquid or solid particles, the generation of static electricity could be reduced by increasing the conductivity of any low conductivity liquids in the system. This could be done by using a more conductive solvent or by adding a SDA (see 7.2.4), provided that it is compatible with the intended use of the mixture.

If the phases in a mixture are all liquids it is usually sufficient to raise the conductivity of the continuous phase to above the low conductivity range. If one or more of the dispersed phases is a solid it could be necessary to increase the conductivity of the continuous phase to much greater than 100 pS/m (1 000 pS/m is generally, but not always adequate) and also to restrict the power input to the stirrer (e.g. in BS 5958 a maximum power of 0.37 kW/m³ is recommended for suspensions of 1 000 pS/m).

NOTE The conductivity of the continuous phase can be considerably reduced by the absorption of ions by the solid phase.

If a blending vessel has an internal insulating lining, e.g. glass, ceramic or plastic, the relaxation of charge from the contents should be promoted by placing earthed conductive strips or plates on or near the bottom of the vessel. It is possible that this precaution is not necessary if the lining is thin or conductive enough to permit charge dissipation and to avoid a hazardous surface potential. The potential for propagating brush discharges which could cause pinhole damage to insulating linings should be considered where significant charge generation may be present due to handling of low conductivity or multiphase mixtures (see B.1.4).

The gauging and sampling of wholly liquid systems should be carried out in accordance with the recommendations of 7.6. The precautions for liquids containing a dispersed solid phase will depend upon the specific mixture and no general advice can be given.

As an alternative to raising liquid conductivities, the vapour space in the blending vessel could be inerted in accordance with the recommendations in 8.4. Limiting the power input to the stirrer is then no longer required.

7.9.5 Jet mixing

The jet mixing of liquids with conductivities exceeding the low conductivity range is not hazardous provided that the jet does not break the liquid surface and that the liquid and all metal parts of the equipment are earthed.

If a liquid has a low conductivity, SDA (see 7.2.4) could be added to raise it to the medium conductivity range, provided that it is compatible with the intended use of the mixture.

As an alternative to raising liquid conductivities, the vapour space in the tank may be inerted. The use of inerting agents should be in accordance with the recommendations in 8.4.

If a liquid has a low conductivity and neither the use of a dissipative additive nor inerting is possible, the degree of risk will depend upon circumstances. It could be necessary to seek expert advice in order to control the surface potential of the liquid in the tank. Factors to be considered include:

- a) the proximity of internal projections in the tank to the liquid surface, since a high field strength could occur in the vapour space due to charges in the incoming liquid being carried up to the surface by the jet;
- b) the presence of a separate phase (usually water) at the bottom of the tank;

- c) whether the tank is being filled whilst the mixing is taking place;
- d) the time elapsed since the completion of a filling operation.

Gauging and sampling should be carried out in accordance with the recommendations given in 7.6.

7.9.6 High speed mixing

High speed mixing, for example to produce emulsions, generates more charge than normal blending. Expert advice should be sought on the amendments to the precautions given in 7.9.4 that will be necessary during high speed mixing of immiscible liquids.

7.10 Spraying liquids and tank cleaning

7.10.1 General

When the washing jet impinges on the tank wall or any protrusion in the tank, it forms a mist of fine droplets, which is usually charged. Due to turbulence created by the washing jets, the charged mist is usually distributed uniformly throughout the tank.

The charged mist produces high electrical potentials and the maximum value, which occurs in the centre of the tank, depends mainly on the size of the tank and the charge density of the mist. The charge density depends on the nature of the liquid being used for cleaning (e.g. water or oil, use of detergents) and the type of cleaning system being used (liquid pressure and throughput, nozzle diameter).

An additional ignition hazard could occur due to brush discharges to an earthed conductive object protruding into the interior of the tank. If the space potential in the tank exceeds about 58 kV the brush discharges could ignite hydrocarbon/air atmospheres although such high potentials are seldom produced during tank cleaning.

If isolated conductors were present in the tank, incendive sparks could occur at much lower potentials. Typically, potentials in the range 5 kV to 20 kV are sufficient to produce sparks incendive to hydrocarbon/air atmospheres. The value depends on the size of the isolated conductors and the length of the spark gap. Isolated conductors are inevitably formed when washing with liquid jets from high-throughput nozzles because these produce large isolated liquid volumes called “slugs” as the jet breaks up. These slugs could be charged by induction to the potential at the tank centre and incendive sparks could occur when slugs with a potential of at least 15 kV approach earthed conductive objects. It is, therefore, recommended, as far as possible, to avoid nozzles that may form large isolated slugs during the jet breakup process. Care should also be taken that liquid does not gather and then spill fall from ledges or recesses near the roof of the tank.

After a cleaning operation, subsequent processes (e.g. inspection, gauging, sampling) should be delayed until any charged mist generated has settled. This can take several hours for very large tanks.

7.10.2 Tank cleaning with low or medium pressure water jets (up to about 12 bar)

Following explosions on board three very large crude carriers while cleaning tanks with water jets in 1969, technical reports showed that the maximum potential in the tank is proportional to the charge density of the mist and to the square of the linear dimension of the tank (or in other words proportional to $V^{2/3}$ where V is the tank volume). This means the ignition hazard increases with the volume of the tank.

Technical reports show that cleaning a tank with a capacity of less than 100 m³ presents a very low hazard level but cleaning a tank with a capacity of 10 000 m³ or more is hazardous. The threshold volume lies between these limits. A more precise value can only be given if all the conditions are known. The International Maritime Organisation (IMO) regulations for

seagoing tankers require that the tanks of tankers with 50 000 dwt and more should only be cleaned when the tanks are inerted. Detailed instructions are given in the "International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)".

7.10.3 Tank cleaning with low conductivity liquids

Low conductivity liquids, e.g. hydrocarbons, charge less than water during spraying because they contain only a small concentration of dissociated ions. Spraying low conductivity solvents could be considered to be safe in the cases described above. However, the cleaning solvents should not contain either water or solid particles that could form a second phase in the liquid. For this reason the cleaning solvent should not be recirculated unless the foreign matter content is less than 0,5 %.

The liquid in the tank should be drained during cleaning to avoid the build-up of charge in liquid that accumulates.

7.10.4 Tank cleaning with high pressure water or solvent jets (above 12 bar)

In the chemical industry, containers and smaller vessels (e.g. stirring vessels) are often cleaned using high pressure spraying heads operated at pressures of up to 500 bar. It is suspected that these sprays could create very high charge densities and potentials in the tank during cleaning. Experimental evidence, however, has shown that the ignition risk for tanks which contain a flammable hydrocarbon/air atmosphere is acceptable in the following circumstances:

- a) Spraying water
 - 1) Cylindrical metal container up to 3 m diameter, and
 - 2) Spraying head operated at 500 bar maximum liquid pressure and maximum liquid flow rate of 5 l/s.
- b) Spraying low conductivity liquids
 - 1) Cylindrical metal container of up to 5 m³ volume, and
 - 2) Spraying head operated at 50 bar maximum pressure and 1 l/s maximum liquid throughput.

The washing liquids should not contain more than 0,5 % foreign liquid or particles which can form a second phase and they should be drained during washing to avoid accumulations of charge. In addition, all conductive parts should be earthed.

Safe operation has only been verified within the above limits but exceeding them does not necessarily create a hazardous situation. Seek specialist advice in those cases.

In the case of containers with insulating walls the limits are unknown, but in any case they will be much lower than for metal containers. This is because even in small containers plastic walls charged by the cleaning process may create charged puddles of conductive liquids which are known to produce incendive spark discharges on coming into contact with earthed parts. Alternatively, using low conductivity liquids may create highly charged container walls able to produce incendive brush discharges.

For these reasons the presence of an explosive atmosphere inside insulating containers should be avoided during the cleaning process, e.g. by filling and emptying them with water beforehand, or by the use of cleaning liquids with a high flash point. Specialist advice may be necessary in those cases where electrostatic ignition hazards are expected and an explosive atmosphere is present.

7.10.5 Steam cleaning tanks

Steam cleaning tanks produces an electrostatically charged mist. Experimental evidence indicates that this does not result in an ignition hazard for tanks with volumes up to 100 m³

which contain a flammable atmosphere. However, a hazardous situation may exist with larger volumes.

7.10.6 Water deluge systems

Water deluge systems are used mainly to knock down and disperse flammable atmospheres. They do not operate at high pressures and do not produce highly charged clouds of mist. Since they tend to disperse rather than to concentrate charged droplets, they are unlikely to lead to electrostatic ignition problems.

7.11 Glass systems

7.11.1 General

Incendive discharges within glass systems are due mainly to charging by low conductivity liquids or dust/air-mixtures. Charge accumulation is strongly increased by having a low conductivity plastic coating on the glass surface.

Spark discharges could occur from conductive parts (metal flanges, fittings, valves) and, under usual ambient conditions, brush discharges from plastic coated glass surfaces.

Brush discharges could only occur from uncoated glass surfaces at low relative humidity or, for example, if the surface temperature was well above the ambient temperature.

7.11.2 Precautions to be taken for low conductivity liquids

Hazards from low conductivity liquids can be reduced by taking the precautions recommended in 7.2. For systems made mainly from uncoated glass, however, the following earthing requirements need to be considered.

In Zone 0 areas containing gases and vapours in Groups IIC (see Annex D), all conductive parts, such as metal flanges, fittings, valves or measuring equipment should be connected to earth with a resistance of less than $1\text{ M}\Omega$. For all metal systems, a resistance of less than $10\ \Omega$ should be achieved. If a significantly higher value is found, further investigations should be made to check for possible problems, e.g. corrosion or a loose connection.

In case of gases and vapours in Group IIA and IIB it is only necessary to earth conductive items with an installed electrical capacitance of more than 3 pF . Thus it is not necessary to earth small bolts or screws (electrical capacitance equal to or less than 3 pF). Fittings, valves or seals with unearthed conductive parts with a capacitance above 3 pF and which cannot be earthed (for example due to having an insulating coating) are not suitable for use in glass systems.

If prolific charge generating elements such as microfilters are used, incendive brush discharges could occur from the glass to conductive surfaces. In those circumstances the flanges should be made from insulating materials.

In Zone 1 areas containing gases and vapours in Group IIB and IIC, the same requirement to earth conductive items with an electrical capacitance more than 3 pF applies. For Zone 1 areas in the presence of those in Group IIA, the electrical capacitance should not exceed 6 pF .

In Zone 2 it is usually sufficient to earth conductive flanges only in the vicinity of strong charge generating elements such as pumps, microfilters and nozzles providing the pipes do not exceed 50 mm diameter.

For pipes of diameter 50 mm and above, all flanges and metallic parts of comparable size should be earthed.

The restrictions for the handling of low conductivity liquids in systems made from plastic coated glass (glass with external plastic coating) are comparable to those for the handling of such liquids in insulating systems and are summarised in 7.3.4.6. The precautions for handling conductive or dissipative content such as water, acids, bases or alcohols are the same as for uncoated glass.

Conductive liquids in glass and glass lined metal systems should be earthed, e.g. by conductive inlet or outlet pipes or an earthed metal plug at the bottom of the system (see also 7.3.4.2).

Expert advice is recommended when handling solvent wet powders in glass systems.

8 Static electricity in gases

8.1 General

The movement of pure gases or a mixture of gases generates little, if any, static electricity but if the gases contain solid or liquid particles these can become charged. In industrial processes such particles are common. They can be due to contamination, such as dust or water droplets, they can be a condensed phase of the gas itself, such as carbon dioxide snow or the droplets in wet steam, or they can be deliberately introduced, e.g. shot blasting or paint spraying.

Examples of processes where particle charging can give rise to significant amounts of electrostatic charging include: pneumatic transfer of materials; the escape or release of any compressed gas containing particles; the release of liquefied carbon dioxide; the use of industrial vacuum cleaners; and spray painting.

Charged particles produced by these mechanisms can give rise to a number of types of incendive discharges: spark discharges (see A.3.2) can occur when charge builds up on isolated conductors as a result of impingement or collection of particles; brush discharges (see A.3.4) can occur when charged clouds or jets of charged particles are close to earthed metal projections; propagating brush discharges (see A.3.5) can occur due to charged particles impinging on thin layers of insulating material; and cone discharges (see A.3.7) can occur when charged particles collect and form a cone, as in a silo. There is no evidence to suggest that lightning-like discharges (see A.3.6) can occur in industrial scale equipment.

It is not possible to prevent the electrostatic charging of particles but ignition can be avoided either by ensuring that the atmosphere is not flammable or by preventing incendive discharges. The precautions that can be taken to avoid incendive discharges include the following:

- 1) ensuring that all metal and other conductive objects are earthed (see Clause 13);
- 2) avoiding the use of insulating materials;
- 3) reducing charge densities by restricting flow velocities or by suitable nozzle design;
- 4) removing the particles.

For recommendations relating to the pneumatic transfer of powders see Clause 9. For recommendations for other industrial processes see 8.2 to 8.8.

8.2 Grit blasting

Grit (or shot) blasting of surfaces is used for cleaning or preparation prior to painting. The process can lead to charging of the grit, the grit blasting equipment, the hose and any nozzle attached to the end of the hose. Sparks can occur as a result of grit accumulating or impinging on unearthed metal objects or directly from parts of the blasting equipment.

If such equipment is used where there could be flammable atmospheres, all metal parts in the area and all parts of the blasting equipment, particularly the nozzle attached to the end of the hose, should be earthed. The hose should be conductive or dissipative.

8.3 Fire extinguishers

Some types of pressurised fire extinguisher, particularly those using carbon dioxide, can generate highly charged clouds. If there is a fire this is of little importance. However, if such equipment is situated where a flammable atmosphere could be present, the container and the associated pipework should be earthed. In the absence of fire, the system should not be operated for testing, demonstration or inerting until it has been established that there are no flammable mixtures in the area.

8.4 Inerting

Inerting a system, for example, by using pressurised carbon dioxide, can introduce large amounts of charged particles or droplets. If the system contains a flammable atmosphere this can lead to incendive discharges occurring before sufficient inert material has been added to ensure that the atmosphere is no longer explosive.

To avoid the risk of ignition when inerting vessels containing flammable gas mixtures or dust suspensions, avoid injecting particles. Where possible, use gases that do not contain particulate matter or which do not condense to a liquid or solid phase when released at high pressure, e.g. clean dry nitrogen.

Wet steam should not be used for inerting a vessel containing a flammable mixture of any kind. Dry steam is acceptable provided that all condensed water is removed from the lines prior to the inerting operation.

Whatever substance is used for inerting, it is advisable to introduce it slowly through a large orifice. This will both minimise the pick-up of dirt and scale from the lines and also the raising of dust or spray within the vessel.

8.5 Steam cleaning

Steam issuing from a nozzle could contain charged water droplets. Inside a vessel the charged mist could lead to high electric fields giving rise to incendive discharges.

Experimental evidence indicates that this does not result in an ignition hazard for tanks with volumes up to 100 m³ which contain a flammable atmosphere. However, a hazardous situation may exist with larger volumes.

For this reason, tanks with capacities greater than 100 m³ that could contain a flammable atmosphere should not be steam cleaned. Tanks smaller than this may be steam cleaned providing that the steam nozzles and other metal parts of the system are reliably earthed; the vessel or container being cleaned is earthed; and, where possible, dry or superheated steam should be used and condensate prevented from forming in the lines.

8.6 Accidental leakage of compressed gas

Hazardous charges could be produced when either flammable or non-flammable gases containing liquid or solid particles are accidentally released. If there is the possibility of a leak where there could be a flammable atmosphere, the containing vessel or pipe and any adjacent conductive objects should be earthed. Conductive objects that could be moved into an area containing a flammable atmosphere should be earthed before the object is moved. People going into the area of such leaks, for example to carry out repairs, should also be earthed (see Clause 13) and insulating objects should not be taken into the area.

8.7 Spraying of flammable paints and powders

8.7.1 General

The clouds of droplets or particles produced by paint or powder spraying are often highly charged. As a result, the spraying equipment, the object being sprayed and any other object (including people) within range of the spray could also become charged. If the cloud of droplets or particles is flammable there can be an ignition hazard. The risks are greatest with electrostatic paint, powder and flock spraying. Even in the case of water based paints the occurrence of propagating brush discharges is possible, e.g. during electrostatic varnishing of metal car bodies. Local extract ventilation may also be required to control the flammability hazard.

NOTE The safety requirements for these processes are given in EN 50050, EN 50059, EN 50176, EN 50177 and EN 50223.

Airless spraying processes can also give rise to high charge levels and the precautions given in 8.7.2 should be observed. The level of charging with air-atomised spraying equipment is not usually high enough to cause concern. However, if sparking or electrostatic shocks are encountered, this equipment should also be subject to the precautions given in 8.7.2.

Operations to clean spray equipment and spray booths also need to be considered, particularly if flammable solvents are used.

8.7.2 Earthing

The spraying equipment, all metallic objects in the vicinity of the paint or powder cloud, and, in particular, the object being sprayed should be earthed (see Clause 13).

Paint or powder deposits can prevent earthing by the jigs and suspension hooks. This problem can be avoided by suitable design and regular cleaning. People operating the equipment should also be earthed (see Clause 11).

8.7.3 Plastic spray cabinets

Due to the risk of brush discharges spray cabinets made of insulating materials should not be used for spraying flammable paints. They are acceptable for spraying powders only if it can be shown that there is no ignition risk. Cabinets of conductive or dissipative material are acceptable for all types of spraying, provided that they are earthed. The application of protective insulating foils on conductive or dissipative surfaces should be avoided as they may lead to hazardous propagating brush discharges.

8.8 Vacuum cleaners, fixed and mobile

8.8.1 General

Vacuum cleaning systems can generate large amounts of electrostatic charge. The material, in the form of dust, particles, liquid drops or small objects, can become charged as it is sucked in through the nozzle and the hose into the collecting system. If there are metal parts within the system which are not bonded to it and earthed, they could acquire a high voltage. Incendive spark discharges (see A.3.2), could occur either between the metal parts or from the system to earth. Brush discharges (see A.3.4) could also occur inside the system between accumulations of charged material and earthed metal.

8.8.2 Fixed systems

If the equipment is used for collecting flammable materials, all metal and conductive parts of the system should be bonded together and earthed. It is particularly important to ensure that a metal nozzle is, and remains, bonded to the flexible connecting hose. That hose should be either conductive or dissipative (see Table 15 for liquids and 9.3.3 for solids). Electrically bonded hoses are also acceptable if they are constructed so that no brush discharges could

be generated (see 7.7.3) or if no flammable gases and vapours are present. The hose should be bonded to the collecting system, which should also be earthed and, preferably, should be sited outside of the hazardous area.

In some cases where lines are long the use of dissipative hoses may not provide a sufficiently low resistance for earthing of end-of-line conductive components (e.g. nozzles) and a dedicated earth connection to such conductive components may, therefore, be necessary.

If the system may be used for collecting flammable liquids, vapours or gases, the system should be specially designed for this purpose to avoid the risk of brush discharges. The present state of knowledge indicates that there is no ignition risk due to brush discharges in the case of sensitive dusts providing that there are no flammable gases or vapours (see A.3.4).

Filter media made from earthed conductive material should always be used where flammable vapours are present or where non-metallic conductive powders with a MIE less than 30 mJ are handled. Such fabrics should also be used for combustible metallic dusts having MIE less than 30 mJ provided that dry media type dust collectors are not expressly prohibited by prevailing regulations. The resistance to earth should be below 100 M Ω . The use of fibres containing conductive threads also helps to reduce charge on the powder and filter by corona discharge.

To prevent electrostatic shock the conductive parts of all collecting systems should be earthed even when they are not used for collecting flammable materials (see Clause 13).

Large systems should be treated as systems for pneumatic transport (see Clause 9).

8.8.3 Portable systems

If the equipment is used for collecting flammable materials, all metal and conductive parts of the system should be bonded together and earthed. It is particularly important to ensure that the container is always earthed when in use. This could be done using the mains lead or, in the case of compressed air driven equipment, by using a conductive or electrically bonded hose for the compressed air.

Equipment which cannot be earthed (e.g. because the outer shell is insulating, see 3.15) and which does not have electrical continuity between the nozzle and the receiver should not be used in hazardous areas (see Annex D).

8.8.4 Vacuum trucks

Vacuum trucks should be connected to a designated site earth before commencing any operations. In areas where site earths are not present, i.e. where portable earthing rods are required, or there is doubt regarding the quality of site earths, the resistance to earth should be verified prior to any operation. When the truck is connected to a verified earth, the connection resistance between the truck and verified earth should not exceed 10 Ω for pure metallic connections or 1 M Ω for all other connections.

This requirement should be verified with a truck mounted earthing system or portable ohmmeter. The electrostatic suitability of the hoses used should also be verified in accordance with 7.7.3 or 9.3.3.

9 Static electricity in powders

9.1 General

According to experience the ignitability of bulk material ranging from fine dust to granules or chips increases with decreasing particle size and decreasing minimum ignition energy (MIE).

Explosion hazard assessment should always be based on the minimum ignition energy of the finest particle size fraction that may be present. This fraction is usually obtained by sieving a sample through a 63 μm sieve.

NOTE 1 For a list of MIE of powders see BIA-Report 12/97 "Combustion and explosion characteristics of dusts". A method for determining the MIE is given in IEC 61241-2-3, ASTM E2019-03 and EN 13821.

NOTE 2 MIE of powders are notoriously variable depending on many parameters not commonly detailed in literature data sources (particle size distribution, solvent/moisture content etc.).

If the relevant minimum ignition energy is above 1 J and there are no flammable gases and vapours present, special measures to avoid ignition hazards due to static electricity are usually not necessary. A possible exception to this is the case where propagating brush discharges are possible (see 9.2 d)).

NOTE Precautions might be necessary to minimise electrostatic shock risks. See 12.2.

Bulk materials are classified into 3 groups depending on their volume resistivity:

- a) low resistivity powders, with volume resistivities $\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$;
- b) medium resistivity powders, with volume resistivities $1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$;
- c) high resistivity powders, with resistivities $\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$.

NOTE For methods to measure the resistivity see IEC 60079-32-2⁷.

In practice, low resistivity powders are rare. Even metal powders do not remain conductive for very long because oxide films form on the surface and increase their resistivity. An exception is, however, carbon black.

During handling of bulk materials electrostatic charging normally occurs. In addition to avoiding the hazardous accumulations of charge additional explosion protection measures may have to be taken as inerting, the use of explosion resistant equipment, explosion venting or explosion suppression.

9.2 Discharges, occurrence and incendivity

The build up and retention of charge on powder or equipment creates a hazard only if the charge is suddenly released in the form of a discharge which can cause an ignition. Charged powder and equipment can give rise to several types of discharge and they vary greatly in incendivity (see A.3.2 to A.3.7). The incendivity and other details of these discharges relevant to powder handling are as follows:

- a) Spark discharges: The incendivity of spark discharges can usually be assessed by comparing the stored energy (see A.3.2), with the MIE of the combustible powder in question (see C.6). Spark discharges can be avoided by earthing all conductive parts of equipment, conductive products and also people;
- b) Brush discharges: The present state of knowledge indicates that independent of their MIE combustible powders cannot be ignited by brush discharges, providing there are no flammable gases or vapours (see A.3.4). When handling large amounts of medium or high resistivity powders, brush discharges cannot be avoided (see B.3.7);
- c) The presence of contaminations (e.g. solvent, grease or moisture) may affect the potential ignition hazard when using insulating plastics in the presence of dusts.
- d) Care should be taken when handling solvent wet powders, as they may release flammable vapours over a long period of time with a much lower MIE than the pure powder. Consideration should also be given to whether MIE results less than 1 mJ are actually due to such mechanisms, rather than the powder alone.

⁷ To be published.

- e) Corona discharges: Corona discharges cannot ignite combustible powders. When handling large amounts of medium or non-conductive powders, corona discharges cannot be avoided;
- f) Propagating brush discharges: The energy released in a propagating brush discharge can be calculated and values in excess of 1 J are typical. Examples of a calculation and more details of propagating brush discharges are given in B.3.9;
- g) Cone discharges: Cone discharges can occur when highly charged powder is loaded into a silo. It is considered likely that flammable gases and vapours and also combustible powders can be ignited by these discharges (see also A.3.7);
- h) Lightning-like discharges: Such discharges, though theoretically possible, have not been observed in industrial operations.

9.3 Procedural measures

9.3.1 General

The process parameters should be set in a way that minimises electrostatic charging. This should be achieved by implementing some or all of the following precautions:

- a) increasing the conductivity of the bulk material, e.g. by coating,
- b) replace insulating equipment by earthed conductive equipment,
- c) humidification of powders,
- d) ionisation,
- e) reducing the quantity of fines in the bulk, e.g. avoiding fine fractions caused by wear and abrasion,
- f) limiting dispersion, e.g. dense phase conveying instead of dilute phase conveying,
- g) reducing the conveying speed, throughput or air velocity,
- h) avoiding big heaps of bulk material,
- i) preferring gravity transport to pneumatic transport,
- j) using conductive or antistatic hoses for pneumatic transport.

9.3.2 Humidification

If humidification is used as measure to dissipate charges from bulk material, usually 70 % relative humidity at 23 °C is necessary. This method may not be effective for high speed conveying and for warm products. It may also adversely affect the flow properties of some powders.

NOTE Air is a poor conductor of electricity. Humidification is not effective as a means of dissipating the charge from a dust cloud. However, high relative humidity does decrease the surface resistivity of many powders – with the exception of most polymers – and, therefore, might increase the rate of charge decay on bulked powder.

9.3.3 Hoses for pneumatic transfer

The definitions of antistatic and conductive hoses in 7.7.3.4 do not apply for hoses for the use with pneumatic transport of bulk materials. For such pneumatic transport the leakage resistance from any place of the inner wall of the hose should be less than 100 MΩ (measured according to ISO 8031).

9.3.4 Ionisation

The conductivity of dust/air mixtures can be increased by ionisation. It may be possible to avoid dust deposits by ionisation. It is not possible to avoid hazards when dealing with large amounts of bulk material and of large dust clouds.

NOTE It is difficult to provide the necessary ionisation for relatively large distances, e.g. more than 100 mm. Furthermore the total charge to be neutralized is often larger than an ionisation system may provide.

Local discharges from pointed, earthed conductive probes or wires can be of value in both dust clouds and bulked powders when the electric field strength is close to the breakdown value. The earthed conductive probes or wires should not break off in total or in parts.

NOTE 1 Such earthing probes or wires placed at the bulking point as powder enters a container can reduce the energy of individual discharges to a low level. They can also provide a safe route to earth for accumulated charge when powder enters an insulating container.

NOTE 2 Detached parts (e.g. if parts of the probe or wire break) might behave as charged capacitors and cause spark discharges.

NOTE 3 In the case of active ionisers, contamination of points might lead to ohmic heating possibly causing fires which needs to be prevented.

9.4 Bulk materials in the absence of flammable gases and vapours

9.4.1 General

For these purposes it is assumed that the powder is handled and processed free from any flammable gases and vapours, if:

- a) with non-flammable bulk material the concentration of gases and vapours is below their lower explosive limit (LEL),
- b) with flammable bulk material the concentration of gases and vapours is below 20 % of their LEL.

NOTE This is often met if immediately after a drying process the total residual concentration of solvent in the bulk material is below 0,5 %, the powder is subsequently handled at ambient temperature, and no further fine fraction generating process is carried out.

9.4.2 Equipment and objects made of conductive or dissipative materials

In hazardous areas all equipment and objects made of conductive and dissipative materials should be earthed, e.g. laminated packages with conductive layers and non-stationary coated containers.

For the following situations the earthing requirement may be abandoned/relaxed:

- a) if it can be shown that objects made of conductive and dissipative materials do not become charged during normal operation and possible malfunctions; or
- b) if the maximum energy that can be stored on the isolated objects is much lower than the MIE of the bulk material, or
- c) if the capacitance of the object does not exceed the applicable value given in Table 2.

9.4.3 Equipment and objects made of insulating materials

Equipment and objects made of insulating materials are only permissible if no hazardous charge build up will occur. If equipment and objects made of insulating materials in the form of pipes, hoses, containers, sheets, coatings and liners are used charge build up has to be expected.

Charging of insulating surfaces may result in propagating brush discharges with typical energies in excess of 1 J when backed with conductive areas in a distance less than 10 mm. If insulating films, layers or coatings with a breakdown strength below 4 kV are used they will not result in propagating brush discharges incensive to bulk materials.

As charging of isolated conductive material may cause spark discharges, the combination of conductive, dissipative and insulating materials is only permitted providing that all conductive and dissipative parts are properly earthed.

9.4.4 Dust separators

In separators for flammable dusts insulating filter fabrics should not interrupt the earthing connections of parts made of conductive or dissipative materials, e.g. supporting cages of filter sleeves or metal clamps to keep the filter socks in place. Particularly when the MIE of the bulk material is lower than 3 mJ ensuring earthing of all metal parts such as clamps, etc. having a capacitance greater than 10 pF is of great importance. This limit is due to the practical experience that it is nearly impossible to make sure that even the smallest metal parts (single screws, clamps etc.) are always earthed by cable connections. The earthing and bonding should be guaranteed by the construction itself and/or by the properties of the materials used.

For this purpose the use of filter fabrics made of fibre containing conductive threads, or the use of normal filter socks with copper straps sewed around the end of the filter socks which automatically bond the supporting cages and metal clamps have proven to be very useful.

Filter fabrics made from conductive and earthed material should always be used where flammable vapours are present or where non-metallic conductive powders with a MIE less than 30 mJ are handled. Such fabrics should also be used for combustible metallic dusts having MIE less than 30 mJ provided that dry media type dust collectors are not expressly prohibited by prevailing regulation. The resistance to earth should be below 100 M Ω . The use of fibres containing conductive threads also helps to reduce charge on the powder and filter by corona discharge.

NOTE Al, Mg, Ti and Zr dusts usually have MIE of less than 30 mJ whereas Fe, Co, Ni, Cu and Mn dusts usually exceed this limit. More details can be found in NFPA 484, *Standard for combustible metal*.

9.4.5 Silos and Containers

9.4.5.1 General

Bulk materials should be handled and processed in such a way that a hazardous charge build up is avoided. A hazardous charge can be accumulated on the bulk material as well as on the wall of the silo or container.

NOTE This applies to large silos and containers as well as also to small mobile containers, bins, drums, bags, FIBC or other packages. The specific requirements for FIBC are given in 9.6.

Figures 1 to 3 detail how to analyse whether the bulk material itself can be charged to a hazardous amount during the filling of a silo or container. If required, measures against the occurrence of cone, lightning like or spark discharges have to be taken. The flow diagram to be chosen depends on the resistivity of the bulk material:

Figure 1: Assessment of low resistivity bulk material ($\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$)

Figure 2: Assessment of medium resistivity bulk material ($1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$)

Figure 3: Assessment of high resistivity bulk material ($\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$)

NOTE In Figures 2 and 3 $W_{\text{cone discharge}}$ means the maximum expected energy of the cone discharge (see A.3.7).

As an alternative to the measurement of the strength of the electrical field above the powder heap, this field strength may be estimated by modelling the electrical field within the silo taking into account charge relaxation during the filling procedure. Such model calculations should be based on the charge to mass ratio, bulk density and filling rate of the powder, the relative permittivity and resistivity of the bulked powder as well as on the silo geometry. If the radially directed electrical field stays below 3 MV/m, the criterion for the field of the bulked powder is fulfilled. The difference between the 500 kV/m average electrical field over the gap of the discharge and 3 MV/m limit value is based on the field distribution within silos, where the maximum field is always directed radially against the wall of the silo measured at the silo wall and not axially directed measured above the powder heap.

To assess the charge build up on the wall of the silos and containers 9.3 as well as 9.4 should be considered in addition.

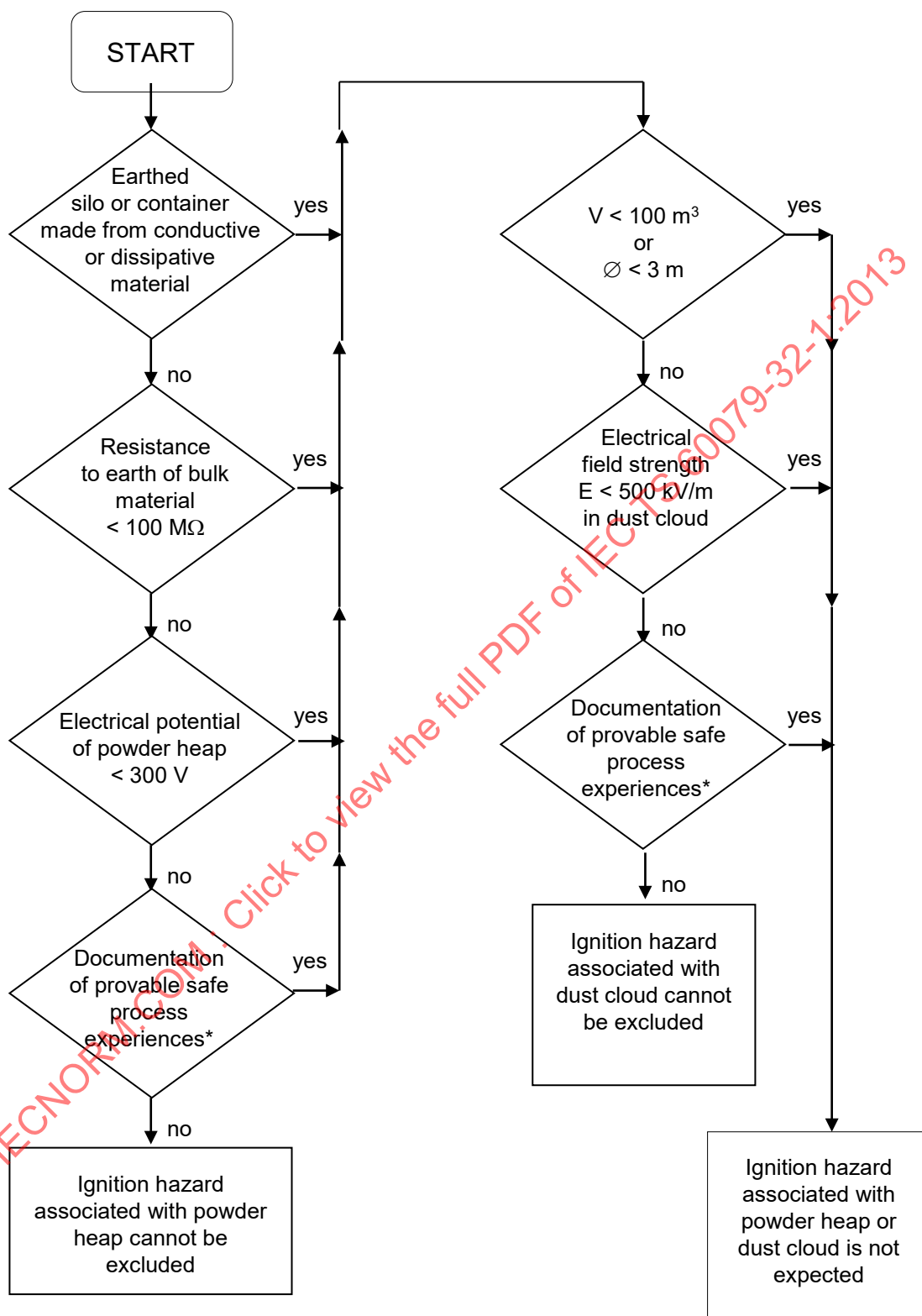
During discharging of silos and containers in the absence of flammable gases and vapours no hazardous charge build up on the bulk material has generally to be expected. In addition all discharge and transfer devices require a separate analysis.

NOTE See also 9.3.

It should however be kept in mind that most discharging operations represent a filling operation for the successive silo or container.

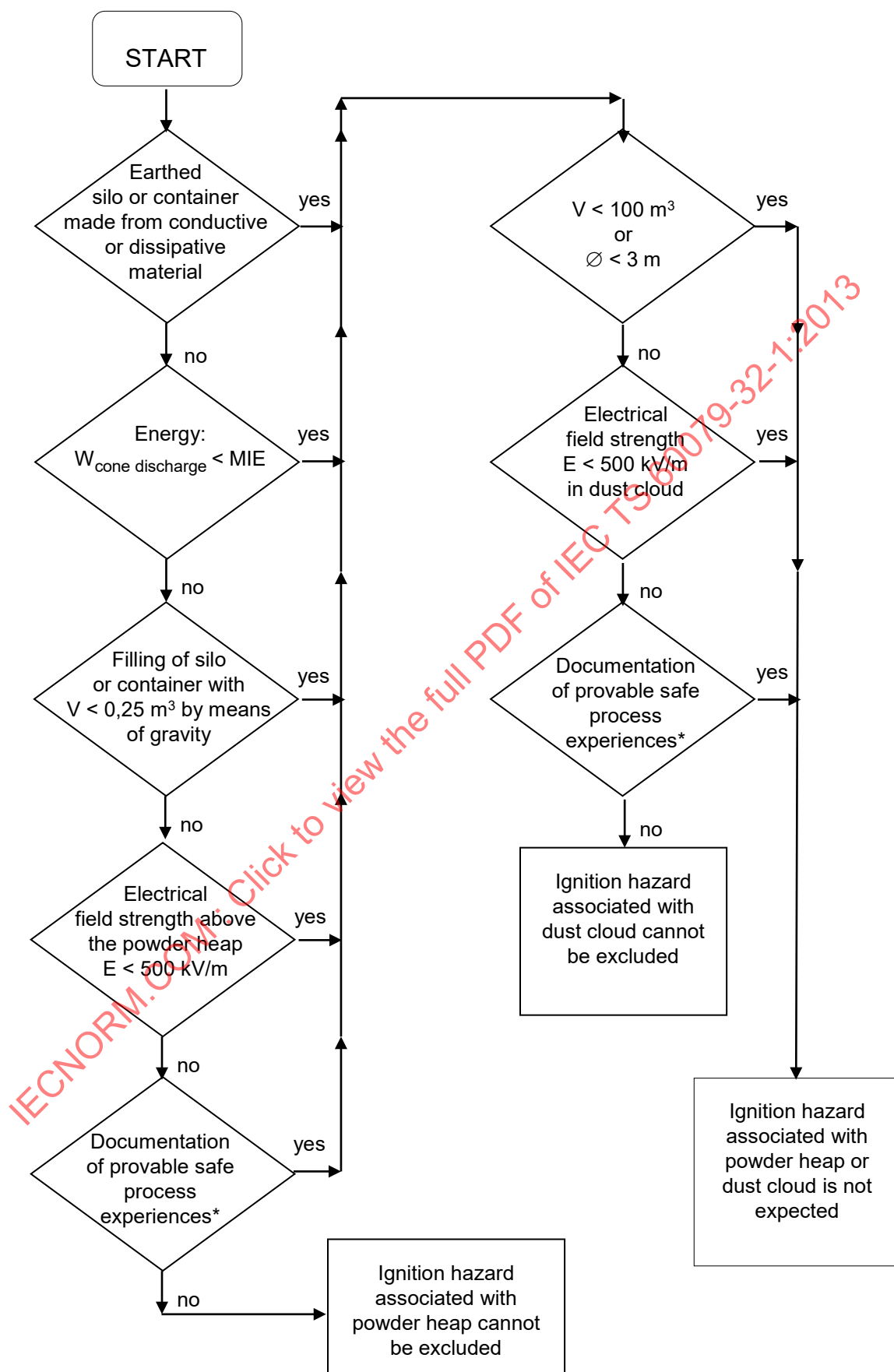
Conductive silos and containers should be earthed and dissipative silos and containers should be in contact with earth during filling and emptying.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013



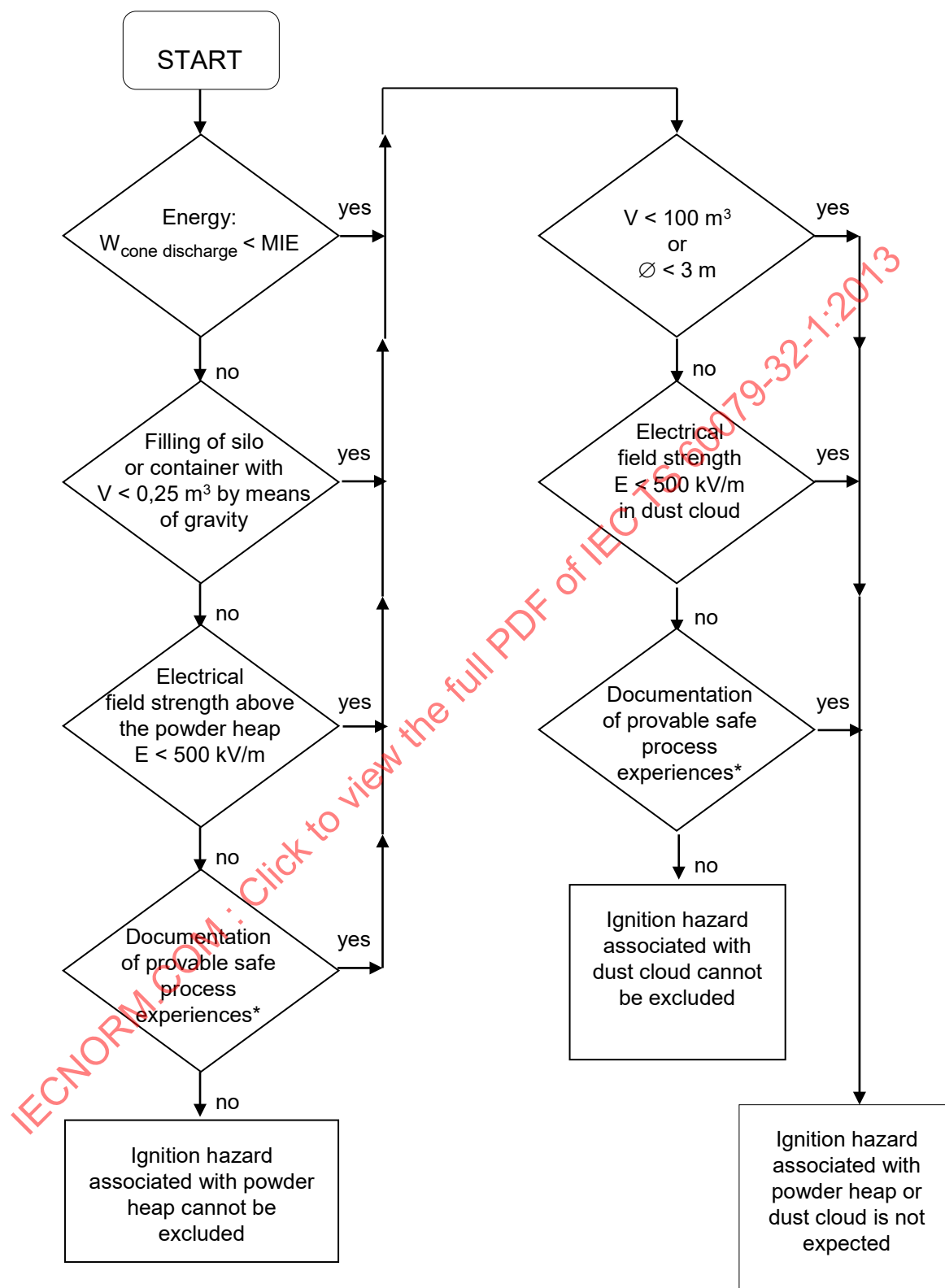
* see 9.4.5.2

Figure 1 – Flow diagram: Assessment of bulk material with $\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$



* see 9.4.5.2

Figure 2 – Flow diagram: Assessment of bulk material with $1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$



* see 9.4.5.2

Figure 3 – Flow diagram: Assessment of bulk material with $\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$

9.4.5.2 Documentation of provable safe process experiences

If according to one of the flow diagrams in Figures 1 to 3 the ignition hazard is excluded based on the decision step “Documentation of proven safe process experiences”, the explosion hazards should have been analysed in detail and subjected to an assessment. In this context it has to be kept in mind that minor changes in the process, product, equipment, packages, etc. may have a significant effect on the occurrence and incendiarity of discharges as well as on the occurrence and concentration of an explosive atmosphere. The relevant justification explaining even the most marginal changes and their possible consequences should be explained in an explosion protection document. In any case, protective measures should be taken (e.g. explosion venting, inerting, design for containment) where credible ignition sources cannot be excluded and flammable atmosphere is present.

NOTE In Europe, the explosion protection document is written according to Directive 99/92/EC.

9.4.5.3 Conductive and dissipative containers with conductive or dissipative liners

In addition to the measures listed in 9.3, only conductive and dissipative liners should be used in hazardous areas if they are safely earthed and if they remain earthed when taken out of or put into the container. This can be established e.g. by a reliable contact to earth via the container and a reliable contact to earth via the person when the liners are taken out or put into the container. Otherwise conductive and dissipative liners should not be taken out of or put into the container in a hazardous area.

9.4.5.4 Conductive and dissipative containers with insulating liners

Insulating liners should in general be avoided due to the risk of propagating brush discharges. They may only be used if, in addition to the measures listed in 9.3, at least one of the following conditions is met:

- a) Volume < 0,25 m³,
- b) Breakdown voltage < 4 kV (6 kV in the case of woven materials),
- c) Liner thickness > 10 mm
- d) Documented evidence that no propagating brush discharges will occur.

NOTE Propagating brush discharges may occur depending on the thickness, the resistivity and the breakdown voltage of the liner as well as on the electrical properties of the bulk material. They are not expected for thin paint and polymeric coatings < 50 µm typically found inside containers due to the low breakdown voltage of such coatings.

If the bulk material has a resistivity of less than 100 MΩ m it should be earthed.

Earthing can be achieved e.g. by introducing one or several metal rods or metal pipes into the container leading down to the bottom of the container. These should be introduced prior to the addition of the conductive bulk material.

9.4.5.5 Insulating containers

Insulating containers should in general be avoided due to the risk of propagating brush discharges. They may only be used, if in addition to the measures listed in 9.3 at least one of the conditions a) – d) in 9.4.5.4 is met. If the bulk material has a resistivity of less than 100 MΩ m it should be earthed. Cone discharges should be avoided.

NOTE Propagating brush discharges may occur depending on the thickness, the resistivity and the breakdown voltage of the container as well as on the electrical properties of the bulk material.

9.4.5.6 Insulating containers with liners

Conductive liners should not generally be used in insulating containers due to the risk of them being isolated from earth. If conductive liners are indispensable they should reliably be earthed.

Insulating liners in insulating containers should be assessed as insulating containers according to 9.4.5.5.

9.5 Additional requirements for bulk material in the presence of flammable gases and vapours

9.5.1 General

In the presence of flammable gases or vapours a combination of the gas or vapour concentration and the suspended bulk material concentration (see 3.14) determines whether a flammable gas or vapour/air mixture or a so called hybrid mixture (mixture of flammable gases or vapours and flammable dusts in air) is formed. The minimum ignition energy (MIE) of the mixture is mainly determined by the amount of gas or vapour and commonly lies below the MIE of the pure dust. The flammable gas/vapour may arise from another source (e.g. if a powder is added to a flammable liquid), or from the powder itself (e.g. if it contains significant solvent or may evolve flammable gas).

Special care should be taken when handling solvent wet powders, because when handling large amounts of medium or insulating powders, brush discharges incandive for the evolved gas / vapour or hybrid atmosphere cannot be avoided.

Rather than differentiating between low, average or high resistivities of bulk materials as is the case when no flammable gases or vapours are present, the important limit of the bulk material resistivity in the presence of flammable gases or vapours is only 100 MΩ m.

The following requirements do apply only to gases and vapours of the explosion groups IIA and IIB. In hazardous zones of explosion group IIC inerting is necessary.

9.5.2 Measures for resistivity greater equal 100 MΩ m

The open handling of solvent wet bulk materials with a resistivity greater equal 100 MΩ m should generally be avoided. Where handling of such materials cannot be avoided, additional measures of explosion prevention or protection are normally required, particularly when handling large quantities. Such measures are

- a) inerting,
- b) processing of the solvent wet material under vacuum,
- c) processing at a temperature significantly below the flash point,
- d) processing within explosion proof equipment,
- e) exclusion of the hybrid mixture, or
- f) special constructional measures.

NOTE As handling of bulk material with a resistivity greater equal 100 MΩ m commonly generates a high level of electrostatic charges, brush discharges cannot be avoided and ignition is therefore possible.

9.5.3 Measures for resistivity less than 100 MΩ m

If the resistivity of the bulk material is less than 100 MΩ m, e.g. in case of bulk material containing a polar solvent, the bulk material should be handled in conductive earthed equipment or any other type of equipment that provides a sufficiently large earth point for the bulk material.

NOTE 1 In case of large amounts of bulk material a representative sample is required for an assessment of the resistivity. Instead of the resistivity also the nature and the amount of the solvent content can be used for an assessment.

NOTE 2 The bulk material as well as the flammable liquid might become charged to a hazardous level when filled into a container or added to a liquid.

9.5.4 Filling of bulk material into a container

Filling bulk material into a container containing flammable gases or vapours may lead to the generation of hazardous charging levels at the container to be emptied, at a liner, at the chute pipe or funnel, at the product falling into the collecting receiver, at the collecting receiver, at the product in the collecting receiver or at the operators. Filling of bulk material is, therefore, preferably performed with a closed and / or automated system, typically under inert gas atmosphere.

NOTE 1 Charge build up during the filling of bulk material from metal or plastic drums or from plastic bags has caused many fires and explosions in the past.

NOTE 2 Charge build up occurs when bulk material is discharged from a container or bag or if it flows through a chute, pipe or funnel.

Manual addition to an open vessel should be avoided whenever possible. If the open addition of powder to a container containing an explosive atmosphere cannot be avoided, special measures should be provided to reduce the charge build up:

- a) Containers or packages to be emptied should be made from conductive or dissipative material.
- b) During emptying, conductive containers or packages should be earthed and dissipative containers or packages should be in contact with earth.

NOTE 1 Examples of dissipative materials used to make containers include paper, dissipative composite material and some plastic laminated papers. For packages made from dissipative material, e.g. paper bags, an earth contact via the hands of an operator is sufficient. In this case the floor, the shoes, and the gloves should also be dissipative and the resistance to earth should not be increased by contaminants.

NOTE 2 During storage the dissipative property of the packages may be lost by aging, adsorption or if the relative humidity is low. Steps to increase relative humidity in storage areas may be necessary, especially at wintertime.

NOTE 3 Dissipative plastic bags are normally not earthed via an earthing clamp but by contact to earth, e.g. by the operator only.

NOTE 4 It is advantageous to handle sacks and bags etc. on a conductive support shelf or table with a clean surface connected to earth.

- c) Insulating liners should not be used if they may come into contact with flammable gases / vapours.
- d) Conductive liners should only be used in conductive or dissipative containers. It should be ensured that they are in good contact with the earthed container and remain earthed when they are taken out or put into the container. Otherwise they should not be taken out or put into the container in a hazardous area. During handling the liner should not become detached from the container.
- e) Dissipative liners may be used in conductive or dissipative containers. It should be ensured that they are in good contact with the earthed container and remain in contact with earth when they are taken out or put into the container. Otherwise they should not be taken out or put into the container in a hazardous area. During handling the liner should not become detached from the container.
- f) Multiple layer packages or packages with insulating coatings should be avoided whenever possible. If they have to be used for other reasons, the following conditions have to be met:
 - The insulating coating should not be thicker than 2 mm, and
 - All conductive or dissipative layers of the package should always be earthed or in contact with earth.
- g) Auxiliary devices for the addition of the bulk material should be conductive and earthed. Any chute or funnel should have a maximum length of 3 m.

NOTE Examples of such auxiliary devices are shovels, funnels, chutes, etc.

- h) Earthing of all involved operators should be ensured.
- i) The rate of adding the bulk material should be limited to 1 kg/s.

However, due to the high level of risk inherent with such operations, it may still be necessary to use additional control measures to achieve the required level of safety.

If by the addition of the bulk material a suspension or emulsion is formed in the receiving vessel – even only for a short period of time – it should be considered that agitation of such a multiple phase system may generate a hazardous charge build up independent of the charging procedure. In these cases 7.9.4 has to be taken into account.

NOTE 3 A typical example is the addition of pigments when manufacturing dyes, lacquers and paints.

9.6 Flexible intermediate bulk containers (FIBC)

9.6.1 General

Flexible intermediate bulk containers (FIBC) are used in industry for storage and transport of powders and granules. They are commonly constructed from polypropylene fabric or similar strong and heavy duty insulating material.

Electrostatic charge can be generated during filling and emptying and it can accumulate on the product as well as on the fabric from which a FIBC is constructed or on any parts of it. An ignition could occur if the accumulated charge is released in the form of an incendiary discharge in the presence of a flammable atmosphere. Spark, brush, cone and propagating brush discharges are all possible when FIBC are used.

The requirements and specifications which FIBC should meet depend on the nature and sensitivity of the flammable atmosphere present during filling and emptying. The final goal for the construction of FIBC is to exclude incendive discharges from the FIBC fabric during their intended use. Since discharges of different incendivity (i.e. different types of discharges, such as spark, brush or propagating brush discharges) may be generated, the necessity of their exclusion and thus the requirements for construction of the FIBC depends on the intended use of the FIBC. For this reason different types of FIBC have been developed, which are defined as Type A, B, C or D (see IEC 61340-4-4):

- Type A FIBC are made from fabric or plastic sheet without any measures against the build up of static electricity.
- Type B FIBC are made from fabric or plastic sheet designed to prevent the occurrence of sparks and propagating brush discharges.
- Type C FIBC are made from conductive fabric or plastic sheet, or interwoven with conductive threads or filaments and designed to prevent the occurrence of incendiary sparks, brush discharges and propagating brush discharges. Type C FIBC are designed to be connected to earth during filling and emptying operations.
- Type D FIBC are made from static protective fabric designed to prevent the occurrence of incendiary sparks, brush discharges and propagating brush discharges, without the need for a connection from the FIBC to earth.

Depending on the mechanism applied to exclude incendive discharges, the requirements which the different types of FIBC should meet, refer either to purely physical parameters such as breakdown voltage and conductivity (Type B and C) or to more general procedures in which it should be demonstrated that no incendive discharges occur (Type D). These requirements are given in IEC 61340-4-4.

The four different types of FIBC should be used as shown in Table 19. Other types of FIBC or FIBC of unknown type should only be used in the presence of flammable atmospheres after detailed evaluation by an expert.

Document pockets and pouches made from insulating material should fulfil the requirements of IEC 61340-4-4 which are similar to 6.3. In the case of document pockets for Type C it should be considered that they are usually backed with an earthed conductive fabric which helps to prevent a high surface charge.

Table 19 – Use of the different types of FIBC

Bulk Product in FIBC	Surroundings		
	Non flammable atmosphere	Dust zones 21-22 ^b	Gas zones 1-2 ^b (Explosion Groups IIA/IIB) ^c
MIE > 1 000 mJ	A,B,C,D	B,C,D	C,D ^d
3 mJ < MIE ≤ 1 000 mJ	B,C,D	B,C,D	C,D ^d
MIE ≤ 3 mJ	C,D	C,D	C,D ^d

^a Measured in accordance with IEC 61241-2-3, ASTM E2019 and EN 13821 with a capacitive discharge circuit (no added inductance).

^b See D.2 for the definition of zones.

^c See D.3 for an explanation of Explosion Groups.

^d Use of Type D should be limited to Explosion Groups IIA/IIB with MIE ≥ 0,14 mJ.

NOTE 1 Additional precautions are usually necessary when a flammable gas or vapour atmosphere is present inside the FIBC, e.g. in the case of solvent wet powders.

NOTE 2 Non-flammable atmosphere includes dusts having a MIE > 1 000 mJ.

NOTE 3 The MIE limit of 3 mJ is based on the incendivity of cone discharges. Cone discharges might have a much higher energy in a Type B FIBC than in a Type C or D FIBC because the wall of a Type C or D FIBC will be at close to zero potential. Based on this fact the internal field distribution will be such that in Type C or D FIBC cone discharges will at most only jump across half the diameter of the FIBC. A calculation with the formula given in A.3.7 for the largest FIBC commonly used (diameter of 1,5 m) yields 3 mJ for powder with a median size of only 0,055 mm in a Type B FIBC, whereas in a Type C or D FIBC the 3 mJ limit is only reached with a coarse powder having a median size of 0,27 mm or higher. However, such coarse powders usually have a MIE higher than 3 mJ.

In order for a propagating brush to occur from a FIBC in practice, it is generally necessary to handle a high resistivity powder in a way that leads to high levels of electrostatic charge generation (e.g. pneumatic transfer). If these conditions are not met, particularly with medium or high MIE powders, then a detailed expert assessment may conclude that the risk of an incendive propagating brush discharge is acceptably low.

The ability to use FIBC safely in hazardous explosive atmospheres may change if an inner liner is installed in the FIBC. Combinations of FIBC and inner liner that can be used safely in hazardous atmospheres are shown in Table 20. In addition there are some precautions that certain combinations of FIBC and inner liner should meet. These precautions are also shown in Table 20.

Table 20 – Inner liners and FIBC: combinations that are permissible and not permissible in hazardous atmospheres

FIBC ^a	Inner Liner ^b		
	Type L1	Type L2	Type L3
Type B	Not permissible	Permissible	Permissible
Type C	Permissible ^c	Permissible	Not permissible
Type D	Not permissible	Permissible ^d	Not permissible
^a Type A FIBC should not be used in hazardous explosive atmospheres irrespective of the type of liner used. ^b Liners should not be removed from emptied FIBC in hazardous explosive atmospheres. ^c To ensure the inner liner is properly earthed, the resistance from at least one side of the inner liner to the groundable points on the FIBC should be less than 10 MΩ, measured according to 9.3 of IEC 61340-4-4:2012 under the conditions specified in 8.1 of IEC 61340-4-4:2012. ^d Combination of FIBC and liner should meet the requirements of 7.3.2 of IEC 61340-4-4:2012 tested under the conditions specified in 8.2 of IEC 61340-4-4:2012.			
NOTE Electrostatic discharges from isolated conductive liners may cause painful shocks to operators or disrupt the operation of electric/electronic equipment.			

- Type L1 inner liners are made from materials with surface resistivity on at least one surface of less than 10 MΩ and, where necessary, a breakdown voltage through the material of less than 4 kV.
- Type L2 inner liners are made from materials with surface resistivity on at least one surface between 1 GΩ and 1 TΩ and a breakdown voltage through the material of less than 4 kV.
- Type L3 inner liners are made from materials with surface resistivity of greater than 1 TΩ and a breakdown voltage through the material of less than 4 kV.

NOTE Breakdown voltage measurements are only necessary for certain configurations of Type L1 and Type L2 inner liners, i.e. when one of the surfaces has a surface resistivity of greater than 1 TΩ. More detailed specifications for Types L1, L2 and L3 inner liners are given in the IEC 61340-4-4.

Inner liners made from materials that contain a conductive layer sandwiched between two insulating layers should not be used in Type B or Type D FIBC. If such an inner liner is used in Type C FIBC, the conductive layer should be securely connected to earth.

Other types of inner liner or inner liners of unknown type should only be used in the presence of hazardous explosive atmospheres after detailed evaluation by an expert.

Insulating lifting belts and loops for FIBC should comply with the width restriction in Table 3. Metal fittings (shackles) for connection between belts and ropes for FIBC should not be used for FIBC Types B and D. For Type C they should be earthed.

9.6.2 Additional precautions when using FIBC

Isolated conductive objects (e.g. tools, bolts, clips, etc.) should not be stored on, attached to, or even temporarily placed on any type of FIBC during filling and emptying operations. Even with Type C FIBC, the rough nature of some FIBC materials may prevent conductive objects placed on the FIBC from contacting the conductive elements in the fabric of the FIBC.

In hazardous areas, all conductive objects within the immediate vicinity of any FIBC (i.e. less than about 1 m away) should be properly earthed during filling and emptying operations.

Precautions should be taken to prevent the contamination of any FIBC with substances (e.g. water, rust, oil, grease, etc.) that might create an ignition hazard or impair charge dissipation.

10 Static electricity when handling explosives and electro-explosive devices

10.1 Explosives manufacture, handling and storage

10.1.1 General

Static electricity accumulated on isolated conductors or people may cause the ignition of explosives with severe or even catastrophic results. There are various types of explosives (solid, powder or liquid) and they may be encountered in many forms such as bulk, bagged, plastics, pelleted, compacted, moulded or filled into metal or plastics containers. Before handling or processing explosives, consideration should be given to the specific recommendations given in 10.1.2 to 10.1.4, but in addition reference should be made to those clauses of this document that are relevant to the particular operations to be performed.

The energy required in a spark to cause ignition of an explosive varies with the type of explosive and its physical state. In general, primary explosives are much more sensitive than propellants or high explosives, while pyrotechnics exhibit a wide range of sensitivity.

The extent of the precautions that should be applied depends upon the minimum spark energy for ignition, and explosives may be divided into three classes depending upon this minimum spark energy. It is essential to understand that the minimum spark energy for ignition of explosives is measured by means of a specialised test for specific use with explosives.

The three classes of explosives and the precautions that should be adopted for them are given in 10.1.2, 10.1.3 and 10.1.4. Deviations from these recommendations should not be made without taking expert advice. Specialised earthing techniques are used in the explosives industry for sensitive or very sensitive explosives.

A relative humidity of more than 40 % should be maintained. Higher humidity may be required when handling more sensitive materials.

10.1.2 First degree protection

These comparatively insensitive explosives have a minimum spark energy for ignition greater than 450 mJ, and the precautions given here are sufficient when they are handled.

All large conductive objects, such as fixed plant and equipment systems, should be earthed. Where the earthing is by means of metallic conductors the resistance to earth should be less than 10 Ω . This resistance indicates a reliable earth connection with a metallic conductor. Non-metallic materials may also be used for earthing providing they meet the requirements of Clause 13.

10.1.3 Intermediate protection

These are sensitive explosives with sensitiveness between those dealt with in 10.1.2 and 10.1.4, and have minimum spark energies for ignition greater than 1 mJ and less than or equal to 450 mJ.

Depending on the properties of the particular explosive and the way in which it is handled, some relaxation of the full precautions given in 10.1.4 may be acceptable. Specialist advice should be sought to determine the level of precautions applicable to each specific case.

10.1.4 Second degree protection

The minimum spark energy for ignition of these very sensitive explosive materials is less than or equal to 1 mJ and the following precautions are required:

- a) All equipment, including movable and portable items, should be earthed. The earth resistance should not exceed 10 Ω in the case of metal parts and 100 k Ω in all other cases. Insulating materials should be rigorously excluded.
- b) All people should be earthed by means of floors with maximum leakage resistance of 50 k Ω , and footwear with maximum leakage resistance of 100 k Ω . A personnel resistance monitor should be installed at every entrance to any area where such footwear is required. When handling compositions having ignition energies of less than 0,1 mJ, consideration should be given to the installation of personnel resistance monitors at the individual work stations.
- c) Outer clothing should not be made from insulating materials. Clothing should in no circumstances be removed in the area where the explosive is being handled (see 11.5).
- d) Conductive objects which could act as spark promoters should be avoided, for example rings on people, wet fingers, conductive tools or wires.
- e) The relative humidity of the atmosphere should not be less than 65 %.
- f) Care should be taken to prevent a number of small capacitances becoming electrically coupled together to give a much larger capacitance.
- g) Use of insulating gloves should be avoided. It is advisable to avoid use of gloves entirely where toxicity or other considerations do not prevent it.

10.2 Handling of electro-explosive devices

10.2.1 General

Electro-explosive devices such as electric detonators may inadvertently be ignited by a discharge of static electricity, either through the fusehead or between the metal case and the fusehead. Many electro-explosive devices can be more sensitive to electrostatic energy in this latter configuration. The static electricity may accumulate on an isolated person as a result of their movements, and people and items of equipment may become charged during thunderstorms, dust or dry sand storms. Charge may also be generated during the pneumatic loading of bore holes with granular blasting explosives.

Precautions to avoid the hazard are given in 10.2.2 to 10.2.4 inclusive and they should be observed at all times when electro-explosive devices are being handled, that is during storage, issue and preparation for use.

It should be recognised that there are other sources of hazard when handling electro-explosive devices, for example the pick-up of energy from sources of electromagnetic radiation and testing for continuity of the firing circuit. Appropriate manuals should be consulted for these.

10.2.2 Earthing

People should have an adequately conductive path to earth, for example by wearing conductive footwear, and preferably they should wear cotton type clothing. However, in some environments, for example mines, continuous earthing of people may not be feasible, and it is recommended that the procedures in 10.2.3 and 10.2.4 should therefore always be followed.

All conductive equipment in the area, such as rails and piping, and all machinery should be earthed. It should be noted that other codes of practice may also require conductors to be bonded to each other to avoid any difference in potential between them which might cause a current to flow through lead wires making contact with them.

If a granular type explosive is being loaded pneumatically into a bore hole, the loading equipment should be earthed. The hose assembly should be conductive or dissipative and should be connected to earth. Specialised codes of practice exist on this subject and should be consulted.

10.2.3 Precautions during storage and issue

Electro-explosive devices are received from the manufacturer with the leads folded and wrapped and the bare ends twisted together. If the bare ends are found to be unconnected, the operative should earth himself and reconnect them. If the possibility of significant electromagnetic fields exists then care will need to be taken to ensure that such procedures do not create a radio frequency ignition hazard. These devices should not be packaged or transported in insulating materials, e.g. polyethylene bags or polystyrene foam packs; the use of metallic or conductive packs is advised for this purpose and these may also provide some protection against any radio frequency hazard.

10.2.4 Precautions during preparation for use

When the firing cable has been laid out the bare wires at each end should be connected to each other and to a suitable earth, such as a metal rod driven into the ground, which should be wetted if very dry. This cable and all other leads should be kept separate from conductors in the area, such as rails and piping.

A check should be made to see that the device leads are connected together. After connecting them if necessary (see 10.2.3), they should be earthed to the earth rod or other suitable earth at the firing end. The device leads can then be uncoiled and laid along the ground.

The operative should then make sure that they are earthed before they handle the metal case of the device prior to connecting it to the firing cable.

Appropriate precautions should be taken against atmospheric electricity (e.g. lightning) according to the type of device used.

11 Static electricity on people

11.1 General considerations

It is very important that people who may be exposed to flammable atmospheres having a MIE less than 10 mJ should be earthed to prevent them from becoming electrostatically charged. Isolation from earth can occur due to the fact that many floor coverings and the soles of footwear are made from insulating materials. There are many mechanisms that can cause a person to become charged and the following are examples:

- a) walking across a floor;
- b) rising from a seat;
- c) removing clothing;
- d) handling plastics;
- e) pouring from or collecting charged material in a container;
- f) standing close to highly charged objects, e.g. a moving belt.

If an electrostatically charged person touches a conductive object (e.g. door handle, hand rail, metal container) a spark can occur at the point of contact. Such sparks, which are unlikely to be seen, heard or even felt by the person, can cause ignitions. Sparks from a person are capable of igniting gases, vapours and even some of the more sensitive dusts.

It is very important that people who may be exposed to flammable atmospheres having MIE < 10 mJ should be prevented from becoming electrostatically charged by being earthed. This is best achieved by having a conductive or dissipative floor and ensuring that people wear dissipative footwear. However, in Zone 2 and in Zone 22 earthing of people is required only when charge generation is continuous.

NOTE The worst case voltage which may commonly be acquired by people is about 20 kV. With the typical capacitance of the human body being about 150 pF, the resulting maximum stored energy is about 30 mJ. However, due to the high ohmic resistance of the human skin about two thirds of the stored energy gets lost. For this reason, sparks from the human body have a maximum equivalent ignition energy of only 10 mJ except when handling large conductive tools.

11.2 Static dissipative floors

The recommended leakage resistance for floors is 1 M Ω to 100 M Ω (see Clause 13). In many factory environments the conventional flooring materials, for example, bare concrete or steel grids, are adequately conductive. In order to remain effective, the floor should not be covered by insulating paint, rubber mats or plastic sheet, etc., and care should be taken to prevent the build-up of contaminants such as resin or other insulating substances, and its resistance should be regularly checked.

In case of a bare metal surface floor (e.g. steel grating and plate) the use of appropriate footwear (see 11.3) is necessary to prevent dangerous electrical shocks to people.

There are several standards published with different measuring methods for testing the conductivity of a floor. In IEC 61340-4-1 the test is executed with a circular electrode, (65 $\pm$ 5) mm in diameter pressed to the floor with 2,5 kg (hard floor) or 5,0 kg (soft floor). In ISO 10965 measurement is done with a circular electrode, 65 mm in diameter pressed to the floor with 5,0 kg. ASTM F150 uses a circular electrode, 63,5 mm in diameter pressed to the floor with 2,5 kg. EN 1081 uses a three-footed electrode pressed to the floor by a person standing on it. As each method yields a somewhat different resistance, it is important that the measuring method used is stated in product specifications and test reports.

NOTE 1 In ideal cases the differences between the measured resistances of the different methods described above are small. In reality, rough surfaces, e.g. external concrete forecourts with significant stone content standing proud may influence the measured resistance depending on the electrode surface used and the applied pressure. Improved results may be obtained with conductive foam pads under IEC 61340-4-1 electrodes to take up roughness of several mm. However, this may not replicate the practical situation of a person's footwear with hard soles.

NOTE 2 The values in this paragraph do not necessarily apply to situations where sensitive explosives are handled. See Clause 10 for special requirements in this case.

11.3 Dissipative and conductive footwear

There are two types of footwear which are used for earthing people in order to prevent them from becoming electrostatically charged:

- a) dissipative footwear has both an upper and a lower resistance requirement (see 3.9). The upper level is low enough to prevent the build-up of electrostatic charge in most situations and the lower level offers some protection in the event of accidental contact with mains electricity. This type of footwear is suitable for general use;

NOTE 1 ISO 20345 defines antistatic (dissipative) footwear as having resistance measured in accordance with ISO 20344 of between 100 k Ω and 1 G Ω . Antistatic (dissipative) footwear defined by ISO 20345 may not satisfy the resistance requirements specified in this document.

NOTE 2 Dissipative shoes should not be worn as the primary protective measure against mains electricity as this may encourage people to work on live electrical systems, although under some circumstances (e.g. when wet) the shoes may be ineffective.

NOTE 3 Resistance of dissipative materials made from rubber containing carbon black sometimes increases with decreasing temperature.

- b) conductive footwear has a very low resistance (see 3.3) and is worn, for example, by people who have to handle sensitive explosives. This type of footwear should not be worn where there is any risk of accidental contact with mains electricity and it is not suitable for general use.

NOTE Except in the case of very sensitive explosives only dissipative footwear is usually required.

Socks or stockings do not normally adversely affect the properties of either types of footwear; however, some types of overshoes and orthopaedic insoles can do so.

Dissipative footwear used in conjunction with conductive or dissipative flooring provides a means to control and dissipate static electric charges from the human body. Resistance to earth through dissipative footwear and conductive flooring should be between 100 k Ω and 100 M Ω . For handling explosive materials the resistance to earth through footwear and flooring should be less than 1 M Ω , or less than 150 k Ω if the minimum spark energy for ignition of the explosive is less than or equal to 1 mJ.

Resistances can be measured with commercially available footwear conductivity testers which measure the resistance between a hand-held metal bar via body and feet to a metal plate on which the person stands. Alternatively, the resistance between a shoe filled with shot pellets and a steel plate on which the shoe is pressed can be measured according to IEC 61340-4-3.

The resistance of footwear can increase with the accumulation of debris on the footwear, use of orthopaedic insoles, and reduced floor contact area. The conductivity of footwear should be tested frequently to confirm functionality.

11.4 Supplementary devices for earthing of people

Where dissipative footwear will not provide adequate earthing of the person, supplementary devices should be used. Such devices include wrist straps, heel/toe grounders and conductive overshoes.

Supplementary devices should be selected so that accumulation of hazardous static electric charge is prevented, while the risk of electrocution is not increased. In most practical situations, earthing of people is achieved by ensuring a resistance to earth of 100 M Ω or less. The need to protect against electrocution via an earthing device imposes a minimum resistance from skin to ground of 100 k Ω . Based on skin contact and contact with the floor, especially during activities where the entire sole of the footwear is not in contact with the floor (e.g., kneeling), effectiveness can be compromised. Earthing devices should have a minimum resistance of 100 k Ω for shock protection.

The simplest type of commercial device is an earthing bracelet with a built-in resistor typically giving a resistance to ground of about 100 k Ω for shock protection. Wrist straps of this type have the greatest utility at ventilation hoods and at other locations where limitation on the operator's mobility can be tolerated. Breakaway wrist tether systems could be necessary where emergency egress is needed. A hood can be equipped with two external coiled earthing cords with cuff attachments that can be removed and kept by individual users. Earth continuity should be checked periodically to the manufacturer's specified limits.

11.5 Clothing

In spite of the fact that modern clothing, made from synthetic textiles, can readily become electrostatically charged it is not, in many cases, an ignition risk providing that the wearer is earthed by means of suitable footwear (see 11.3) and flooring (see 11.2), or by other means such as a wrist strap and earth bonding cord. However, clothing should provide proper fitting and sizing (see ISO 13688) and allow full body movement with all closures fastened according to manufacturer's instructions. Clothing should be as close fitting as is practical and should not be removed or unfastened in areas where there could be flammable atmospheres (e.g. Zone 0, Zone 1, Zone 20 and Zone 21).

Although the likelihood of ignition by a grounded person due to any type of clothing is usually very low, the charging of people (e.g. when a person is getting out of a forklift truck) is greatly increased by clothing that has high resistivity.

In situations where there is a combination of high charging activities and the presence of low MIE gases or vapours, the use of dissipative clothing may be required. Table 21 provides guidance on when dissipative clothing may be required. Border limits for dissipative clothing are given in Table 1.

Test methods and performance requirements for personal protective clothing for use in flammable atmospheres are contained in EN 1149. Dissipative clothing should cover all other clothing. The outer clothing should be earthed either through contact with the body of the wearer, or by direct earth connection. In the case of clothing with integrated conductive fibres earthing of the person with a resistance of less than 100 MΩ is sufficient.

Clothing for use in flammable atmospheres is Category II Personal Protective Equipment and should comply in Europe with the Essential Health and Safety Requirements of EC Directive 89/686/EEC.

NOTE 1 Although silk and most synthetic fibres are excellent insulators and undergarments made from these materials exhibit static phenomena, no evidence exists to indicate that wearing such undergarments constitutes a hazard.

NOTE 2 Clothing with integrated conductive fibres does not prevent the wearer from electric shocks.

NOTE 3 The resistance of dissipative materials made from rubber containing carbon black may sometimes increase with decreasing temperature.

Table 21 – Determination of requirement for electrostatic dissipative protective clothing and other items of personal protective equipment

Hazardous Zone	Probability of Charging	$0,02 \text{ mJ} \leq \text{MIE} \leq 0,20 \text{ mJ}$	$\text{MIE} > 0,20 \text{ mJ}$
Zone 0	High	Required	Required
	Low		Recommended
Zone 1	High		
	Low		Not Required
Zone 2	High	Recommended	
	Low	Not Required	
Zones 20, 21 or 22	-	Not Required	

In oxygen-enriched atmospheres, such as those that could be present in liquid oxygen filling plants, vapour from the cooled gas can permeate an employee's clothing, increasing its combustibility. Clothing can then be easily ignited by static electricity discharges from charged people or clothing.

The MIE of oxygen-enriched atmospheres may be less than the MIE of the flammable substance commonly found in literature. If it is determined that an oxygen-enriched atmosphere may occur, care should be taken to ensure the value of the MIE used for the purposes of risk assessment is that measured using the oxygen-enriched atmosphere.

Expert advice should be obtained before selecting electrostatic dissipative protective clothing or equipment for use in hazardous zones with MIE less than 0,02 mJ. The requirements specified in EN 1149-5 are based on explosive atmospheres with MIE of 0,02 mJ or greater.

If clothing becomes contaminated with flammable solvents, there is a risk of electrostatic ignition if the clothing is removed or other high charging activities occur. Unless there is an immediate risk of chemical burn or toxicity, clothing that is contaminated with flammable solvents should be doused with water or the flammable solvent allowed to evaporate before the clothing is removed.

Metallic fibres (e.g. stainless steel, silver coated fibres, etc.) and other fibres of very low resistivity that may be used in dissipative clothing do not prevent electrostatic shock hazards. Such fibres should, therefore, only be used with caution in areas where there may be a risk of electrostatic shock.

NOTE Metallic fibres can cause small nuisance shocks to be felt where clothing contacts the skin (e.g. at the wrists and neck). Such shocks are caused by localised discharges between the skin and the metallic fibres.

The electrostatic properties of protective clothing may change with wearing time, after cleaning procedures or after exposure to extreme conditions. Clothing should be maintained in accordance with manufacturers' instructions. For example it may be necessary to re-treat clothing with a special finish each time it is washed.

11.6 Gloves

Gloves made from insulating materials could allow objects held in the hand to become and remain charged. Gloves worn in Zone 0 and Zone 1 should, therefore, be made from dissipative or conductive materials. They may be tested while worn in conjunction with footwear. Typically the resistance is measured between a hand-held metal bar and a metal plate on which the person stands. The same resistance limits as prescribed for footwear should be applied (see 11.3).

Gloves for use in flammable atmospheres are Category II Personal Protective Equipment and should comply in Europe with the Essential Health and Safety Requirements of EC Directive 89/686/EEC.

NOTE 1 The test procedures described in the paragraph above are suitable for end-user verification and daily checking of gloves within the glove/person/footwear system. For type qualification testing, additional product standards may apply, e.g. CEN are developing a product standard for personal protective gloves against electrostatic risks.

NOTE 2 In some cases the basis for hand protection will be prevention of exposure to toxic substances and it may not be possible to specify a glove which simultaneously meets the goals of static charge dissipation and chemical resistance. In such cases it may be necessary to provide an alternative means of earthing conductive hand-held objects.

When the intended path to earth for conductive objects or tools held in the hand is via a person wearing gloves, the electrical resistance measured through the gloves should be less than the overall resistance to earth limit. For general use the resistance to earth via the gloves should be less than 100 M Ω , and for more critical applications (e.g. handling sensitive explosives) the resistance to earth via the gloves should be less than 100 k Ω .

11.7 Other Items

Protective helmets, breathing apparatus, visors etc. made from plastics may become charged, but if they are used with care in accordance with manufacturer's recommendations, they are unlikely to present an electrostatic ignition risk in Zone 1, Zone 2, Zone 20, Zone 21 or Zone 22 areas, provided there are no high charging activities. As with clothing, there may be electrostatic ignition risks if there is a combination of high charging activities (e.g. wiping a visor) and low MIE gases or vapours present. The guidance given in Table 21 may also be interpreted for use with other items of personal protective equipment. In areas where the use of dissipative items is indicated in Table 21, personal protective equipment should be made from dissipative or conductive materials according to Table 1 and earthed via the body of the wearer. Any insulating materials used in the construction of personal protective equipment should be limited in area as indicated in Table 3.

12 Electrostatic shock

12.1 Introduction

The discharge of static electricity through a person's body can cause an electrostatic shock. The smallest discharge energy a person can feel to or from his body is about 1 mJ. As this energy is increased variations in response are observed. Some people find 10 mJ uncomfortable due to muscular contraction, whereas others can accept several hundred mJ before they experience sharp muscular contraction. 1 000 mJ, however, affects everybody severely. In incidents in which people have been rendered unconscious, the discharge energy was estimated to be several joules.

Since in most situations electrostatic discharge energies are below 100 mJ, serious physiological shocks are very rare. Irrespective of whether the shock itself is harmful, the involuntary muscular reaction resulting from the shock can cause an accident leading to injury or even death through e.g. dropping of an instrument or precipitating a fall. In addition to these hazards, the electrostatic discharge that normally precedes these shocks can also ignite flammable atmospheres.

Electrostatic shocks due to static electricity differ to some extent from other forms of electric shock in that they are of short duration (less than 1 ms), they normally involve high voltages (several or tens of kV), and safe/hazardous levels are expressed in terms of energy or charge, as opposed to current.

12.2 Discharges relevant to electrostatic shocks

Static electricity gives rise to several types of discharge and their properties are fully discussed in A.3.2 to A.3.7. The following are considered to be most relevant to electrostatic shocks to people:

- a) brush discharges can occur when a person moves close to or touches a highly charged insulator (solid or liquid);
- b) spark discharges can occur when a person makes contact with a highly charged conductive body;
- c) propagating brush discharges can occur due to, for example, a person handling plastic sheets being charged positive on one side and negative on the opposite side, or touching highly charged powders or granules inside a large plastic skip.

Electrostatic discharges are considered to be a direct hazard to health if the discharge energy exceeds 350 mJ or the charge transferred exceeds 50 μC . It follows that brush discharges or spark discharges from small isolated metal objects (funnels, cans, hand tools) do not cause electrostatic shocks which are directly harmful. But spark discharges from large objects and some propagating brush discharges can be harmful since the energies from both these types of discharge can exceed 1 J.

Discharge energies as low as a few mJ can be an indirect hazard to health due to involuntary movement. Such shocks can cause injury due to contact with moving machinery or to falls. Even minor shocks are undesirable since they can cause unnecessary anxiety and lead to loss of concentration.

12.3 Sources of electrostatic shock

Many industrial and non industrial processes can lead to electrostatic shocks. There are two scenarios defined in 1 and 2 below that describe how such electrostatic shocks can occur:

- 1a) there is a prolific source of charging; and
- 1b) the charge is able to build up on an object, normally a conductor or a conductive backed insulator; and
- 1c) a person is able to make contact with the object.

or

- 2a) there is a prolific source of charging; and
- 2b) a person gains high voltage through direct charging or induction; and
- 2c) the charged person then touches an earthed conductor.

Examples of prolific charging processes are:

- a) Belts or film passing rapidly over rollers;
- b) Pneumatic conveying of materials;

- c) Pumping low conductivity liquids through filters or other restrictions;
- d) Spraying using electrostatic spraying equipment;
- e) Filling of Type A FIBC with highly insulating powders or pellets;
- f) Escape of wet steam;
- g) Fire-extinguishers which emit charged drops or particles;
- h) Moving of forklift trucks or other vehicles on insulating surfaces or with insulating tires.

12.4 Precautions to avoid electrostatic shocks

12.4.1 Sources of electrostatic shocks

Electrostatic shocks can be due to charge built-up on a person or on isolated conductive parts or on insulating materials in a process or equipment.

12.4.2 Reported shocks from equipment or processes

Many types of equipment and processes cause electrostatic charging but it often goes unnoticed. However, reports by operatives that they are receiving shocks should always be investigated. It is likely that they are harmless, but this is not always the case; it can indicate that equipment is faulty and hazardous.

The most effective precaution that can be taken to avoid electric shocks is to earth all metal and conductive parts of machinery and plant (for details see Clause 13). However, this precaution is not always possible and, even when it is done, there can still be problems due to highly charged insulating (solid and liquid) materials.

Other precautions include:

- a) Reducing the rate of charge generation. This has limited application but the use of dissipative additives can be effective, mainly when used with liquids;
- b) Reducing charge build up on non-conductors. Static eliminators are useful for removing charge on moving film and webs;
- c) Preventing people from making contact with charged parts. This approach is useful for processes such as electrostatic spraying (see 8.7) or other processes that have highly charged parts. People can be protected from contact with such parts by using suitable insulation, earthed screens, etc;
- d) Using a flooring or floor covering material having a resistance to earth of less than 100 M Ω . People, vehicles including forklift trucks or cars in car parks can become charged when moving on a high resistance floor.

12.4.3 Shocks as a result of people being charged

People often become electrically charged, either directly (by removing a garment or walking across a carpet) or by induction (due to being close to highly charged objects). This can lead to shocks which, although not directly harmful, can be very annoying.

Typical charge generating situations are walking on high resistance flooring or rising from seats covered with certain materials. Activities such as pushing trolleys with insulating wheels can exacerbate charging of people while walking.

Shocks due to charge build-up while walking can usually be prevented by using floor coverings having a resistance to earth of less than 100 M Ω .

Direct charging of people can be reduced by wearing dissipative clothing and earthing the person e.g. through static dissipative or conductive flooring and footwear (see 11.2 and 11.3).

However, low resistance earthing ($< 100 \text{ k}\Omega$) of people should not be used generally since it can lead to more serious electric shocks, for example, when a person makes contact with a highly charged conductor or with mains electricity.

12.5 Precautions in special cases

12.5.1 Pneumatic conveying

Moving powders, granules or small objects from one place to another by blowing or sucking them through pipes often causes large amounts of charging. The material being conveyed and all parts of the conveying system, including the pipework and the containers at either end, can all become highly charged.

In addition to earthing the following precautions should be taken:

- a) A build-up of conductive objects inside an insulating pipe should be earthed before attempts are made to clear it. (A metal rod attached to an earthed conductive wire is suitable);
- b) When pneumatically conveyed conductive objects collect in an insulating container there should be an earthed contact at the base of the container or people should be prevented from touching the contents;
- c) When pneumatically conveyed insulating powder or granules collect in large ($\geq 1 \text{ m}^3$) insulating containers people should be prevented from touching the contents (see also 9.2 and 9.6).

12.5.2 Vacuum cleaners

Vacuum cleaners are similar to pneumatic conveying systems; the material that is picked up is charged as it passes through the hose assembly and collects in the system.

The following precautions should be taken:

- a) Fixed systems should be earthed and metal or conductive hoses and nozzles bonded to them;
- b) Portable systems are not normally a problem but external metal parts should be earthed, especially if they are to be used near moving machinery or on elevated platforms.

12.5.3 Reels of charged film or sheet

Film and sheet material can become charged due to passing over rollers leading to the storage of large amounts of charge on reels. Rolls of such material are best handled by machines but the following precautions should also be taken:

- a) Earth all conductive parts, especially the central former (or roller) before it is touched by a person;
- b) Use static eliminators, especially at a suitable distance after points of high friction or pressure such as nip rolls, e.g. in printing machines between presser and first roller and before entering the print region;
- c) Use dissipative materials for rolls, formers and sleeves;
- d) Use paints, inks and glues with an electric conductivity of at least $10\,000 \text{ pS/m}$;
- e) Increase relative humidity;
- f) Reduce film speed;
- g) Reduce pressure and/or friction between film and rollers;
- h) Where flammable gases or vapours are present, the maximum permissible electric field for a free span of film of at least 150 mm away from earthed contact points should be 200 kV/m . Alternatively, the maximum surface charge density should be less than $2 \text{ }\mu\text{C/m}^2$.

12.5.4 Fire extinguishers

The release of material from an extinguisher can cause large amounts of charging and the system, (or parts of it), that are not earthed can acquire a high voltage. For this reason all metal or conductive parts of fixed systems should be earthed.

Although it is possible to get shocks from portable extinguishers this is rare. On balance the advantages of using this equipment outweigh the possible shock risk.

13 Earthing and bonding

13.1 General

By far the most effective method of avoiding hazards due to static electricity is to connect all conductors to earth. This will avoid the most common problem which is the accumulation of charge on a conductor and the release of virtually all the stored energy as a single spark, to earth or to another conductor.

In industrial environments where there can be potentially flammable atmospheres, there are many conductors which, if not suitably earthed, can become charged to a hazardous level. Some of these are necessary parts of the plant or the equipment used and these include: plant structure, reaction vessels, pipes, valves, storage tanks and drums. Others are there mainly by accident, or due to carelessness; for example, lengths of redundant wire, metallic cans floating on medium or low conductivity liquids, and metal tools or pools of conductive liquid on the surface of insulating materials.

NOTE Earthing and bonding techniques are also used for electricity power supply systems and lightning protection, but the requirements are not necessarily the same. Clause 13 deals only with protection against static electricity.

Bonding is used to minimize the potential difference between conductive objects to an insignificant level, even where the resulting system is not earthed. Earthing, on the other hand, equalizes the potential difference between the objects and the earth. Examples of bonding and earthing are illustrated in Figure 4.

NOTE 1 An often-used synonym for earthing is grounding.

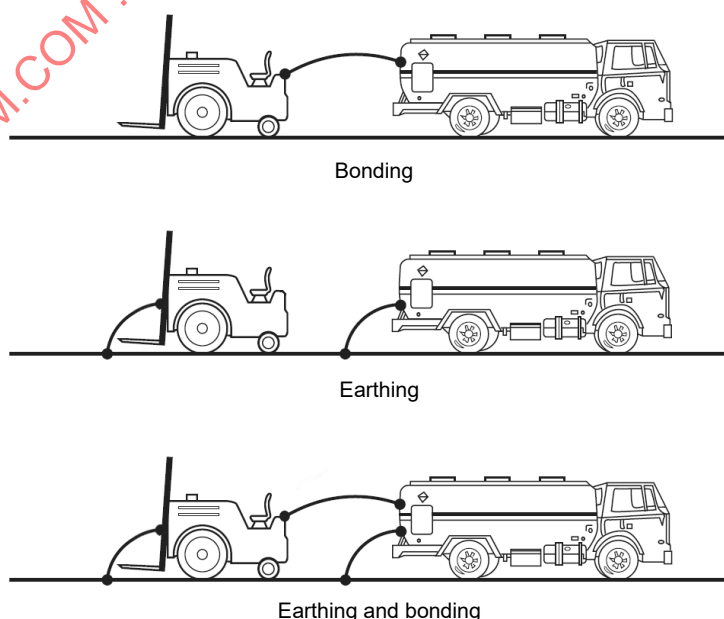


Figure 4 – Difference between earthing and bonding

A conductive object can be earthed by a direct conductive path to earth or by bonding it to another conductive object that is already connected to the earth. Some objects are inherently bonded or inherently earthed because of their contact with earth.

The total resistance between an earthed object and the ground is the sum of the individual resistances of the earth wire, its connectors, other conductive materials along the intended earthing path, and the resistance of the earth electrode (i.e. earth rod) to the ground.

Most of the resistance in an earth connection may exist between the earth electrode and the earth itself. This earth resistance is quite variable because it depends on the area of contact, the resistivity of the soil, and the amount of moisture present in the soil.

NOTE 2 Depending on their resistivity, dissipative objects may need to be earthed too. Insulating materials cannot be earthed.

13.2 Criteria for the dissipation of static electricity from a conductor

13.2.1 Basic considerations

The resistances of the electrical paths need to be sufficiently low to permit the relaxation of charge and to prevent the potential on a conductor building up a hazardous level. If this potential is V , the maximum permitted value of resistance R depends upon the rate at which the conductor is receiving charge, i.e. the charging current I . Due to this principle the total resistance to earth should not exceed an acceptable maximum given by the equation:

$$V = I R$$

An incendive discharge occurs when two conditions are satisfied:

- a) The field strength due to the potential of the conductor exceeds the breakdown strength of the atmosphere; and
- b) The energy released in the spark exceeds the minimum ignition energy of any flammable material present.

With few exceptions, earthing is intended to prevent all incendive discharges. In order to do this, it is necessary to ensure that the conductor does not achieve the potential required to initiate an incendive discharge. For typical industrial operations, this potential is at least 300 V to 1 000 V. Using 100 V as the limit for the safe dissipation of static electricity, the value of R , the total resistance to earth, can be calculated as follows:

$$R = \frac{100}{I}$$

where R is in ohms and I in amperes.

13.2.2 Practical criteria

When specifying earthing requirements each situation, i.e. each individual value of charging current I , should be taken into account. Since it is known that charging currents range from 10 pA to 100 μ A, the corresponding values of R are 10 T Ω and 1 M Ω . For the maximum value of I , a resistance to earth of 1 M Ω will ensure safe dissipation of static electricity in all situations. However, in most industrial operations I does not exceed 1 μ A and the capacitance C of an isolated conductive object does not exceed 100 pF (see examples in Table A.2). In this case a resistance to earth of 100 M Ω is adequate.

Metallic items in good contact with earth should have a resistance to it of less than 10 Ω . Although a value of up to 1 M Ω is acceptable for static dissipation, values above 10 Ω may give an early indication of developing problems (e.g. corrosion or a loose connection) and

should be investigated. It is important that all connections are reliable, permanent and not subject to deterioration.

Small conductive items, e.g. a person, are considered to be electrostatically earthed, if the time for charge relaxation is less than 0,1 s.

A clear distinction should be made between a value chosen for convenience in monitoring metal to metal connections, and the value of 1 MΩ, which is the upper limit for the resistance to earth of a conductor in all situations. What is most important, however, is that all connections are reliable, permanent and not subject to deterioration.

Movable conductive items require special earth connections which should have a resistance to earth of not more than 1 MΩ.

It is not possible to effectively earth insulating materials. For this reason other control measures are needed if these are to be used safely in areas where flammable atmosphere could be present. Refer to Clause 6 for details.

In Zone 2 and in Zone 22 areas where the risk of electrostatic generation is sufficiently low, earthing of metal components solely for the control of static electricity may not be necessary. Dissipative or conductive materials may then be used to avoid the retention of static electricity. The most appropriate maximum value for the resistance to earth from all parts of such equipment is 1 MΩ, although values up to 100 MΩ can be acceptable in most cases.

A brief review of earthing resistance recommendations is given in Table 22. A test voltage of 100 V should be used, but lower voltages may be more suitable at low resistance values.

Table 22 – Summary of maximum earthing resistances for the control of static electricity in hazardous areas

Subclause	Type of installation	Maximum resistance to earth ^{a-e}	Comments
13.3.1.1	Standard value	1 MΩ	Values up to 100 MΩ are acceptable in some cases, e.g. capacitance < 100 pF.
13.3.1.2	Large fixed metal plant (reaction vessels, powder silos, etc.)	1 MΩ	Earthing normally inherent in the structure. Special earthing could be required for items mounted on non-conductive supports.
13.3.1.3	Metal pipelines	1 MΩ	Earthing normally inherent in the structure. Special earthing connection required across joints if resistance could exceed the 1 MΩ criterion.
13.3.1.4	Movable metal items (drums, road and rail tankers, etc.)	1 MΩ	Earthing connections are normally required during filling and emptying. A 10 Ω connection between the earthing point and temporary connections to metal items is recommended for pure metal connections.
13.3.2	Metal plant with some insulating elements (valves, etc.)	1 MΩ	In special cases a limit of 100 / I Ω could be acceptable, but in general if a 1 MΩ criterion cannot be satisfied a special earthing connection should be used. Very small conductive items need not be earthed, see 6.2.3
13.3.3	Insulating items with or without isolated metal components (e.g. bolts in plastic pipeline)	No generally applicable value	The general electrostatic ignition risk and the fire hazard normally preclude the use of such materials unless it can be shown that significant charge accumulation will not occur. In the absence of charge accumulation earthing is not required in Zone 2 and in Zone 22.
13.3.4	Items fabricated from dissipative materials	1 MΩ to 100 MΩ	Materials at the border limit to insulating materials may not need to be earthed in the absence of strong charge generation processes
11.2	Floors in flammable atmosphere areas	1 MΩ to 100 MΩ	Resistance from floor surfaces to earth.

Subclause	Type of installation	Maximum resistance to earth ^{a-e}	Comments
11.3	Footwear used for earthing people in flammable atmosphere areas	100 MΩ	Resistance from hand-held metal bar to metal plate under one shoe sole.
11.3	Footwear used for earthing people in explosive device or material handling areas	1 MΩ	Resistance from hand-held metal bar to metal plate under one shoe sole. Where the minimum spark energy for ignition is ≤ 1 mJ, the maximum resistance to earth should be less than 150 kΩ.
13.3.5	Earthing of housings via intrinsic safety circuits	100 MΩ	This resistance behaves as an insulating resistance in low voltage applications.
13.3.6	Ships during loading and unloading	All metal parts bonded together	Use a single insulating flange and earth one line via the ship to the sea and the other via an earth connection at the shore.
7.8.1.3	Airplanes during refuelling	25 Ω	According to aviation rules.
7.8.3	Vehicles during refuelling	100 MΩ	Leakage resistance of the forecourt of the filling station.
		10 GΩ	Leakage resistance between filling nozzle and forecourt via one single tyre.
		1 MΩ	Leakage resistance between filling nozzle and earth via a conductive filling hose assembly. In case of electrically bonded filling hoses the border limit is 100 Ω.

^a This Table should be read in conjunction with the paragraphs indicated in the text.

^b The test method specified in the relevant subclause should be used.

^c In Zone 2 and in Zone 22 earthing is required only when charge accumulation is continuous.

^d In order to provide protection against lightning or to meet the electricity power supply earthing requirements a lower value of resistance to earth is normally required.

^e The values given in the Table should not be applied in the case of protecting electrostatic sensitive electronic devices or explosives.

13.3 Earthing requirements in practical systems

13.3.1 All-metal systems

13.3.1.1 General

The standard value for the resistance to earth is up to 1 MΩ, provided that it can be maintained. Special earthing connections are not normally required unless, for example, equipment is mounted on insulating supports, or contamination which affects the insulation could develop across a joint.

Values up to 100 MΩ are acceptable in some cases, especially when the capacitance of the conductor does not exceed 100 pF (see 13.2.2 and A.3.2).

For all-metal systems, a resistance of less than 10 Ω should usually be achieved. However, for systems using e.g. braided bonding cables, a resistance of less than 25 Ω is acceptable.

If a significantly higher value is found, further investigations should be made to check for possible problems (e.g. a loose connection or corrosion).

13.3.1.2 Main structures

The main structure of a plant and its major components, such as reactors, mills, blenders or tanks, and also items such as pipelines, are permanent metallic installations normally with bolted or welded joints. They are usually in direct contact with the electricity power supply earthing system, their resistance to earth is low and there is little risk of deteriorating to a

value above 1 M Ω . Satisfactory earthing will be achieved without special earthing connections which are recommended only when the plant design and usage make it difficult to maintain a low resistance to earth. In some plants items of equipment are not in direct electrical connection with the main structure, e.g. those mounted on flexible or vibratory mountings or on load cells. Those should have special earthing connections to ensure a good contact to earth, unless a higher prescribed resistance may be accepted (see 13.3.2).

13.3.1.3 Pipelines

A pipeline is sometimes a temporary installation and it could include lengths of insulating pipe. As a result, special earthing connections may be needed where conductive pipe sections are isolated from earth by insulating sections or fittings. For this reason, installing an insulating pipe or hose midway in a section of otherwise entirely metal piping should be avoided because it is equivalent to a break in bonding. Moreover such a pipe or hose may cause propagating brush discharges. However, sometimes an insulating flange or section of pipe may be necessary to avoid an earthing loop (see 13.3.6).

The application of bonding connectors across all joints in a metal pipeline is not generally needed and should only be used when, because of the design, there is no metal to metal contact. This may occur where insulating gaskets are used, and paint on the outside of the pipe prevents bolts making a reliable electrical contact with the pipe.

13.3.1.4 Movable metal items

There are items of equipment, such as drums, funnels and trolleys, which cannot be permanently connected to earth through the main plant structure. In many cases, their resistance to earth could be well below 1 M Ω , but this cannot be relied upon. To allow this, suitable temporary earthing connections should be used. The minimum requirement is that each item should be earthed whenever a flammable mixture could be present and, at the same time, there is a possibility of electrostatic charging, such as, for example, during the filling or emptying of a container.

Portable conductive items (e.g. trolleys equipped with conductive rollers, metal buckets etc.) are earthed through their contact with dissipative or conductive floors. However, in the presence of contaminants like dirt, or paint on the contact surface of either the floor or the object the leakage resistance to earth may increase to an unacceptable value resulting in possible hazardous electrostatic charge on the object. Where such situations are expected, the object should be earthed by an alternative means (e.g. earthing cable). A connection resistance of 10 Ω between the cable and the item to be earthed is recommended.

Earthing and bonding need to be continuous during the period that charge build-up could occur and cause electrostatic hazards. Making or breaking an earth or bond connection in the presence of an electrostatic field could cause electrostatic charging by induction, thus being hazardous. (See A.1.10).

13.3.2 Metal plant with insulating parts

A plant of metal construction always contains insulating elements which could possibly affect electrical continuity and earthing. Examples are lubricating oils and greases and a wide range of polymers such as PTFE and polyethylene which have many applications. Normally, all metal parts of the plant are earthed either directly or through suitable earthing connections and all paths to earth have low resistances, but problems could arise because of the insulating elements. As already mentioned (see 13.2.2), a resistance to earth of less than 1 M Ω is adequate for the relaxation of static electricity, and in many cases, advantage can be taken of this. An important example is the use of oils and greases for lubricating rotating shafts, stirrers, etc. Tests have shown that the resistance across a lubricating film in a bearing is unlikely to exceed 10 k Ω . This is sufficient to allow dissipation of static electricity without special earthing devices.

NOTE In some high charging processes it has been experienced that ball bearings have a reduced operating life time due to electro-corrosion. The use of conductive/dissipative grease may reduce this problem (e.g. graphite grease).

When polymers are the insulating elements, a resistance in excess of $1\text{ M}\Omega$ is almost inevitable and the only solution is to bond the isolated conductor to adjacent earthed metal components.

Examples of this situation are

- a) Ball valves with PTFE packing and seals,
- b) Pipe spacing rings isolated by PTFE coated gaskets,
- c) Isolated metal pipeline sections between plastic connectors, and
- d) Metal nozzles at the end of plastic lines.

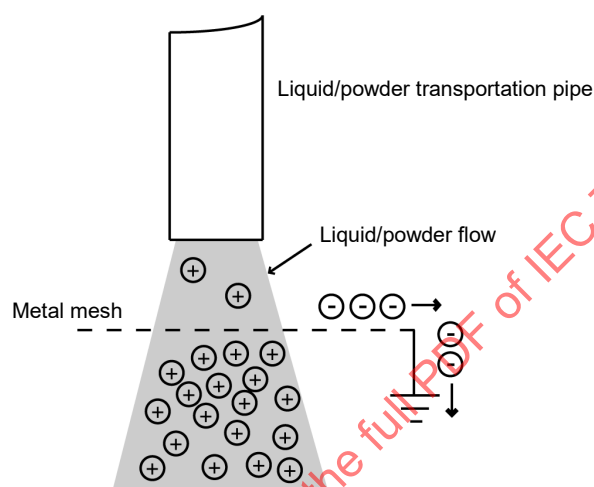


Figure 5 – Hazardous earthed conductor in contact with a flowing insulator

Putting an earthed conductor in contact with a flowing non-conductor as illustrated in Figure 5 may cause charge generation. Therefore an earth conductor should not be put into a flowing non-conductor for static dissipation purposes.

13.3.3 Insulating materials

Materials such as glass and insulating polymers are increasingly being used as major items of equipment. With those materials it is not possible to comply with the appropriate criteria for resistance to earth to avoid electrostatic hazards (see 13.2). Since those materials cannot be effectively earthed they could retain any charge they acquire for long periods.

Discharges from insulating materials are of comparatively low energy, but can be sufficient to ignite sensitive flammable mixtures. There is also the possibility of high energy sparks from conductive objects isolated from earth by these materials. Examples of these are:

- a) metal components such as connecting bolts and backing flanges in a plastic pipeline;
- b) metal mesh extending throughout some types of insulating wall cladding; and
- c) pools or layers of conductive liquid (e.g. water) on the surface of the material.

Because of their low conductivity and the general fire risk, the use of insulating materials in association with flammable mixtures or flammable liquids should be avoided whenever possible. There are, however, situations where such materials are virtually essential, even in areas from which flammable mixtures cannot be wholly excluded (for example, for handling highly corrosive liquids).

13.3.4 Conductive and dissipative materials

Materials are increasingly becoming available which combine the desirable properties of polymers, such as corrosion resistance, with a volume resistivity sufficiently low to prevent the retention of hazardous levels of charge provided that they are in contact with earth. The resistance to earth calculated according to 13.2.1 is often in the range of 10 k Ω to 100 M Ω . For general use, a maximum value of 1 M Ω is appropriate, but if it cannot be met, the calculated value is acceptable. Values above 100 M Ω are acceptable only in special circumstances, e.g. in the absence of strong charge generation mechanisms, after assessment of the hazard, and monitoring systems may be advisable to demonstrate compliance.

13.3.5 Earthing via intrinsic safety circuits

Intrinsically safe equipment or intrinsically safe plants are mostly run without earthing due to plant process requirements. However, the conductive or dissipative housings of such equipment have to be electrostatically earthed in hazardous areas. In these cases a resistance to earth less than 100 M Ω is required to sufficiently earth the housing and maintain the currents at a safe level even in electrical equipment whose connections may not directly be connected to earth.

13.3.6 Earthing of ships

When loading or unloading flammable liquids from ships, electrostatic charge and explosive atmospheres may be generated simultaneously. For this reason care should be taken to ensure that all metal parts of the discharge line are at the same potential. On the other hand, the cathodic corrosion protection system of ships and the electrical equipment at the harbour, e.g. electric locomotives, produce stray currents which create a strong spark when connecting metal lines from ship and shore together. For this reason the ISGOTT recommends an insulating flange (insulating resistance ≥ 1 k Ω) or a single discontinuous hose assembly to be used in the hose string from ship to shore and an independent earthing of both conductive parts of the line via the ship and the shore. This method suppresses incendive sparks created by the stray currents when connecting the lines in possibly explosive atmospheres, and all parts of the line are maintained at the same electrical potential. However, care should be taken to ensure that there is no isolated conductor between the ship and the shore through, for example, the use of two insulating flanges in one line. For this reason, an upper limit of 100 M Ω would be reasonable for the insulating resistance of the flange or hose assembly.

13.4 The establishment and monitoring of earthing systems

13.4.1 Design

At the design stage, the plant should be examined to identify possible electrostatic hazards and the earthing requirements should be determined using the guidance given in 13.3. Where no other form of earthing exists, it should be achieved by connections to metal rods or plates driven into, or buried in the earth. However, special earthing devices, such as bonding cables, straps or brushes, should be kept to the minimum essential. Important features in the design of earthing devices are:

- a) They should be recognised as such and be accepted as essential to the safe operation of the plant;
- b) They should either be clearly visible or be essential to the correct functioning of the plant, so that any shortcomings are quickly detected;
- c) They should be robust and so installed that they are not affected by high resistivity contamination, for example, by corrosion products or paint;
- d) They should be easy to install and to replace;
- e) Cables for earthing movable items should be equipped with a strong clip capable of penetrating through paint or rust layers. The clip should be attached before the operation

commences and should remain in place until the operation has been finished and all hazardous electrostatic charges have been eliminated.

- f) If earthing has been forgotten in an explosive atmosphere it is recommended that the isolated item is slowly approached with a corona tip or a special earth clamp with a built in resistor to safely discharge the object.

Where the bonding/earthing system is all metal, the resistance in continuous earth paths typically is less than 10 Ω . Such systems include those having multiple components. A greater resistance usually indicates that the metal path is not continuous, usually because of loose connections or corrosion. An earthing system that is acceptable for power circuits or for lightning protection is more than adequate for a static electricity earthing system.

NOTE NFPA 77 contains diagrams of various earthing devices, connections and equipment.

Where wire conductors are used, the minimum size of the bonding or earthing wire is dictated by mechanical strength, not by its current-carrying capacity. Stranded or braided wires should be used for bonding wires that will be connected and disconnected frequently. See Annex A for additional information.

Earthing conductors can be insulated (e.g., a jacketed or plastic-coated cable) or not insulated (i.e. bare) conductors. Non-insulated conductors have the advantage that defects are easier to detect. However, coated conductors may be more resistant to physical damage and corrosion.

Permanent bonding or earthing connections should be made in a way to provide low resistance during its lifetime, e.g. by brazing or welding. Temporary connections can be made using bolts, pressure-type earth clamps, or other special clamps. Pressure-type clamps should have sufficient pressure to penetrate any protective coating, rust, or spilled material to ensure contact with the base metal with an interface resistance of less than 10 Ω .

13.4.2 Monitoring

The checking of earthing as a protection against static electricity should be recognised as quite distinct from that for other reasons, such as the maintenance of earthing systems associated with electricity power supply and lightning protection installations. Checks should be made before the plant is brought into use, at each scheduled maintenance, and after any other maintenance or modification.

The basis of monitoring is the measurement of the resistances between the different parts of the plant and earth, but it is important that this should be supplemented by visual inspection. This will help to detect any incipient malfunction of the earthing devices, and to minimise the risk of modifications leading to the disconnection of a conductor.

The monitoring system should be capable, not only of monitoring resistances, but also of drawing attention to any changes in resistance.

Annex A (informative)

Fundamentals of static electricity

A.1 Electrostatic charging

A.1.1 Introduction

The primary source of electrostatic charge is contact charging (electrification). If two previously uncharged substances come into contact, charge transfer will generally occur at their common boundary. On separation, each surface will carry an equal charge but of opposite polarity. Conductive objects can become charged by induction if they reside in an electric field produced by other charged objects, or by conductors at high potential in the vicinity. Any object can also become charged if charged particles or ionised molecules accumulate on them.

A.1.2 Contact charging

Contact charging can occur at solid/solid, liquid/liquid or solid/liquid interfaces. Gases cannot be charged in this way, but if a gas has solid particles or liquid droplets in suspension, those could be charged by contact so that such a gas can carry an electrostatic charge. Frozen water in air or frozen gases (e.g. carbon dioxide) caused by adiabatic expansion by the release of highly pressurized gases experience contact charging.

In the case of dissimilar solids initially uncharged and normally at earth potential, a small amount of charge is transferred from one material to the other when they make contact. The two materials are therefore oppositely charged and consequently there is an electric field between them. If the materials are then separated, work has to be done to overcome the attraction between the opposing charges and the potential difference between them, therefore, increases linearly with distance. This higher potential difference tends to drive charge back to any point of residual contact. In the case of two conductors the recombination of charges is virtually complete and no significant amount of charge remains on either material after separation.

If one, or both, of the materials is a non-conductor, the recombination cannot take place completely and the separating materials retain part of their charge. Because the distance between the charges when in contact is extremely small the potential generated on separation can easily reach many kilovolts despite the small amount of charge involved. For practical surfaces which are rough, the charging is enhanced if the contact and separation involves rubbing, since the area of real contact is increased.

A.1.3 Contact charging of liquids

Contact charging in liquids is essentially the same process but it can depend on the presence of ions or sub-microscopic charged particles. Ions (or particles) of one polarity could be adsorbed at the interface and they then attract ions of opposite polarity which form a diffuse layer of charge in the liquid, close to the interface. If the liquid is then moved relative to the interface, it carries away some of this diffuse layer, thereby bringing about separation of the opposing charges. Typical examples are the flow of a liquid past a solid wall (e.g. pipe, pump, filter), the stirring or agitation and the spraying or atomisation of a liquid. If the liquid contains a second immiscible phase in the form of suspended fine solids or finely dispersed liquids or air bubbles, the charging is greatly enhanced because of the large increase of the interfacial area.

As in the case of solids, a high voltage is generated because of the work done to bring about separation, provided that the liquid is sufficiently insulating to prevent recombination. Such processes can occur at both solid/liquid and liquid/liquid interfaces.

A hazardous level of charging is encountered mainly with liquids of low electrical conductivity. Due to the fast charge separation process, however, spraying of liquids could create a highly charged mist or spray, irrespective of the conductivity of the liquid.

Although high conductivity liquids usually charge only very little there exist highly chargeable conductive liquids, especially some organic acetates, ethers and higher ketones which may need extra safety measures. Such liquids include ethyl acetate and isopropyl acetate, but not acetone.

Biofuels are dealt with in C.8.

A.1.4 Charge generation on liquids flowing in pipes

A.1.4.1 Pipes of fixed diameter

When a liquid flows through a pipe, charge separation occurs resulting in charging of the liquid and an equal and opposite charging of the wall (wall charges are immediately dissipated if the pipe is conductive and earthed). Turbulent flow generates more charge than laminar flow. Since the flow in industrial installations is usually turbulent, only the more severe turbulent case is considered here. For turbulent flow the electrical streaming current generated in a long pipe is roughly proportional to the square of the velocity.

NOTE The streaming current is directly proportional to the velocity for laminar flow.

If the liquid enters the pipe uncharged, the charge density and hence the streaming current carried by the liquid will increase as it moves along the pipe and will gradually approach a stationary value, provided the pipe is sufficiently long. For most low conductivity liquids, in particular saturated hydrocarbon liquids, the stationary value of charge density ρ_{∞} does not depend greatly on the conductivity or permittivity of the liquid and is approximately proportional to the flow velocity, v , divided by the pipe diameter, d :

$$\rho_{\infty} \approx K v/d$$

where K is a constant with dimensions $C s m^{-3}$.

NOTE Other expressions have previously been suggested and $\rho_{\infty} \approx K v$ (Schön's Law) is historically used more frequently than the expression proposed above and leads to the expression of flow limitations as vd limits. However $\rho_{\infty} \approx K v/d$ seems to give a better match to reported measurements (Walmsley and Mills 1992, Britton and Smith 2012), is closer to theoretical expressions for pipe charging (Koszman and Gavis 1962, Walmsley 1982) and, by suitable choice of the constant, K , can be made to give the same currents for well explored conditions. The highest Schön constant was derived from measurements on relatively small diameter pipes (≤ 50 mm) and overestimates the highest currents measured in larger (e.g. 100 mm) pipes. When this data is matched to the above expression, the inverse diameter dependence gives lower charging in large pipes and fits the large pipe data better.

Various values have been proposed for K . A value of $1,0 \mu C s m^{-3}$ seems to be a reasonable value for most hydrocarbons although higher values may be needed for other, less documented, liquid types or where pro-charging additives are present. A value of $1,6 \mu C s m^{-3}$ covers all reported charging levels in normal piping.

For the practical range of velocities and pipe diameters ($v = 1$ m/s to 10 m/s, $d = 0,025$ m to 0,2 m) this gives charge densities between $5 \mu C/m^3$ and $400 \mu C/m^3$.

For practical purposes the pipe can be considered to be of infinite length, if

$$L \geq 3 v \tau \text{ with } \tau = \epsilon_r \epsilon_0 / \gamma$$

where

L is the length of the pipe (in m);

- τ is the relaxation time of the liquid (in s);
 ε_r is the relative permittivity of the liquid ($\varepsilon_r \sim 2$ for hydrocarbons);
 ε_0 is the permittivity of free space ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m);
 γ is the electrical conductivity of the liquid (in S/m)

There is evidence that the charge density generated by pipe flow is proportional to conductivity below a fuel-dependent conductivity threshold. Thus the highest charge densities are not found down to the lowest conductivities. The conductivity threshold for this behaviour seems to vary inversely with viscosity. For example, Hearn (2002) and Walmsley (2011) reported gasoline charging proportional to conductivity at conductivities up to 50 pS/m and ~200 pS/m respectively, whilst the data of Walmsley and Mills (1992) for diesel, which has approximately ten times the viscosity of gasoline, shows charge densities proportional to conductivity up to about 7 pS/m, and luboils, which have still higher viscosities, can give high charging down to very low conductivities (see 7.4). For fuels and solvents with viscosities no higher than that of automotive diesel it is, therefore, reasonable to assume that charging will start to decline at a conductivity of 3 pS/m as a worst case value.

NOTE This allows a margin below the diesel data cited above; for low viscosity liquids such as gasoline this margin may be large.

High viscosity liquids, such as luboils, are a special case and are considered separately in 7.4. For these liquids, the fall-off is expected to occur at very low conductivity. Consequently, the reduction in current below 3 pS/m should not be assumed to apply to any liquid more viscous than automotive diesel.

While the use of insulating pipes is not generally recommended, they are used for some specific duties. Very little published data is available for charging by liquid flow in insulating pipes or hoses. However for low conductivity liquids, $< 25 \varepsilon_r$ pS/m, flowing through insulating pipes, the streaming currents appear to be similar to those produced in conductive pipes and the charge density for an infinitely long pipe can be estimated from the same expression as for conductive pipes.

When liquids containing a second immiscible phase such as dispersed liquids or suspended solids are pumped through pipes, the rate of charge generation is much greater than with a single phase. Due to the large number of influential factors, however, the level of charge generation is not predictable.

A.1.4.2 Pipe with multiple sections of different diameter

If the pipe leading to a tank changes diameter along its length so that there are N segments each with a different diameter then, assuming exponential (Ohm's Law) relaxation behaviour, the contribution from segment j to the tank inlet charge density is:

$$\rho_j = K(v_j/d_j^n)[1-\exp(-L_j/v_j\tau)]\exp(-t_{resj}/\tau)$$

where v_j , d_j and L_j are the flow velocity, diameter and length for segment j , t_{resj} is the residence time between the downstream end of segment j and the tank and τ is the relaxation time of the liquid. The power n , allows for either the recommended analysis ($n = 1$, charge density proportional to v/d) or a Schön's law analysis ($n = 0$, charge density proportional to v). The Schön's law analysis is not generally recommended but is still needed where vd limits are used.

In the case of $t_{resj} > 3\tau$ very little of the charge from segment j remains at the tank inlet so segments more than 3τ upstream of the tank can be ignored. This, with allowance for a maximum effective relaxation time of 10 s due to hyperbolic relaxation, leads to the definition of the relaxation region used in 7.3.2.3.5.2.

The total inlet charge density at the tank is the sum of all the segment contributions within the relaxation region, that is:

$$\rho = \sum_{j=1}^N \rho_j = K \sum_{j=1}^N (v_j/d_j^n) [1 - \exp(-L_j/v_j\tau)] \exp(-t_{res}/\tau)$$

This expression is cumbersome for practical use and is therefore simplified by ignoring the exponential terms and applying the charging in the worst-case ("critical") segment to the whole line. Both of these simplifications increase the estimated charge density above the real value and therefore add a safety margin as well as simplifying the estimation process.

Without the exponential terms, the simplified contribution from segment j is:

$$\rho = K(v_j/d_j^n) = (4K/\pi)(F_T/d_j^{n+2})$$

where F_T is the volumetric flow rate to the tank. This shows that the worst-case (critical) segment is the one with the smallest diameter. Applying the charge density for the critical segment to the whole line, the estimated charge density at the tank inlet is:

$$\rho = (4K/\pi)(F_T/d_w^{n+2}) = kV_w/d_w^{n+2}$$

where w indicates the worst case (smallest diameter) segment. The corresponding streaming current at the tank inlet is:

$$I = (\pi K/4) v_w^2 d_w^{2-n}$$

A.1.4.3 Branched pipeline with multiple sections of different diameter

A branched pipeline is one in which a single upstream section splits, in one or more stages, into multiple downstream sections each of which feeds an individual tank. With this arrangement, the calculation of the contribution from a particular segment to the inlet charge density of a particular tank is slightly more complex as the flow rate can be higher in the upstream segments when multiple tanks are being filled simultaneously.

In this case the simplified contribution of segment j to the inlet charge density is still

$$\rho = kV_j/d_j^n$$

and the critical segment is still the one with the highest value of v_j/d_j^n but now the velocity v_j must be calculated from F_s , which is the highest possible flow rate through the segment when multiple tanks are being filled simultaneously rather than from F_T , the flow rate to the individual tank being assessed.

The worst-case contribution of an upstream segment to the streaming current at the tank inlet is then:

$$I = (\pi K/4) v_w^2 d_w^{2-n} / N_s$$

where $N_s = F_s/F_T$ is the ratio of the maximum possible flow rate in the pipe segment to the flow rate into the tank being assessed. Thus the maximum velocity or vd limit (based on $n=0$ in the case of the vd limit) that can be accepted in a critical pipe segment that feeds several tanks simultaneously is increased by a factor $N_s^{1/2}$ from the standard (unbranched line) value established for the tank.

A.1.5 Charge generation in filters

Filters in a pipe line can be prolific charge generators. Whilst coarse filters cause a charge generation similar to that encountered in pipe flow, very fine micronic filters can exceed the charge generation in pipe flow by orders of magnitude.

The charge densities produced by fine filters can remain high at conductivities below 1 pS/m. This is unlike charging in pipeline flow. Charge arriving at a tank from a filter may, therefore, have a large charge density and very long relaxation time, resulting in unusually high potentials. It is therefore important to locate fine filters in an adequate distance upstream of tanks so that the residence time provided in the downstream pipe and/or relaxation tank is at least 3 relaxation times, allowing charge to dissipate to safe levels. Depending on the fineness of the filter a default residence time of 30 s or 100 s is used to approximate the worst practical case (see 7.5).

A.1.6 Charge generation during stirring and mixing of liquids

Stirring and mixing processes create a relative motion between the liquids and solid surfaces in contact. The resultant charge generation is usually moderate providing that the liquid does not contain a second immiscible phase. Stirred liquids with dispersed liquids or suspended solids, however are prone to an extremely high charge generation if the continuous phase has a low conductivity.

A.1.7 Settling potentials

The settling of solid particles or liquid droplets suspended in a low conductivity liquid can lead to charge separation thus creating a potential differential across the liquid in the direction of the gravity force. In large tanks, e.g. after a mixture of water and oil has been pumped into the tank or the water bottom has been stirred up, the resultant settling potential could constitute an ignition hazard. Aeration of the liquid, such as rising bubbles, is also able to stir up water bottoms or other deposits and may, therefore, increase the electric fields in tank.

A.1.8 Breakup of liquid jets

The disintegration of a liquid jet into small droplets, e.g. when the jet hits an obstruction during tank cleaning, can produce a highly charged spray or mist, irrespective of the conductivity of the liquid. In general, the more conductive the liquid, the greater the charge generation. For example, a water jet produces more charge than an oil jet, but water/oil mixtures can produce more charge than either water or oil.

A.1.9 Contact charging of powders

The charge carried by a unit mass of powder (charge to mass ratio) is usually the important parameter in considering the level of charge accumulation on powders. For medium resistivity and insulating powders (see definitions in 9.1), typical values are between 10 pC/kg and 1 mC/kg and the value depends mainly on the process itself (speed of separation after contact), on the fineness of the powder (specific surface area) and on its chemical composition including contaminations (resistivity and relative permittivity). Table A.1 gives measured data on the charge levels on medium resistivity powders emerging from different processes.

Table A.1 – Charge build up on powders

Operation	Mass charge density ($\mu\text{C kg}^{-1}$)
Triboelectrical powder coating	10 000 to 1 000
Pneumatic conveying	1 000 to 0,1
Micronising	100 to 0,1
Grinding	1 to 0,1
Scroll feed transfer	1 to 0,01
Pouring	1 to 0,001
Sieving	0,001 to 0,000 01

A.1.10 Charging by induction

There is an electric field around any charged object. A conductor introduced into this field changes the distribution of potential in the field in its vicinity and causes separation of opposing charges within the conductor. If it is isolated from earth, the conductor takes up a potential dependent upon its position in the field and is said to be charged by induction. By virtue of its potential, coupled with the separated charges that it carries, the conductor can produce electrostatic sparks.

If an isolated conductor is momentarily earthed while it is in an electric field, a spark discharge occurs. This spark reduces the potential of the conductor to zero but it acquires a net charge to cause this reduction. This remaining charge can cause a second spark when the isolated conductor is removed from the vicinity of the original charged object. This type of induction sparking can be hazardous, for example, when an isolated person moves about near electrostatically charged materials.

A.1.11 Charge transfer by conduction

Whenever a charged object touches one that is uncharged, the charge is shared between them. This can be a potent source of electrostatic charging and examples of it are charged sprays, mists or dusts impinging or settling on solid objects. A similar transfer of charge can also take place when a stream of gaseous ions collects on an initially uncharged object.

A.1.12 Charging by corona discharge

A method for charging objects is spraying electrons from a metal tip which is at high negative potential of some tens of kilovolts. This charging mechanism can also happen accidentally, e.g. from high-voltage tips of electrostatic spraying equipment or from corona needles of a Type D FIBC.

A.2 Accumulation of electrostatic charge**A.2.1 General**

After separation during the charging process electrostatic charges can quickly recombine, either directly by contact or via the earth. Charge on an insulating object is retained because of the resistance of the material itself. But for a conductor to remain charged it has to be isolated from other conductors and from earth.

Under normal conditions, pure gases are insulators and the charge on suspended particles in clouds of dust, mist or spray can often remain for long periods, irrespective of the conductivity of the particles themselves.

In all cases the charge leaks away at a rate determined by the resistances of the non-conductors in the system; the process is known as relaxation. The levels of resistance, resistivity or conductivity which can lead to hazardous situations depend greatly upon the industrial process and this will be discussed later.

In many processes there is continuous generation of charge that accumulates on an isolated conductor. For example, when a stream of charged liquid or powder flows into an isolated metal container, the potential on the isolated conductor is the result of a balance between the rate of input of charge and the rate of leakage. The equivalent electrical circuit is shown in Figure A.1 and the potential of the conductor is given by the equation:

$$V = I R \{1 - \exp (- t / R C)\}$$

where:

- V is the potential of the conductor in volts;
- C is its capacitance in farads;
- R is the leakage resistance to earth in ohms;
- I is the electrostatic charging current in amperes;
- t is the time from the commencement of charging in seconds.

The maximum potential $V_{\max}$ is reached when t is large and is therefore:

$$V_{\max} = I R$$

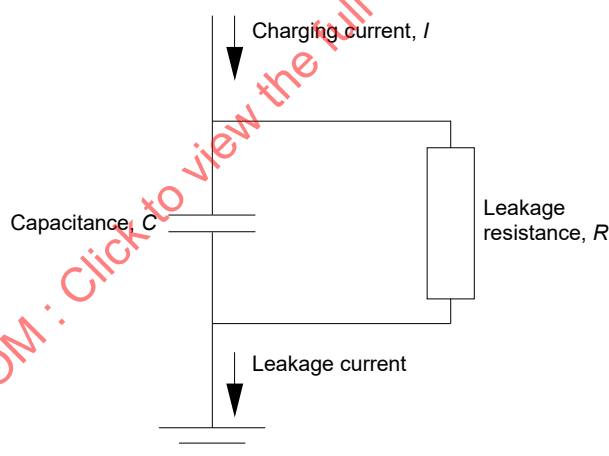


Figure A.1 – Equivalent electrical circuit for an electrostatically charged conductor

The leakage resistance and the capacitance of an isolated conductor can often be measured and this can be used to establish if hazardous levels of charges can accumulate. However, this assessment cannot be carried out for dusts and mists suspended in air.

A.2.2 Charge accumulation on liquids

Charge accumulation in a liquid is determined by the two opposing effects of charge generation and charge relaxation.

Charge relaxation in a container of liquid is governed by its electrical conductivity. In the absence of charge generation, the charge density in the liquid decays according to an exponential law of relaxation with the characteristic relaxation time:

$$\tau = \varepsilon_r \varepsilon_0 / \gamma$$

where:

- τ is the relaxation time;
- ε_r is the relative permittivity of the liquid (about 2 for saturated hydrocarbon liquids);
- ε_0 is the permittivity of free space ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m);
- γ is the electrical conductivity of the liquid

Exponential relaxation means that within the relaxation time the charge decays to about 37 % (more precisely: to $1/e$, where e is the base of natural logarithms) of its original value. For example, for a hydrocarbon liquid with a conductivity of $\gamma = 1$ pS/m (10^{-12} S/m) the relaxation time is $\tau = 18$ s. The time for the charge to decay to 50 % of its original value is $0,7 \tau = 13$ s.

The conductivity of a very low conductivity liquid is significantly higher when the liquid has a high charge density than when it is uncharged. This leads to what is known as "hyperbolic relaxation". It results in charge being dissipated more rapidly from liquids of very low conductivity and high charge density than would be expected on the basis of the calculation above.

This has a beneficial effect: it means that, irrespective of conductivity or very high charge densities, residence times of 100 s are sufficient to reduce the charge density in receiving tanks downstream of fine filters to the level encountered in pipe flow.

Conductivities of liquids are classified as high ($\gamma > 10\,000$ pS/m), medium (100 pS/m $< \gamma < 10\,000$ pS/m) or low ($\gamma < 100$ pS/m). In the case of hydrocarbons 50 pS/m is used as border limit for low conductivity (see 7.1.4). The conductivities and relaxation times for a number of liquids are given in Table 7.

Hazardous levels of charge accumulation are associated mainly with low conductivity liquids. Such levels can also occur with medium conductivity liquids when the charging rate is high, e.g. high flow velocities or stirring certain suspensions (see 7.7 and 7.9). Hazardous levels are virtually unknown with high conductivity liquids providing that the liquids are earthed.

Suspensions of charged droplets in mists and sprays retain their charge because the surrounding atmosphere is highly insulating. Charge relaxation is not by electrical conduction but by processes such as: settling or impingement of the droplets on the tank structure; and, at high charge density levels, corona from protrusions in the tank. For these reasons charge relaxation in charged mists is usually slow, irrespective of the conductivity of the liquid.

A.2.3 Charge accumulation on powders

If the volume resistivity of the powder in bulk is high, charge could be retained on powder even if it is in an earthed container or in contact with earthed metal. The time taken for the charge to decay to $1/e$ of its original value (where e is 2,718) is known as the relaxation time. It is given by the equation:

$$\tau = S \varepsilon_r \varepsilon_0$$

where:

- ε_r is the relative permittivity of the powder;
- ε_0 is the permittivity of free space ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m);
- S is the volume resistivity of the powder

A volume resistivity of 10 G Ω m and a relative permittivity of 2 gives a relaxation time of approximately 0,2 s. This means that after 0,2 s about two thirds of the charge has been released from the bulked powder to earth.

Because air is very highly insulating, charge decay for a powder in suspension in air (dust cloud) is not influenced by the volume resistivity of the powder. The charge remains on the powder particles until they interact with each other or with the equipment. In those circumstances, charge decay is mainly affected by particle movement caused by air drift, gravity and space charge fields.

For both powder in bulk and powder in suspension in air, charge levels are limited by the onset of discharges. These will occur when the electric field, which is highest at the boundary of the heap or the dust cloud, reaches the dielectric strength of air, 3 MV/m.

A.3 Electrostatic discharges

A.3.1 Introduction

Charge on a liquid or on a solid creates a hazard only if it is discharged to another body or, more usually, to earth. These discharges vary greatly in type and incendiarity. They are described in A.3.2 to A.3.7.

A.3.2 Sparks

A spark is a discharge between two conductors, liquid or solid. It is characterised by a well defined luminous discharge channel carrying a high density current. Ionisation of gas in the channel is complete over its whole length. The discharge is very rapid and gives rise to a sharp crack.

A spark occurs between conductors when the field strength between them exceeds the electric strength of the atmosphere. The potential difference between the conductors necessary to cause breakdown depends upon both the shape and the distance between the conductors. As a guide, the breakdown strength for flat or large radius surfaces 10 mm or more apart is about 3 MVm⁻¹ in normal air and it increases as the gap decreases.

Because the objects between which the spark passes are conductors, most of the stored charge passes through the spark. In most practical cases, that dissipates most of the stored energy. The energy of a spark between a conductive body and a conductive earthed object can be calculated using the equation below:

$$W = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} C V^2$$

where:

W is the energy dissipated in joules;

Q is the quantity of charge on the conductor in coulombs;

V is its potential in volts;

C is its capacitance in farads.

This is the maximum value of energy and the energy in the spark is less if there is resistance in the discharge path to earth. Typical values for the capacitances of conductors are given in Table A.2.

Table A.2 – Values of capacitances for typical conductors

Object	Capacitance pF ^a
Small metal items (scoop, hose nozzle)	10 to 20
Small containers (bucket, 50 l drum)	10 to 100
Medium containers (250 l to 500 l)	50 to 300
Major plant items (reaction vessels) immediately surrounded by earthed structure	100 to 1 000
Human body	100 to 200
^a 1 pF = 1 × 10 ⁻¹² F	

An example of a calculation of spark discharge energy is as follows:

An unearthed metal drum is filled with powder from a grinding unit. In such a situation the charging current, I , can be 100 nA; the leakage resistance of the drum to earth R , 100 GΩ; and its capacitance C , 50 pF. The maximum voltage on the drum is then:

$$V_{\max} = I R = 10 \text{ kV}$$

and the maximum energy released in a spark discharge would be

$$W_{\max} = \frac{1}{2} C V_{\max}^2 = 2,5 \text{ mJ}$$

A.3.3 Corona

This type of discharge occurs at the sharp points or edges of conductors, i.e. surfaces with a small radius of curvature. They can occur when such a conductor is earthed and moved towards a highly charged object or, alternatively, if the conductor is raised to a high potential. The discharge arises due to the fact that the electric field at the sharp surface is very high (above 3 MV/m). Since the field away from the surface drops off rapidly the region of ionisation does not extend far from it. It can be directed towards the charged object or, in the case of a high potential conductor, it can simply be directed away from the conductor.

Corona discharges are difficult to see but under subdued lighting a glow can be seen adjacent to the point. Outside this ionised region ions can drift away, their polarity being dependent on the field direction. The energy density in the discharge is much less than in a spark and for this reason corona discharges are not normally incendiary. However, in certain circumstances, for example, if there is an increase in the potential of the pointed conductor, corona can develop into a spark between it and another object.

A.3.4 Brush discharges

These discharges can occur when rounded (as opposed to sharp) earthed conductors are moved towards charged insulating objects, for example, between a person's finger and a plastic surface, or between a grounded metal protrusion and the surface of liquid in a tank.

They are short duration events which, under suitable circumstances, can be seen and heard. Unlike spark discharges they tend to involve only a small fraction of the charge associated with the system and the discharge does not link the two objects. In spite of this, brush discharges can ignite most flammable gases, vapours and hybrid mixtures. The present state of knowledge indicates however, that independent of their MIE combustible powders cannot be ignited by brush discharges, providing there are no flammable gases or vapours.

Experiments have shown that brush discharges are capable of igniting gas atmospheres with MIEs up to 3,6 mJ when transforming them into spark discharges through gases. These

experiments, however, don't give any information concerning the incendivity of brush discharges for dust.

NOTE Brush discharges show a significantly different energy distribution in space and time compared to spark discharges. This results in differences in their incendivity towards gases and vapours compared to dusts.

A.3.5 Propagating brush discharges

For this type of discharge it is necessary to have a sheet (or layer) of a material of high resistivity and high dielectric strength with the two surfaces highly charged (high surface charge density) but of opposite polarity.

The discharge is initiated by an electrical connection (short circuit) between the two surfaces. It often has a bright tree-like structure and is accompanied by a loud crack. The bipolar charged sheet can be in "free space" or, as is more normal, have one surface in intimate contact with a conductive material (normally earthed).

The short circuit can be achieved:

- a) By piercing the surface (mechanically or by an electrical break through);
- b) By approaching both surfaces simultaneously with two electrodes electrically connected; or
- c) When one of the surfaces is earthed, by touching the other surface with an earthed conductor.

The discharge collects most of the distributed charges from the insulating surface and channels them to where the short circuit takes place. The conditions necessary for this type of discharge can be difficult to achieve, particularly for thick sheets. In most circumstances, a thickness of more than 10 mm is sufficient to prevent propagating brush discharges. For sheets thinner than that value, a surface charge density of at least 250 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ is required.

A further requirement is that the breakdown voltage through the charged sheet needs to be more than 4 kV for even surfaces like films, webs and sheets and 6 kV for fabrics. This means that charge on layers of paint does not normally give rise to propagating brush discharges.

NOTE Thick layers of woven or porous materials can withstand voltages greater than 4 kV but are unable to give rise to propagating brush discharges unless they incorporate a layer of impervious material, i.e. one able to withstand voltages greater than 4 kV.

The energy released in such discharges can be high (1 J or more); it depends on the area, thickness and surface charge density of the charged sheet. The discharges can ignite explosive gas, vapour and dust atmospheres.

A.3.6 Lightning like discharges

In principle lightning like discharges can occur within charged clouds or from such clouds to earth when the field strength due to the charged particles is high enough. Such lightning like discharges have been observed in large ash clouds during the eruption of volcanoes. They are obviously capable of igniting flammable atmospheres, but they have never been observed in charged clouds of the size encountered in industrial operations.

According to experimental investigations such discharges are unlikely to occur in silos of volume less than 100 m^3 or in silos of diameter less than 3 m and of any height. Those dimensions are not necessarily the upper safe limits, they are based solely on the size of the equipment in the above mentioned investigations. In addition, no lightning-like discharges have been observed during the washing of ship's tanks of up to 30 000 m^3 in volume.

Such discharges are unlikely to occur in larger silos or containers providing that averaging field strengths remain below 500 kV/m.

A.3.7 Cone discharges

When highly charged insulating powder is filled into silos or large containers it generates a region of very high space charge density within the heap of bulked powder. This leads to high electrical fields at the top of the heap. Under those circumstances large discharges running (radially, in the case of cylindrical containers) along the surface have been observed.

The conditions necessary for this type of discharges are complex; the influencing factors are resistivity of bulked powder, charging current, volume and geometry of bulked powder and particle size. It has been reported that atmospheres of flammable gases and vapours as well as atmospheres of sensitive combustible powders can be ignited by this type of discharge.

Based on extensive experiments performed in earthed conductive silos the energy released in such discharges depends on the silo diameter and the particle size (mass median) of the products forming the powder heap. For silos with diameters in the range 0,5 m to 3,0 m and powders with a median range of 0,1 mm to 3,0 mm, the maximum energy released in cone discharges can be estimated using the numerical formula:

$$W = 5,22 \times D^{3,36} \times d^{1,46}$$

where:

W is the upper limit of the energy of the cone discharge in millijoules;

D is the diameter of the earthed conductive silo in metres;

d is the mass median of the particle size distribution of the powder forming the cone in millimetres.

For silos with diameters larger than 3 m and powders with a median larger than 3 mm the application of the above formula is not validated by measurements or experiments. Based on practical evidence the ignition efficiency is lower and therefore the equivalent energy of cone discharges is also lower than indicated by the above formula above these limits. Expert advice is recommended under these circumstances.

As follows from the above formula, cone discharges formed from coarse powder are of much higher energy than those from fine powder. Thus the most hazardous situation is when highly insulating granules are handled together with fine powder (fines) forming a dust cloud of low MIE.

In case of silos made from insulating material twice the diameter should be used in the above formula for the calculation of the equivalent energy of cone discharges. This recommendation is not based on experimental data but on the fact that – in contrast to an earthed conductive silo, where the highest potential is usually at the central axis – the silo wall is not at zero potential. If one side is forced to be at zero potential, the opposite side may have the highest potential and consequently the cone discharge may jump over the whole diameter and thus collect much more charges than in a conductive silo of similar dimensions.

A.4 Measurements for risk assessment

Measurements are often necessary for the identification of static electricity hazards and the assessment of ignition risks. In addition, they can verify whether precautions, which have been implemented against the hazards, work well. Computer modelling of potential and electrical field distribution based on the measurement of resistances, charge to mass and / or space charge densities may be very helpful in risk assessments when handling liquids or powders.

General methods for measuring electrostatic phenomena (charge, charge density, potential, electric field, chargeability, charge decay, current, and capacitance) and related properties of materials (resistivity and electrical strength) for a risk assessment have been described in IEC 61340-1. Measurement of transferred charges is described in IEC 60079-0:2007, 26.14.

NOTE It is scheduled to revise this method and move it to IEC 60079-32-2⁸.

Another common practice is surface voltage measurement with a noncontact electrostatic voltmeter or field meter in order to locate a hazardous charge on a conductor or a non-conductor. The ignition risk associated with the measured values should be evaluated by comparing with the recommended safety levels in this document. In on-site measurements, care should be taken before introducing an earthed instrument into highly charged environment to avoid causing a discharge and the ignition risk should separately be assessed for such measurements.

Assessment of earthing and bonding should be conducted with a measurement of resistance either to ground or between bonded items. Resistance measurements can be used to check electrical connections that are prone to corrosion, movement, bonding clamps, insulating coatings, etc. For testing the earthing of personnel, methods of resistance measurements for floors and footwear are provided in IEC 61340-4-1 and 61340-4-3.

Appropriate procedures for the measurements of electrostatic properties of materials, such as resistivity (conductivity) and electrical strength, are given in the following standards:

- a) For resistivity and conductivity of solid materials: IEC 60093, IEC 60167 and IEC 61340-2-3. Alternative national standards include ASTM D257, BS 7506-2, JNIO SH TR 42, and DIN 54345-5.
- b) For liquid conductivity: ISO 6297. Alternative national standards include ASTM D2624-07a, ASTM D4308-95, JNIO SH TR 42, DIN 51412-1, and DIN 51412-2.
- c) For powder resistivity: IEC 61241-2-2. Alternative national standards include JNIO SH TR 42.
- d) For electrical breakdown strength: IEC 60243-1 and IEC 60243-2.

NOTE A comprehensive summary of all these test methods is given in IEC 60079-32-2⁸.

Care should be taken as the measured resistance and resistivity depend on the electrode configuration. For example, the surface resistance measured with the electrode configuration described in the Note to 3.21 is ten times lower than the surface resistivity.

Minimum ignition energies and flammable limits of materials used should be measured by a specialist under practical conditions to evaluate their potential as an ignitable atmosphere. Related standard test methods are ASTM E582-88 for gases, IEC 61241-2-3, ASTM E2019-03 and EN 13821 for dusts.

⁸ To be published.

Annex B (informative)

Electrostatic discharges in specific situations

B.1 Incendive discharges involving insulating solid materials

B.1.1 General

Insulating materials can give rise to various types of discharge either directly from their surfaces or by isolating conductive parts and enabling them to become charged.

B.1.2 Sparks from isolated conductors

The use of insulating materials can isolate metal plant components or other conductive objects from earth. By being close to charged material, such conductors can become charged by induction, charge sharing or by collecting sprayed charge or charged particles. These conductors can acquire a large amount of charge and energy and can store it for a long time. Most of that energy can eventually be released as an incendive spark to earth.

For this reason it is important to avoid having isolated conductors; they should be bonded together and earthed (see Clause 13).

B.1.3 Brush discharges from insulating solid materials

Brush discharges can occur when earthed conductive objects approach highly charged insulating materials. Such materials, normally plastics, are very common and they are used extensively in industry. Examples are buckets, pipes, scoops, bags and all types of containers, belts, floor and wall coverings, instrument containers and many constructional materials. Those can become charged in many ways: by being handled; by being rubbed; by having materials poured in, through, or out of them; and by collecting charged particles on their surfaces.

The incendivity of brush discharges depends on a number of parameters, in particular on the size of the charged area, but it is virtually independent of the type of the charged material. It is, however, well known that brush discharges are capable of igniting gas mixtures with MIEs below about 4 mJ. The present state of knowledge indicates however, that independent of their MIE combustible powders cannot be ignited by brush discharges, providing there are no flammable gases or vapours.

The equivalent energies of brush discharges have been determined by transforming them into spark discharges through gases. These experiments, therefore, do not give any information concerning the incendivity of brush discharges for dusts.

Brush discharges from positively charged objects or materials, e.g. a positively charged liquid, are less incendive than those from negatively charged objects.

If the charged material is in the form of a sheet with the uncharged surface in contact with an earthed metal sheet, the brush discharges are rather weak (note, however, B.1.4).

Measurements for the ignition risk assessment of brush discharges are given in A.4 and 6.3.9.

B.1.4 Propagating brush discharges from insulating solid materials

In the presence of prolific charge generating mechanisms (e.g. pneumatic transfer of powders, charge spraying in the powder coating process) very high levels of surface charge can be generated on an insulating sheet or layer with earthed metal backing. If the breakdown

strength of the layer is sufficient to withstand the large field strength in the layer, surface charge densities of the order of $300 \mu\text{C}/\text{m}^2$ enable the discharge to change from a brush discharge into a propagating brush discharge.

A propagating brush discharge can release a lot of energy. It is, therefore, capable of igniting almost all flammable gases, vapours and powders and can cause severe electrostatic shocks. In special cases the bipolar charging of the insulating sheet can also be achieved without metal backing.

B.2 Incendive discharges produced during liquid handling

B.2.1 General

When a tank is being filled with a charged liquid of low conductivity, the charge accumulating in the liquid within the tank can create high potentials on the liquid surface and high electric fields in the ullage space. The field strength and potential distributions depend upon the size and shape of the tank, on the liquid depth and on the dielectric constant. They are proportional to the amount of accumulated charge and also depend on how the charge is distributed within the liquid.

With high liquid surface potentials, incendive brush discharges can occur between the surface of the liquid and metal protrusions into the ullage space. For a negatively charged liquid, an optimised hydrocarbon/air atmosphere and an ideal spherical 12,8 mm diameter protrusion, experiments have shown that brush discharges can be incendive if the surface potential adjacent to the protrusion exceeds about -25 kV .

An ignition hazard could arise at much lower potentials if isolated conductors were present in the tank. For example, a can floating on the liquid surface could acquire the potential of its surroundings and give rise to an incendive spark if it moved close to an earthed metal protrusion or the tank wall.

Safe filling rules for many situations have been arrived at empirically (e.g. for road and rail tanker loading) but the rules for loading fixed vertical axis medium sized tanks have been derived theoretically (with quite similar results to the empirical methods where there is overlap) as empirical measurement data is not available for this class of tank. The theoretical method is summarised in B.2.2.

B.2.2 Calculated maximum safe flow velocities for filling medium-sized vertical axis storage tanks

The maximum safe flow velocity is the velocity that just keeps the maximum surface voltage below the specified hazard threshold (25 kV) throughout the fill. It has been calculated (Britton and Smith (2012), Britton and Walmsley (2012)) in order to obtain the velocity limits recommended in 7.3.2.3.5.3 for filling medium-sized vertical axis storage tanks.

The calculations are not generally useful for large tanks (diameter $>10 \text{ m}$) because, in these, the assumption of uniform charge density, which is used in the calculations, tends to be a poor approximation. They could be applied to the filling of small metal containers such as drums and metal IBCs but, for these, the benefits of filling via a downpipe located near the axis of the container usually need to be taken into account and the flow rates in standard filling equipment are generally low enough that explicit velocity restrictions need not be given.

The results of the calculations are not well fitted by vd limits and consequently the approach adopted has been to directly calculate and tabulate the maximum safe velocity and the associated maximum safe flow rate as a function of tank and pipe diameter.

The maximum safe velocity calculation is based on:

- A maximum surface potential of 25 kV on the liquid surface at any time during the fill (see B.2.1).
- An inlet charge density derived for pipe flow charging using the expression given in A.1.4 with conductivity compensation below 3 pS/m and an empirical constant of $1,0 \mu\text{C s m}^{-3}$.
- An Ohm's Law relaxation model to derive the (uniform) internal tank charge density from the inlet charge density using an effective relaxation time, τ_{eff} that is double the relaxation time derived directly from the rest conductivity of the fuel. For most practical cases the total liquid charge is close to $I\tau_{\text{eff}}$ where I is the inlet streaming current (charge density $\times$ flow rate). Where the total charge departs from $I\tau_{\text{eff}}$ it is lower so the use of $I\tau_{\text{eff}}$ provides a worst-case. The calculated maximum safe velocities are therefore based on a total liquid charge of $I\tau_{\text{eff}}$. Below 3 pS/m the charge density (streaming current) is proportional to conductivity and the effective relaxation time is inversely proportional to streaming current so the total charge and the surface voltage are independent of conductivity. The voltage obtained at 3 pS/m (giving $\tau_{\text{eff}} = 12 \text{ s}$) is thus equal to the worst-case and the calculations were done with this conductivity.
- An expression derived independently by Asano (1979) and Britton and Smith (1988) for the voltage at the centre of the liquid surface in a cylindrical metal vertical-axis storage tank that is partly filled with a uniformly charged liquid.
- Work by Britton and Smith (2012) who performed many calculations with the Asano/Britton and Smith expression and used an empirical analysis of the resulting data to extract simplified results for the maximum potential on the liquid surface under different fill conditions.

It follows from equation (12) of Britton and Smith (2012) and the charge density equation in A.1.4 that the maximum safe filling velocity v is given by:

$$v = K(D/d)^{0,5}$$

where K is a constant with the dimensions of velocity that depends weakly on the dielectric constant, ϵ_L , of the liquid and may be expressed (Britton and Walmsley 2012) as:

$$K < 0,6\{(1+\epsilon_L)/\epsilon_L\}^{1/2}$$

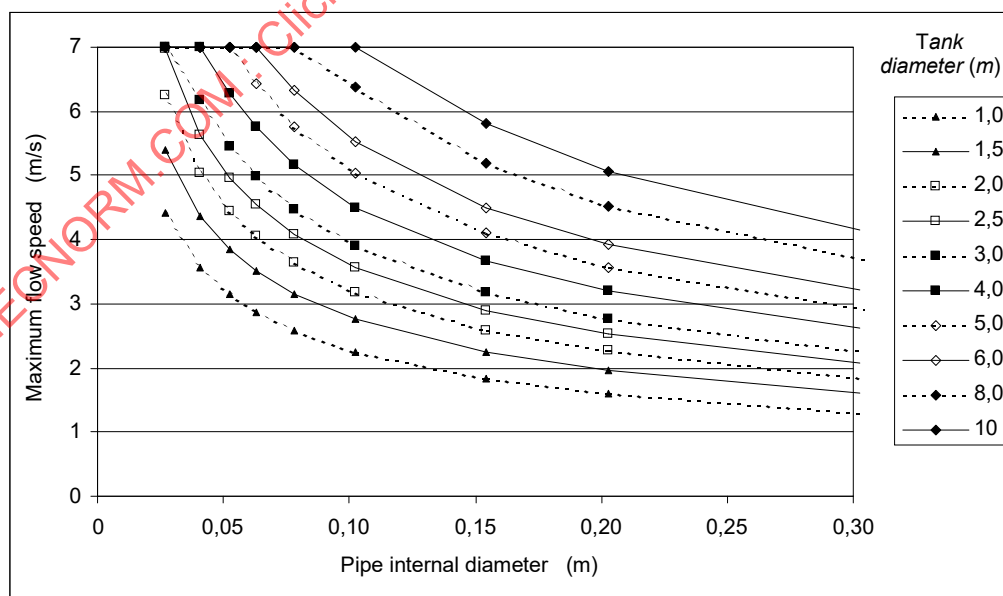


Figure B.1 – Calculated maximum safe filling velocities for medium sized tanks (see 7.3.2.2.5.2)

For $\epsilon_L = 2,2$, K takes the value 0,72 m/s. Figure B.1 shows the limiting velocities obtained with this expression for a range of different pipe and tank diameters.

The uncertainties in the analysis (e.g. is the charge uniformly distributed in the liquid) do not warrant the use of a highly accurate value for the constant so in 7.3.2.3.5.3 of the main text the constant has been rounded down to $K = 0,7$ m/s for simplicity.

B.3 Incendive discharges produced during powder handling and storage

B.3.1 General

With few exceptions, all particles, including chips and granules, readily become charged during transport through pipes and ducts. This is especially true when the particles remain well separated from each other, as in pneumatic transport. Charge retention on powder or equipment creates a hazard only if the charge is suddenly released in a discharge giving rise to a high local energy density and thus acting as a possible ignition source. Discharges from charged powder and equipment vary greatly in type and incendivity (see A.3.2 to A.3.7).

B.3.2 Discharges from bulk powder

When highly charged particles are bulked in a container, cone discharges could occur between the powder and the container (see A.3.7) and these could cause an ignition if there is a suspension of powder and air.

There is no risk of ignition with systems containing only granules (particle size $> 500 \mu\text{m}$), except where flammable gas or a fine powder fraction is present (e.g. unpurged resin or powders containing residual solvent or a fine fraction caused by wear). But mixtures of granules and fine powder are potentially hazardous, since in both cases brush and the more incendive cone discharges can occur. These discharges have also been observed with particle distributions containing no granules, but their frequency of occurrence is lower.

B.3.3 Discharges from powder clouds

In principle, discharges could occur within powder clouds or from powder clouds to the wall of the container if the field strength due to the charged particles were high enough. Recent work involving operations such as pneumatic conveying in medium sized silos has indicated that such discharges are brush or corona. Spark and lightning like discharges due to powder clouds have not been detected. Evidence so far indicates that, with the possible exception of sensitive atmospheres, the risk of an ignition due to powder cloud discharges is very low.

B.3.4 Discharges involving insulating containers and people

Charged powders inside an insulating container, or people close to such a container, can also lead to discharges which can cause ignitions. Discharges from powder to the inside wall of an insulating container can lead to polarisation across the container wall. If an earthed person or conductor touched the surface there could be a risk of a propagating brush discharge. Such a discharge is not only highly incendive but it can cause severe electrostatic shock. Insulating containers can also be charged externally by rubbing or by other charge generating mechanisms such as steam impingement; these charges could be an ignition risk.

B.3.5 The use of liners in powder processes

In some operations, particularly during the handling of dry powders in drums, it is convenient to use an inner liner, such as a plastic bag, as a precaution against contamination. Liners made from insulating materials can be charged during filling and emptying. The separation of charges which occurs when such liners are removed from containers can cause incendive discharges. However, sparks from improperly grounded people are a far more important hazard.

In some processes, for example, when filling a container with a highly charged, high resistivity powder, it is even possible to produce propagating brush discharges from the liner. Such discharges would be very incendive and could also cause serious electrostatic shock and precautions should be taken to prevent their occurrence.

A further consequence of using highly insulating liners is that they insulate the material being handled, even when the outer container is conductive and earthed.

B.3.6 Spark discharges in powder processes

Spark discharges can occur due to the charging of electrically isolated conductive parts of equipment, people or accumulations of low resistivity powders. In most cases, virtually all the stored electrostatic energy is dissipated in the spark. The incendivity of spark discharges can be either by assessed by comparing the stored energy, as measured by $\frac{1}{2} C V^2$ (see A.3.2), with the minimum ignition energy (MIE) of the combustible powder in question (see C.6) or by measuring the transferred charge and comparing it with known threshold limits (see 6.3.9).

NOTE For the assessment of electrostatic hazards of isolated conductors, the most relevant value of MIE is that which has been determined using a capacitive circuit without an additional inductance (see C.6).

B.3.7 Brush discharges in powder processes

Brush discharges can occur from the tips of earthed objects, for example, projections of equipment, measuring probes, working tools, a person's fingertip, etc. which are in high electrical fields. Such fields can be generated by highly charged insulating surfaces of equipment, packaging material, or by highly charged insulating powder, either in bulk or in suspension in air.

The present state of knowledge based on practical experience, experimental evidence and the absence of incidents indicates that brush discharges do not ignite powder clouds unless they are mixed with flammable gases and vapours (see A.3.4).

Care should be taken when handling solvent wet powders, which can release flammable gases over a long period of time with a much lower MIE than the pure powder. When handling large amounts of medium or insulating powders brush discharges incendive for the evolving gas atmosphere cannot be avoided.

Consideration should also be given to whether MIE results of less than 1 mJ for powders are actually caused by evolving gas atmosphere rather than by the powder alone.

NOTE The presence of contaminants (e.g. solvent, grease or moisture) may affect the potential ignition hazard when using insulating materials in the presence of dusts.

B.3.8 Corona discharges in powder processes

Corona discharges occur in the presence of a sufficiently strong electric field when the electrode is very small and pointed, or has a sharp edge (see A.3.3). The incendivity of corona discharges is far too low for ignition of combustible powders. When handling large amounts of medium or insulating powders, corona discharges cannot be avoided, but these discharges do not create an ignition hazard unless very sensitive explosive atmospheres are present, e.g. caused by oxygen enrichment or the presence of hydrogen or other gases having a very low MIE.

B.3.9 Propagating brush discharges in powder processes

Propagating brush discharges can occur from the surfaces of insulating walls of containers or from coatings on equipment (see A.3.5). The high surface charge density required for these discharges can be generated where powder particles hit such surfaces. This can occur, for example, during the pneumatic transport of powder through pipes of insulating material or through metal pipes with an insulating lining. High surface charge densities can also result

from the deposition of ions such as are produced during the bulking of charged insulating powder.

Propagating brush discharges do not normally occur due to charge on layers of powder; there has to be a layer of material with a high dielectric strength.

The energy released in a propagating brush discharge can be estimated by assuming that the (bipolar) charged sheet behaves like a parallel plate capacitor with the sheet as dielectric. For example, a sheet with relative permittivity $\varepsilon = 2$, surface charge density $\sigma = 1 \times 10^{-3} \text{ C/m}^2$, thickness $d = 150 \text{ }\mu\text{m}$, and area $A = 0,25 \text{ m}^2$, the stored energy W is given by:

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{A d \sigma^2}{2 \varepsilon \varepsilon_0} = 1 \text{ J}$$

Propagating brush discharges can be avoided by using only conductive or dissipative material for walls of equipment and for coatings or by ensuring that the breakdown voltage across all insulating walls and coatings is less than 4 kV (see A.3.5).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013

Annex C (informative)

Flammability properties of substances

C.1 General

Most hydrocarbons and many other substances used in industry are flammable. These substances, in the form of gas, vapour, liquid droplets or powder, when mixed with air or some other oxidising agent could be ignited by electrostatic discharges. The ease with which they can be ignited depends upon a number of factors, some of which are given in C.2 to C.8.

C.2 Effect of oxygen concentration and ambient conditions

The ignition properties are greatly affected by the oxygen concentration, temperature and pressure of the atmosphere. Most of the comments and values quoted in C.3 to C.8 relate to normal atmospheric conditions. Those are mixtures with air at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ and at 0,8 bar to 1,1 bar.

Operating at conditions other than ambient, in particular with high temperatures or oxygen levels above 21 %, can have a severe adverse effect on flammability characteristics (in particular MIEs).

C.3 Explosive limits for gases and liquids

For each substance there are upper and lower explosive limits and only mixtures within these limits can be ignited. For hydrocarbons in air those limits are between about 1 % and 15 % by volume. Substances with wide flammable limits, for example, hydrogen, acetylene, and carbon disulfide, are particularly hazardous.

Ventilation is often the most effective way of reducing a mixture to below its lower explosive limit and making it incapable of ignition.

C.4 Inerting

An inert gas is one that is non-flammable, contains little or no oxygen, and does not support combustion. Examples include nitrogen, boiler flue gas, steam, and carbon dioxide. The addition of such a gas to a flammable atmosphere can reduce the oxygen concentration to such a low level that ignition is not possible at any concentration of flammable substance. Some limiting oxygen concentrations (LOC), with nitrogen diluent, are 10 % by volume for methane, 8 % for ethylene and 3 % by volume for hydrogen. It is normal to include a safety factor and a maximum oxygen content of 5 to 6 % by volume is frequently specified for hydrocarbons.

The inerted atmosphere could become flammable again, should air be added. Therefore it is important to recognise that it is possible to ignite gas or vapour escaping into air from an inerted vessel.

NFPA 69, *Standard on Explosion Prevention Systems*, may help with defining controls to prevent the formation of flammable atmospheres for further information and provides a safety factor for explosion prevention which depends on the LOC and on the type of oxygen control system employed.

NOTE Depletion of oxygen content in air by displacement with inert gas is a potential hazard to people. Exposure to atmospheres containing 12 % or less oxygen will bring about unconsciousness without warning and so quickly

that the individual cannot help or protect themselves. Exposure to atmospheres containing between 12 % and 14 % oxygen will have the following physical effects on people: respiration increases on exertion, raised pulse, and impaired co-ordination, perception and judgement. Exposure to atmospheres containing between 15 % and 19 % oxygen may impair co-ordination of people and may induce early symptoms in people with coronary, pulmonary or circulatory problems. National regulations and/or codes relating to specific industries or applications may exist and may be consulted.

Carbon dioxide is known sometimes to become a source of oxygen in combustion. Therefore, care should be taken when carbon dioxide is used for inerting.

C.5 Flash point

It is not normally possible to ignite the vapour/air mixture above a liquid which is below its flash point. To avoid ignition, however, it is advisable to keep the temperature of a liquid at least 5 °C below its flash point and, for mixtures containing liquids with a wide range of volatilities, this should be increased to at least 11 °C. In general, it is better to use a high rather than a low flash point solvent.

NOTE For a discussion of flash point safety factors including corrections for elevation above sea-level, see Britton and Smith (2012).

It should be noted that sprays or fine mists of flammable liquids can be ignited at temperatures well below their flashpoint (e.g. in a fuel oil burner).

C.6 Minimum ignition energies

Flammable gases, vapours and dusts are often classified according to their minimum ignition energies (MIEs). These values normally relate to the most easily ignitable mixture of the substance and air, and they are obtained using capacitor spark discharges. They provide a useful guide as to how easily the substance can be ignited by electrostatic discharges. For most gases and vapours the MIE lie between 0,1 mJ and 0,3 mJ. The value for dusts ranges from below 1 mJ to over 10 J.

The incendivity of spark discharges varies for sparks produced from electrical circuits containing different values of inductance, resistances and types of capacitors. In some circumstances ignitions may occur at energies lower than the MIE values obtained with mainly capacitive circuits. Care is needed to ensure that the values used in a risk assessment have been determined with a suitable circuit. For an electrostatic hazard assessment the values obtained from a capacitive discharge circuit with no additional inductance or resistance are used, as described for gaseous mixtures in ASTM E 582, *Standard test method for minimum ignition energy and quenching distance in gaseous mixtures* and for dust clouds in IEC 61241-2-3, *Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures* and ASTM E 2019-03, *Standard test method for minimum ignition energy of a dust cloud in air*.

NOTE 1 ASTM E 582 gives the reproducibility as ± 10 %.

NOTE 2 Special care is needed for condensable vapours whose liquid phases are conductive.

Methane has the highest MIE of any hydrocarbon (0,28 mJ). Ethylene (0,082 mJ) is used in testing as being distinct from paraffin test gases such as propane. Hydrogen is used in testing as being distinct from ethylene. Benzene (0,20 mJ) has the smallest measured MIE of any hydrocarbon not containing double or triple bonds or ring torsion. With this in mind one can define several MIE intervals as shown in Table C.1:

Table C.1 – Typical MIE intervals with examples

Name	Lowest value	Highest value	Examples
High MIE	> 10 mJ	-	Ammonia, dichloromethane, trichloroethylene
Elevated MIE	> 0,28 mJ	10 mJ	Halogenated organics
Normal MIE	0,20 mJ	0,28 mJ	Aromatic and aliphatic hydrocarbons without double bonds
Low MIE	0,08 mJ	≤ 0,20 mJ	Ethene, butadiene, cyclopropane, acetaldehyde, diethyl ether, styrene
Very Low MIE	-	< 0,08 mJ	Hydrogen, ethyne, arsin, chlorosilanes, carbon disulfide, ethylene oxide, fuel mixtures with oxygen

There exist only few measured values of MIE for sprays or dispersed droplets (e.g. 7 mJ for quiescent clouds of organic solvents with flash point 38 °C to 150 °C, and > 150 mJ for turbulent ones). These values are higher than those for the equivalent vapour/air mixtures since the heat of vaporization must be supplied.

In the 1960s and 1970s, liquids producing flammable vapours were often classified according to their Maximum Experimental Safety Gap (MESG) because this unit led to three significantly separated data clusters when drawing MESG against ignition hazard. In 1978, these three clusters were named IIA, IIB and IIC in EN 50014.

Subsequent checking of old MESG values has indicated that many were too high. As a consequence some IIA liquids (ethanol, propanol, butanol, hexanol, heptanol, 1,2-ethanediol, ethylbenzene, 3-oxobutanoic acid ethyl ester) were moved into the IIB region. In 1981 these liquids were, therefore, reclassified as IIA/IIB to indicate that although their MESG was in the IIB region, they only needed the same safety precautions as IIA liquids.

In 2003, these liquids were newly classified as IIB, but comparable to IIA liquids. However, as this expression is not very robust, many proposals have been made to overcome this problem (e.g. moving the MESG border limit from 0,90 mm to 0,88 mm, use of a MIE border limit of 0,20 mJ or 0,18 mJ). Because MIE and MESG values can be measured only with a relatively high degree of uncertainty, none of these proposals is really satisfactory. For this reason, all liquid previously classified as IIA/IIB (see above) were simply added to the explosion group IIA.

Table C.2 contains values for the minimum ignition energy MIE and minimum ignition charge MIQ of ignition optimised mixtures at 25 °C and atmospheric pressure published by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany, in the Appendix of the German Technische Regeln Betriebssicherheit TRBS 2153, 2009. Note especially that the MIE of methanol has been redetermined as 0,20 mJ which is in contrast to an older extrapolated value of 0,14 mJ. Some values have been added from NFPA77 (2004). These values are marked with ^a.

Table C.2 – Minimum ignition energy MIE and minimum ignition charge MIQ

Substance	MIE [mJ]	MIQ [nC]	Ignition optimum [Vol. -%]	Explosion group according to IEC 60079-20-1
Acetaldehyde	0,38	–	–	IIA
Acetic acid ethyl ester	0,46	120	5,2	IIA
Acetone	0,55	127	6,5	IIA
Acrolein ^a	0,13	–	–	IIB
Acrylonitrile	0,16	–	9,0	IIB
Allyl chloride ^a	0,77	–	–	IIA
Ammonia	14	1 500	20	IIA
Benzene	0,20	45	4,7	IIA
1,3-Butadiene	0,13	–	5,2	IIB
Butane	0,25	60	4,7	IIA
2-Butanone	0,27	–	5,3	IIB
2-Butyl chloride ^a	1,24	–	–	IIA
Carbon disulfide	0,009	–	7,8	IIC
Cyclohexane	0,22	–	3,8	IIA
Cyclopropane	0,17	–	6,3	IIB
1,2-Dichloroethane	1,0	–	10,5	IIA
Dichloromethane	9 300	880 000	18	IIA
Diethyl ether	0,19	40	5,1	IIB
Diethyl ether in oxygen ^a	0,0 012	–	–	– ^b
2,2-Dimethylbutane	0,25	70	3,4	IIA
Ethane	0,25	70	6,5	IIA
Ethanol	0,28	60	6,4	IIB
Ethylene	0,082	32	8,0	IIB
Ethylene in oxygen ^a	0,0 009	–	–	– ^b
Ethyne (Acetylene)	0,019	–	7,7	IIC
Ethyne in oxygen ^a	0,0 002	–	–	– ^b
Ethylen oxide	0,061	–	10,8	IIB
Heptane	0,24	60	3,4	IIA
Hexane	0,24	60	3,8	IIA
Hydrogen	0,016	12	22	IIC
Hydrogen in oxygen ^a	0,0 012	–	–	– ^b
Methane	0,28	70	8,5	IIA
Methanol	0,20	50	14,7	IIA
2-Methylbutane	0,21	63	3,8	IIA
Methylcyclohexane	0,27	70	3,5	IIA
Pentane	0,28	63	3,3	IIA
cis-2-Pentene	0,18	–	4,4	IIB
trans-2-Pentene	0,18	–	4,4	IIB
Propane	0,25	70	5,2	IIA
Propane in oxygen ^a	0,0 021	–	–	– ^b
1-Propyne (methyl acetylene)	0,11	–	6,5	IIB

Substance	MIE [mJ]	MIQ [nC]	Ignition optimum [Vol. –%]	Explosion group according to IEC 60079-20-1
Propylene oxide	0,13	–	7,5	IIB
Tetrafluoroethene	4,1	–	–	IIA
Tetrahydro-2H-pyran	0,22	60	4,7	IIA
Toluene ^a	0,24	–	–	IIA
1,1,1-Trichloroethane	4 800	700 000	12	IIA
Trichloroethylene	510	150 000	26	IIA
Trichlorosilane ^a	0,017	–	–	IIC
Xylene ^a	0,20	–	–	IIA
^a From NFPA77, 2007				
^b According to IEC 60079-20-1, the measuring method for the MESG values, on which the classification in explosion groups is based, is valid only for mixtures of gases and vapours with air.				

C.7 Combustible powders

All solid combustible materials including metals may create a flammable atmosphere when finely dispersed in air in the form of a dust cloud. A dust explosion hazard could exist if the particle size is below 0,5 mm and the dust concentration is within the explosive limits (for most organic powders typically about 20 g/m³ to several kg/m³). The explosion hazard (explosion sensitivity and violence) for a given substance depends on particle size and many other factors. It is highest in the case of very fine dust.

NOTE The MIE of explosive powders is sometimes lower when they are deposited on a surface than when they are suspended in air. Therefore, the risk of electrostatic ignition of such explosive powders when deposited is higher than that of the suspended powders in air.

C.8 Biofuels

A biofuel is any fuel made from a regenerative biosystem. They are named according to their biocomponent (E = Ethanol, M = Methanol, B = Biodiesel) and its volume content in the fuel in percent.

Currently (2012) biodiesel made from natural plant oils and biogasoline which contains ethanol produced by alcoholic oxidation of biomass are already in use. Biofuels are, however, not just limited to ethanol/gasoline mixtures or plant oils but may become other mixtures in the future. As it is hard to generalise what will appear in the future the following statements are limited to bioethanol/gasoline mixtures:

- If ethanol is added to gasoline it tends to clean the system. This may lead to an increased water and solid content in the flowing fuel which both increase chargeability.
- The more ethanol is added to gasoline, the higher its conductivity and the lower its chargeability.
- As a consequence of a) and b) the chargeability of biofuel usually increases in the following sequence: E100 < E10 < E0 < E5.
- E50 to E100 fuels may create explosive atmosphere in tanks under certain conditions, especially as the tank becomes empty. For this reason Flexfuel vehicles may need special tank equipment, e.g. flame arresters in the filling tube. Too fine a flame arrester may, however, cause other problems, e.g. due to blockages.

Annex D (informative)

Classification of hazardous areas

D.1 Concept of zoning

The degree of risk (e.g. the likelihood) of fire or explosion due to electrostatic charging depends not only on the probability that the charging will lead to an incendive spark but also on the probability that there will be a flammable atmosphere. Precautions considered necessary to avoid electrostatic charging where there is often a flammable atmosphere are not always necessary where such an atmosphere occurs infrequently. The concept of zoning divides areas into Zones according to the probability of a hazardous flammable atmosphere occurring.

D.2 Classification

According to IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2 hazardous areas are classified into the following Zones:

- a) **Zone 0:** place in which an explosive atmosphere consisting of a mixture with air of flammable substances in the form of gas, vapour or mist is present continuously or for long periods or frequently.
- b) **Zone 1:** place in which an explosive atmosphere consisting of a mixture with air of flammable substances in the form of gas, vapour or mist is likely to occur in normal operation occasionally.
- c) **Zone 2:** place in which an explosive atmosphere consisting of a mixture with air of flammable substances in the form of gas, vapour or mist is not likely to occur in normal operation but, if it does occur, will persist for a short period only.
- d) **Zone 20:** place in which an explosive atmosphere, in the form of a cloud of combustible dust in air, is present continuously, or for long periods or frequently for short periods.

NOTE Places where piles of dust are present but where dust clouds are not present continuously, or for a long period, or frequently are not included in this Zone.

- e) **Zone 21:** place in which an explosive atmosphere, in the form of a cloud of combustible dust in air, is likely to occur occasionally in normal operation.
- f) **Zone 22:** place in which an explosive atmosphere, in the form of a cloud of combustible dust in air, is not likely to occur in normal operation but, if it does occur, will persist for a short period only.

D.3 Explosion groups

D.3.1 General

According to IEC 60079-0, substances creating flammable gases, vapours and dusts are classified into the following explosion groups:

D.3.2 Group I

Equipment of Group I is intended for use in mines susceptible to firedamp.

NOTE The types of protection for Group I take into account the ignition of both firedamp and coal dust along with enhanced physical protection for equipment used underground.

Equipment intended for mines where the atmosphere, in addition to firedamp, may contain significant proportions of other flammable gases (i.e. other than methane), should be constructed and tested in accordance with the requirements relating to Group I and also to the

subdivision of Group II corresponding to the other significant flammable gases. This equipment should then be marked appropriately (for example, "Ex d I/IIB T3" or "Ex d I/II (NH3)").

D.3.3 Group II

Equipment of Group II is intended for use in places with an explosive gas or vapour atmosphere other than mines susceptible to firedamp.

Equipment of Group II is subdivided according to the nature of the explosive gas or vapour atmosphere for which it is intended.

Group II subdivisions

IIA: A typical gas is propane, a typical vapour is hexane.

IIB: A typical gas is ethylene, a typical vapour is diethyl ether.

IIC: A typical gas is hydrogen, a typical vapour is carbon disulfide.

NOTE 1 This subdivision is based on the maximum experimental safe gap (MESG) or the minimum ignition current ratio (MIC ratio) of the explosive gas atmosphere in which the equipment may be installed. See IEC 60079-20-1.

NOTE 2 Equipment marked IIB is suitable for applications requiring Group IIA equipment. Similarly, equipment marked IIC is suitable for applications requiring Group IIA or Group IIB equipment.

D.3.4 Group III

Equipment of Group III is intended for use in places with an explosive dust atmosphere other than mines susceptible to firedamp.

Equipment of Group III is subdivided according to the nature of the explosive dust atmosphere for which it is intended.

Group III subdivisions:

IIIA: combustible flyings (e.g. flock).

IIIB: non-conductive dust (e.g. coating powder).

IIIC: conductive dust (e.g. metal dust).

NOTE Equipment marked IIIB is suitable for applications requiring Group IIIA equipment. Similarly, equipment marked IIIC is suitable for applications requiring Group IIIA or Group IIIB equipment.

Annex E (informative)

Classification of equipment protection level

According to IEC 60079-0 equipment for use in explosive atmospheres is classified into the following equipment protection levels EPL:

EPL Ma

Equipment for installation in a mine susceptible to firedamp, having a "very high" level of protection, which has sufficient security that it is unlikely to become an ignition source in normal operation, during expected malfunctions or during rare malfunctions, even when left energized in the presence of an outbreak of gas.

EPL Mb

Equipment for installation in a mine susceptible to firedamp, having a "high" level of protection, which has sufficient security that it is unlikely to become a source of ignition in normal operation or during expected malfunctions in the time span between there being an outbreak of gas and the equipment being de-energized.

EPL Ga

Equipment for explosive gas atmospheres, having a "very high" level of protection, which is not a source of ignition in normal operation, during expected malfunctions or during rare malfunctions.

EPL Gb

Equipment for explosive gas atmospheres, having a "high" level of protection, which is not a source of ignition in normal operation or during expected malfunctions.

EPL Gc

Equipment for explosive gas atmospheres, having an "enhanced" level of protection, which is not a source of ignition in normal operation and which may have some additional protection to ensure that it remains inactive as an ignition source in the case of regular expected occurrences (for example failure of a lamp).

EPL Da

Equipment for explosive dust atmospheres, having a "very high" level of protection, which is not a source of ignition in normal operation, during expected malfunctions, or during rare malfunctions.

EPL Db

Equipment for explosive dust atmospheres, having a "high" level of protection, which is not a source of ignition in normal operation or during expected malfunctions.

EPL Dc

Equipment for explosive dust atmospheres, having an "enhanced" level of protection, which is not a source of ignition in normal operation and which may have some additional protection to ensure that it remains inactive as an ignition source in the case of regular expected occurrences (for example failure of a lamp).

Annex F

(informative)

Flow chart for a systematic electrostatic evaluation

This Technical Specification is extensive and for new readers may appear complex and difficult to work through. To make it easier for the new or infrequent reader, the flow chart given in Figure F.1 is designed to help in finding a systematic procedure for an electrostatic evaluation of any product or process.

The flow chart is divided in two paths: the first evaluates all conductive or dissipative materials, parts and sockets, the second all insulating parts. Every path either ends at "Test passed" or at the respective type of discharge expected to occur under the given conditions.

This flow chart is written in a style that it is as widely applicable as possible. However, there may be situations where it cannot be used. In this case, the user should search for a clause elsewhere in this Technical Specification dealing with the specific situation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013

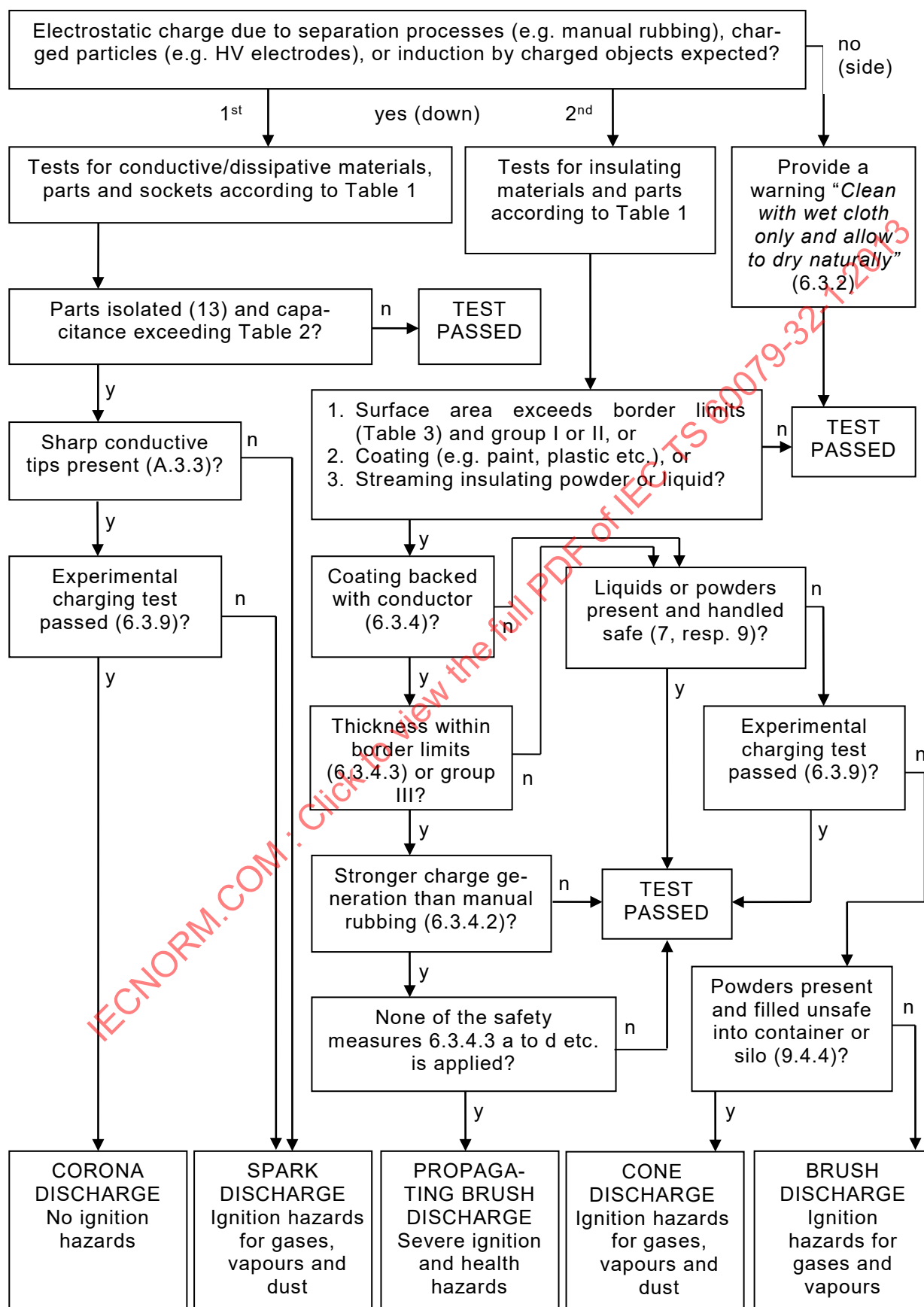


Figure F.1 – Flowchart for a systematic electrostatic evaluation

Annex G (informative)

Tests

At present, IEC 60079-32-2⁹, *Explosive atmospheres – Part 32-2: Electrostatic hazards – Tests* is in development. Its test methods are based on the principles listed below:

G.1 General

Variations in the results of the measuring electrostatic properties of materials is mainly due to variations in the sample (e.g. inhomogeneous surfaces, geometry and the state of the material) rather than uncertainties in voltage, current, electrode geometry or uncertainty of the measuring device. This is due to the effect that electrostatic properties are strongly influenced by very small differences so that statistical effects play an important role.

Typically, the accuracy and reproducibility of electrostatic measurements is about 20 % to 30 %. This is much higher than for a typical electric measurement which is less than 1 %. For this reason, electrostatic threshold limits contain a certain safety margin to compensate for the occurring statistical scatter.

To obtain comparable results all over the world, the samples should be acclimated and measured at the stated relative humidity and temperature (mostly 24 h at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(25 \pm 5) \%$ relative humidity). In countries which may experience lower or higher humidity and temperature levels, an additional value at the local higher or lower relative humidity and temperature may be reasonable (e.g. $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(90 \pm 5) \%$ relative humidity for tropical climates and $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(15 \pm 5) \%$ relative humidity for arctic climates).

G.2 Surface resistance

G.2.1 General

Surfaces which have a sufficiently low surface resistance cannot be electrostatically charged when in contact with earth. For this reason, the surface resistance is a basic electrostatic property concerning electrostatic chargeability. As surface resistances usually increase with decreasing relative humidity, a low relative humidity is necessary during measuring to replicate worst case conditions.

G.2.2 Principle

The surface is contacted with two conductive electrodes of distinct length and distance and the resistance between both electrodes is measured. As high resistances usually decrease with increasing voltage, the applied voltage should be increased to at least 500 V, preferably 1 000 V, at very high resistances.

G.2.3 Apparatus

The measuring apparatus according to IEC 60079-0 consists of two parallel electrodes with the dimensions given in Figure G.1. This may be realized by electrodes painted with silver paint through a suitable stencil, soft conductive rubber strip electrodes on spring-mounted metal tongues or conductive foam strips mounted on an insulating support.

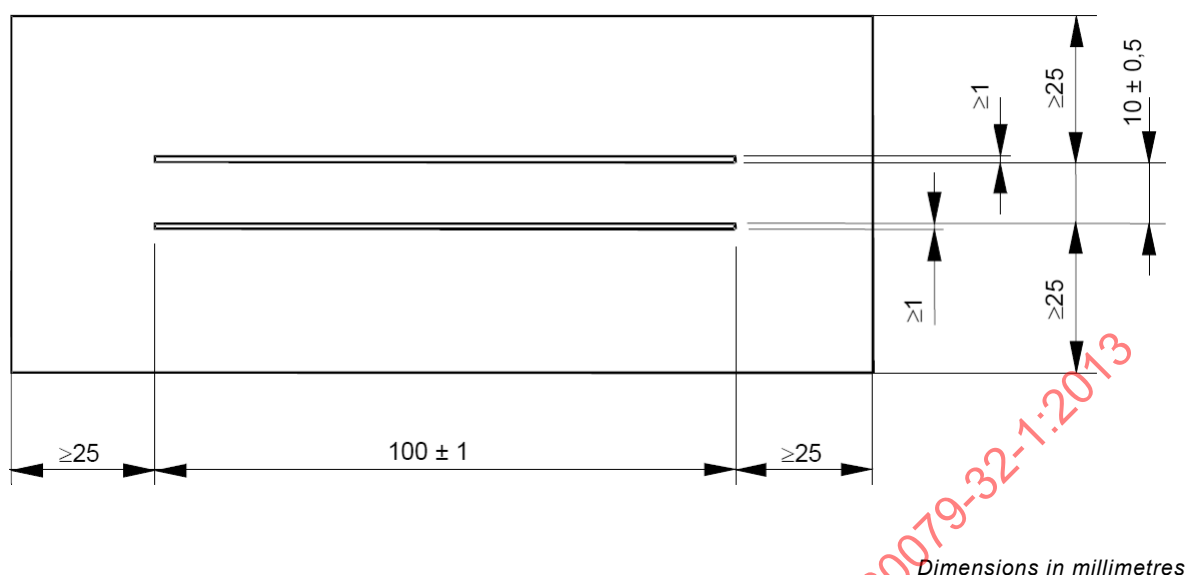


Figure G.1 – Test sample with applied electrodes

NOTE 1 The surface resistance is dependent upon the electrode configuration.

NOTE 2 This electrode configuration is also used e.g. in IEC 60167 and CENELEC TR 50404.

NOTE 3 Soft conductive rubber strip electrodes are preferred over silver paint electrodes to limit unwanted chemical surface interaction.

NOTE 4 In case of uneven samples, silver paint electrodes are preferred over soft electrodes because of their better adoption to the sample geometry.

NOTE 5 In the case of small samples, the area around the electrodes may be smaller than 25 mm as given in Figure G.1.

The electrodes are connected to a teraohm meter. A guard shield electrode may be placed over the electrodes to minimise electric noise. During the test, the voltage should be sufficiently steady so that the charging current due to voltage fluctuation will be negligible compared with the current flowing through the test sample.

The teraohm meter should be regularly checked with a high resistance of known value. The geometry of conductive rubber or foam electrodes should also be regularly checked by measuring their imprint. If the electrode pressure to reach the minimum resistance is higher than 20 N, the rubber electrodes should be replaced by softer ones.

G.2.4 Test sample

The surface resistance should be measured on the parts of actual specimen if size permits, or on a test sample comprising a rectangular plate with dimensions in accordance with Figure G.1. The test sample should have an intact clean surface. As any solvent may leave conductive residues on the surface it is best to clean the surface with a brush only. This is especially important in cases where the surface is treated with special antistatic agents.

If, however, fingerprints or other dirt is visible on the surface and no special antistatic agents are used on the surface the test sample should be cleaned with distilled water, then with isopropyl alcohol (or any other solvent that can be mixed with water and will not affect the material of the test sample and the electrodes), then once more with distilled water before being dried.

Untouched by bare hands, it should then be conditioned for at least 24 h at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(25 \pm 5) \%$ relative humidity.

G.2.5 Procedure

The measurement procedure is as follows:

- a) Carry out the test under the same climate as the pre-conditioning.
- b) Place the electrodes on the surface.
- c) Apply a pressure of 20 N on the electrodes (not necessary in the case of painted electrodes).
- d) Apply a measuring voltage of $(10 \pm 0,5)$ V for (15 ± 5) s between the electrodes.
- e) Measure the resistance between both electrodes and record the value at the end of the measuring time.

NOTE Starting with low measuring voltage is necessary to avoid damage of the electrodes caused by high currents when measuring low resistance samples.

- f) If the resistance is between 1 M Ω and 10 M Ω , the measuring voltage should be increased to (100 ± 5) V. Resistances between 10 M Ω and 100 M Ω should be measured with (500 ± 25) V. In case of surface resistances exceeding 100 M Ω apply a voltage of at least (500 ± 25) V, preferably $(1\,000 \pm 50)$ V, for (65 ± 5) s.

NOTE In IEC 61340-4-1, 100 V are applied for resistances between 1 M Ω and 100 M Ω and 500 V for even higher ones. As high resistances usually decrease with increasing voltage and need a longer time for stable results, this document uses even higher voltages and measuring times for high resistances than the standard above.

- g) Repeat the measurement nine times. If the object is not sufficiently large for nine additional measurements, a lower number of repeats is acceptable.

G.2.6 Acceptance criteria

The surface resistance is the quotient of the direct voltage applied at the electrodes to the total current flowing between them. Respective border limits can be found in Table 1. Test samples should be classified according to the measured resistance at the highest measuring voltage. For example, if the resistance at 10 V is 1,5 M Ω , and at 100 V is 900 k Ω , the test sample should be classed as having a resistance of 900 k Ω .

G.2.7 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- test results,
- applied measuring voltage
- number of measurements,
- geometric mean resistance.
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.3 Surface resistivity

The surface resistivity is ten times higher than the surface resistance measured according to G.2.

G.4 Leakage resistance

G.4.1 General

The leakage resistance of an object is an important electrostatic safety characteristic. There are several standards published with different measuring methods for testing the leakage resistance of a floor which mostly can be applied for other objects too (e.g. rotating cylinders, housings, bags with an earthing point). In IEC 61340-4-1 the test is executed with a circular electrode, (65 ± 5) mm in diameter pressed to the floor with $(2,5 \pm 0,25)$ kg (hard floor) or $(5,0 \pm 0,25)$ kg (soft floor). In ISO 10965 measurement is done with a circular electrode, (65 ± 2) mm in diameter pressed to the floor with $(5,0 \pm 0,1)$ kg. ASTM F150 uses a circular electrode, 63,5 mm in diameter pressed to the floor with 2,5 kg. EN 1081 uses a three-footed electrode pressed to the floor by a person standing on it. As each method yields a somewhat different resistance it is important that the measuring method used is stated in product specifications and test reports.

NOTE In ideal cases the differences between the measured resistances of the different methods described above are small. In reality, rough surfaces, e.g. external concrete forecourts with significant stone content standing proud may influence the measured resistance depending on the used electrode surface and the applied pressure. Improved results may be obtained with conductive foam pads under IEC 61340-4-1 electrodes to take up roughness of several mm. However, this may not replicate the practical situation of a person's footwear with hard soles.

G.4.2 Principle

The floor or object is contacted with a specified electrode and the resistance between electrode and earth is measured.

G.4.3 Apparatus

Usually, a circular electrode, (65 ± 5) mm in diameter with a conductive rubber surface is pressed to the object with 2,5 kg, or 5 kg which is within the electrode specification of nearly all standards cited in G.4.1. However, three-footed electrodes described in EN 1081 may be more suitable if simulation of the body pressure on the floor is important.

NOTE Measured resistance tends to decrease with increasing electrode pressure, but only up to a certain point, after which further increase in pressure has little effect on measured resistance. It has been found that for many flooring materials, the pressure applied by a 5 kg, 65 mm diameter electrode is adequate for accurate measurement.

The electrodes are connected to a teraohm meter. A guard shield electrode may be placed over the electrode to minimise electric noise. During the test, the voltage should be sufficiently steady so that the charging current due to voltage fluctuation will be negligible compared with the current flowing through the test sample.

The teraohm meter should be regularly checked with a high resistance of known value. If the electrode pressure to reach the minimum resistance on a test sample is higher than 20 N, the rubber electrodes should be replaced by softer ones.

G.4.4 Test sample

The test floor or object should have an intact clean surface. If the floor or object being measured is outside (e.g. forecourt surfaces at filling stations), there should be no rainy or foggy weather within 24 h before the measuring time (relative humidity close to 50 % or even less). Floors or objects intended to be used inside should be conditioned at (23 ± 2) °C and (25 ± 5) % relative humidity for 24 h for laboratory measurements, or under ambient conditions for in situ measurements.

Additional conditioning time may be required for textile floor covering and other materials that readily absorb moisture (see ISO 10965).

G.4.5 Procedure

The test should be carried out according to G.2.5 except that measurement takes place between one electrode and earth. In case of floors, one measuring value per square metre is sufficient.

G.4.6 Acceptance criteria

The leakage resistance is the quotient of the direct voltage applied at the electrode to the total current flowing between electrode and earth. Respective border limits can be found in Table 1.

G.4.7 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- test results,
- measuring voltage,
- electrode description,
- applied pressure,
- number of measurements,
- median resistance
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.5 In-use testing of footwear

G.5.1 General

Laboratory testing of footwear is described in IEC 61340-4-3. For regular daily testing, the earth leakage resistance of a person wearing footwear can usually be determined with footwear conductivity testers (Personnel Grounding Tester). If such a device is not available, this resistance should be measured according to the following sections.

G.5.2 Principle

The resistance between a hand-held object and a metal plate where a person stands with both feet is measured. The resistance of the person is assumed to be negligible compared to the resistance of the shoes.

G.5.3 Apparatus

The measuring device consists of a metal plate on the floor and a hand-held metal object (e.g. a metal bar of 20 mm in diameter and 100 mm in length or a metal sphere 50 mm in diameter). A teraohm meter is connected between both electrodes measuring the resistance between hand-held metal object to the metal plate via body and feet. The teraohm meter should be regularly checked with a high resistance of known value.

The measuring voltage should not exceed 100 V to prevent an electric shock. When measuring with 100 V a protecting resistor of about 1 M Ω should be within the measuring circuit. This resistor may be omitted when measuring low resistances with 10 V.

G.5.4 Procedure

The measurement procedure is as follows:

- a) Measure at (23 ± 2) °C and (25 ± 5) % relative humidity. If the relative humidity is exceeded, record the humidity at least.
- b) Put on the shoes to be tested.
- c) Wait five minutes to get sufficient humidity in shoes and socks.
- d) Stand on the metal plate with both feet and grasp the metal object with one bare hand.
- e) Record the displayed resistance of the footwear.

G.5.5 Acceptance criteria

Respective border limits can be found in Table 1.

G.5.6 Test report

In case of routine controls, a result in form of a red or green lamp is sufficient. In all other cases, the test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- test results,
- measuring voltage,
- number of measurements,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.6 In-use testing of gloves

G.6.1 General

Laboratory testing of gloves is described in EN 420. For regular daily testing, the resistance of gloves may be measured together with the resistance of footwear. Unfortunately, this total resistance cannot always be determined with footwear conductivity testers (Personnel Grounding Tester). It may, therefore, necessary to measure the resistances according to the following sections.

NOTE A new CEN standard is being developed, currently identified as WI 00162317:2011.

G.6.2 Principle

The resistance between a glove-held and a hand-held metal object via body and feet to a metal plate on which the person stands with both feet is measured according to G.5.4. If the resistance of the footwear is not known, the resistance between glove-held metal object and a wrist strap of known resistance on the persons arm should be measured.

G.6.3 Apparatus

Same as in G.5.3

G.6.4 Procedure

The measurement procedure for persons earthed via their footwear is as follows:

- a) Measure the resistance of the used footwear as described in G.5.4.
- b) Repeat the measurement with gloves on the hand.
- c) Report both values and their quotient.

The measurement procedure for persons earthed via wrist straps is as follows:

- a) Earth the person via a wrist strap of known resistance.
- b) Measure the resistance between the glove held metal object and the wrist strap.
- c) Report both values and their difference.

G.6.5 Acceptance criteria

Respective border limits can be found in Table 1.

G.6.6 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- resistance of wrist-strap or footwear,
- test results,
- measuring voltage,
- number of measurements,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.7 Powder resistivity**G.7.1 General**

Different measuring methods exist for powder resistivity: measuring cell according to IEC TS 61241-2-2 (groove cell), according to IEC 60093 (stamp cell) and a concentric cell with an outer and an inner ring electrode (Lucas, 2011, Stahmer et al, 2012). According to Stahmer et al, groove cell and concentric cell yield the same results. However, as a consequence of the compression of the dust, the stamp cell gives an up to ten times lower resistivity when measuring compressible dusts. For these reasons, the powder resistivity should be measured according to the following procedure based on IEC TS 61241-2-2.

G.7.2 Principle

A constant volume of powder is filled in a specific measuring cell with two electrodes. The resistance between both electrodes is measured.

G.7.3 Apparatus

A measuring cell according to IEC 61241-2-2 consisting of two opposite electrodes of polished stainless steel bars (1), 10 mm in height, 100 mm in length and 10 mm distance, mounted together with two opposite walls of insulating glass bars (2), 10 mm in height, on an insulating base (3), should be used (Figure G.2). The thickness of the electrodes should be between 5 mm and 10 mm. The resistance R between the electrodes should exceed 100 TΩ. The exact values of the dimensions of the cell have to be known for the geometric correction factor in 4.7.4.

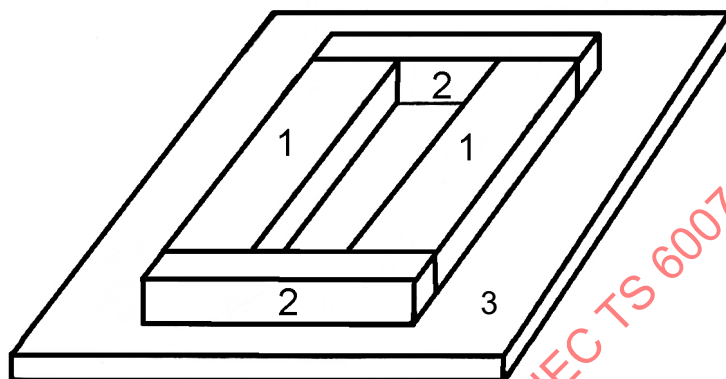


Figure G.2 – Measuring cell for powder resistivity

The electrodes are connected to a teraohm meter. The teraohm meter should be regularly checked with a high resistance of known value. A guard shield electrode may be placed over the measuring cell without contacting the electrodes to minimise electric noise. During the test, the voltage should be sufficiently steady so that the charging current due to voltage fluctuation will be negligible compared with the current flowing through the test sample.

G.7.4 Procedure

The measurement procedure is as follows:

- a) Acclimate the test dust to $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(25 \pm 5) \%$ relative humidity for at least 24 h. Dusts which significantly dry up or absorb water and for which the dust resistance during a special technological process is important, should be measured at the climate conditions of this process.
- b) Pour a quantity of the original untreated test dust between the test electrodes (3).
- c) Remove excess dust by running a straight-edge along the top of the stainless steel bars (1).
- d) Measure the resistance R of the filled test cell between the electrodes (1) with the following values of DC voltage applied for 10 s: $(105 \pm 10) \text{ V}$, $(500 \pm 25) \text{ V}$, $(1\,000 \pm 50) \text{ V}$. The same sample of dust in the test cell may be used for all the tests at any one of the values of voltage. If no constant measuring value is reached after 10 s the measuring time should be elongated to $(65 \pm 5) \text{ s}$.

NOTE In most cases, a test voltage of $(105 \pm 10) \text{ V}$ is sufficient. Higher voltages can lead to unwanted physical or chemical effects.

- e) Calculate the resistivity ρ at all test voltages from the equation
 - $\rho = 0,001 \times R \times H \times W/L$
 - where ρ is the resistivity in Ωm , H is the height of the electrode in mm, W is the length of the electrode in mm and L is the space between electrodes in mm.
- f) Repeat steps b) to e) twice and calculate the average value.

G.7.5 Acceptance criteria

Respective border limits can be found in 9.1.

G.7.6 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- test results,
- measuring voltage,
- number of measurements,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.8 Liquid conductivity

G.8.1 General

Usually, conductivity meters with dip electrodes are sufficiently exact for electrostatic purposes. In any case, the temperature should also be reported because conductivity is strongly dependant on temperature.

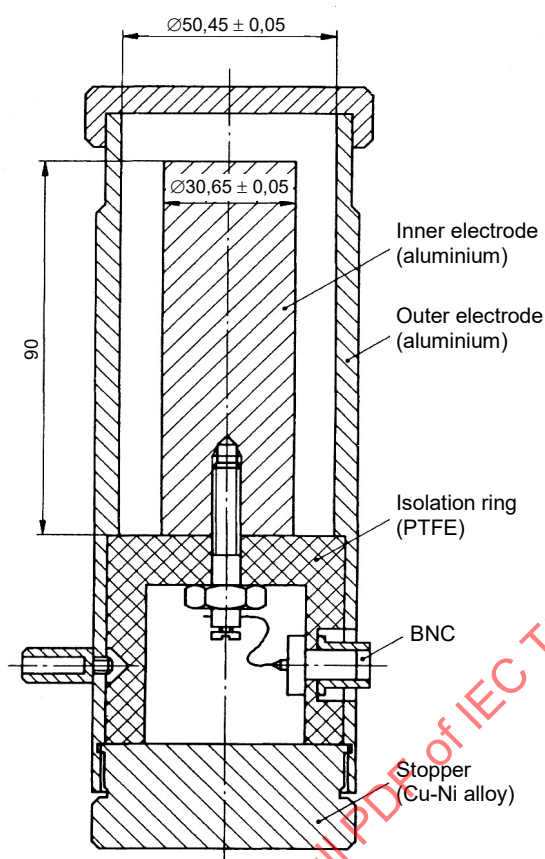
If more exact values are needed, a specific test cell such as the cell described in the following section should be used. The cell can be used for single phase and stable multiphase liquids. Alternatively, the conductivity may be determined according to IEC 60247.

G.8.2 Principle

A constant volume of liquid is filled in a specific measuring cell with two electrodes. The resistance between both electrodes is measured.

G.8.3 Apparatus

Figure G.3 describes a measuring cell according to DIN 51412-1 with a cell constant K of 1/m. Other cell dimensions are possible but the cell constant of this arrangement has to be determined from geometry. A DC voltage U of (100 ± 1) V should be applied between the inner and the outer electrode and the resulting current I should be recorded with a picoammeter coupled to an oscilloscope or Personal Computer.



Dimensions in millimetres

Figure G.3 – Measuring cell for liquid conductivity

G.8.4 Procedure

The measurement procedure is as follows:

- Pour $(100 \pm 0,5) \text{ cm}^3$ of the original untreated test liquid in the measuring cell and close it with the lid.
- Record the current I of the filled test cell between the electrodes at 100 V for the time t with an oscilloscope or Personal Computer coupled to a picoammeter.

NOTE In most cases, a test voltage of 100 V is sufficient. Higher voltages can lead to unwanted physical or chemical effects.

- Extrapolate the current I_0 for $t = 0$ from the recorded course of I .
- Calculate the conductivity σ in S/m according to

$$\sigma = K \times I_0 / U$$

$$- 1 \text{ pS/m} = 10^{-12} \text{ S/m} = 1 \text{ cu (conductivity unit)}$$

- Repeat the procedure twice

G.8.5 Acceptance criteria

Respective border limits can be found in 7.1.4.

G.8.6 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,

- date of measurement,
- temperature,
- description and identification of the sample,
- median conductivity,
- measuring voltage,
- number of measurements,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.9 Capacitance

G.9.1 General

Avoiding isolated conductors is one of the most important electrostatic rules. For this reason only small isolated conductive objects with low capacitances are allowed in hazardous areas. To check whether the suspected conductive object (e.g. metal screws of an enclosure, metal connecting sockets of hand-held equipment) is within the allowed limits, the following test should be executed. Metal sockets and contacts which are situated so deep in an enclosure that discharges to approaching earthed objects are not expected need not be tested.

G.9.2 Principle

The test sample is placed on an unearthed metallic plate and the capacitance between exposed conductive parts and the metallic plate is measured with a capacitance meter.

G.9.3 Apparatus

The measuring device consists of an unearthed metal plate that significantly exceeds the area of the test sample and a capacitance meter able to measure between 1 and 10 pF with a measuring uncertainty of less than 0,5 pF at a measuring frequency of at least 1 000 Hz. The applied voltage should be between 1 V and 9 V. The negative measurement lead is connected to the metal plate. The positive lead is freely available for capacitance measuring. The connection leads should be as short as possible to avoid stray currents. Metallic plates with surface oxidation should be avoided as this may lead to erroneous results.

NOTE A battery powered capacitance meter may be necessary to ensure stable readings without earth loops.

Other electrical equipment, especially fluorescent lamps, should be kept at least two meter away from the test sample.

G.9.4 Test sample

The test should be carried out on a fully assembled sample of the equipment. The sample should be conditioned in a climatic conditioning chamber for at least 1 h at a temperature of $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and a relative humidity of $(25 \pm 5) \%$.

G.9.5 Procedure for moveable items

The capacitance between each exposed metallic part on the test sample and the metal plate should be measured as follows:

- a) Place the sample on the metal plate. The conductive part of the sample to be measured must remain isolated from the plate. If the sample requires support, it may be held in position with clamps made of insulating material, but should not be held by hand.
- b) The positions of the samples are to be such that the exposed metallic test point being measured is as close as possible to the unearthed metal plate without contacting the

plate. However, if the external metal part is in electrical contact with internal metal parts, it is necessary to measure the capacitance in all orientations of the equipment to ensure that the maximum capacitance has been determined.

NOTE 1 If a metallic part is not easily accessible to the meter leads, a screw may be inserted to extend the part and create a test point. The screw should be small compared to the metallic part and may not make electrical contact with any other internal metal part.

NOTE 2 Stray capacitance should be minimized by keeping conductive items and the human body at least 50 cm away from the sample under test.

- c) Connect the negative measurement lead of the capacitance meter to the unearthed metal plate.
- d) Position the positive measurement probe of the capacitance meter 3 mm to 5 mm away from the metallic test point and as far as possible from the metal plate. Record the value of this stray capacitance in air to the nearest pF.
- e) Place the positive measurement lead of the capacitance meter in contact with the metallic test point and record the value of the capacitance to the nearest pF.
- f) Compute the difference between the measurements in steps d) and e), and record the value.
- g) Repeat steps d) through f) two times for each test point.
- h) Calculate the average capacitance from the three measurements obtained.
- i) Calculated capacitances less than 2 pF should be reported as < 2pF.

In cases where the capacitance of an isolated metal part is expected to be higher to other metal parts of the object than to earth, this capacitance should additionally be measured and evaluated.

G.9.6 Procedure for installed items

The capacitance between each exposed metallic part on the test sample and earth is to be measured in installed condition (e.g. metal parts within an earthed metal tank system) under worst case conditions. An unearthed counter metal plate is not needed. Measure the capacitance as follows:

- a) Connect the negative measurement lead of the capacitance meter to an earth point. The positive measurement lead of the capacitance meter should be kept as far as possible from that cable.
- b) Follow steps d) to i) of the test procedure described in G.9.5.

G.9.7 Acceptance criteria

The maximum allowed capacitance depends on the type of the hazardous area and is given in Table 2.

G.9.8 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- median capacitance,
- measuring voltage,
- measuring frequency,
- number of measurements,

- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.10 Transferred charge

G.10.1 General

According to IEC 60079-0 and IEC TS 60079-32-1, the maximum allowed surface area of insulating materials is limited in explosive atmospheres. However, there are many cases where a sufficient safety level is still achieved with insulating materials. These cases include surfaces with embedded corona tips, enclosures backed with printed boards as well as materials with an internal breakthrough voltage of only a few kilovolts. For this reason the following charging test may be executed with the evaluated object if surface area requirements cannot be fulfilled.

In some cases the test has to be modified. For example, in case of evaluating a filler pipe for motor cars, a measurement of the charge generated on the filler pipe by streaming high chargeable fuels under worst case conditions is preferred.

NOTE One of the highest chargeable liquids is toluene in technical quality. However, toluene presents a significant fire risk. Therefore, in SAE J1645 a technical hydrosulfurated heavy naphtha, boiling range 145 °C to 200 °C, flashpoint 40 °C, is proposed (commercial name: white spirit, Stoddard solvent, or Testbenzin).

In the case of garments, the test may produce results which conflict with other established test methods. For this reason, garments are usually tested by the method of charge decay in G.12 or EN 1149-3.

G.10.2 Principle

Sparks occur when a capacitance C charged to a voltage U is discharged via a spark gap. It is known from literature that every explosive atmosphere has a specific minimum ignition volume necessary to become ignited by a certain minimum ignition energy. Therefore, doubling the length of a spark gap results in halving U effective in one ignition volume (second law of Kirchhoff). Due to this linear correlation between incendivity and U , the transferred charge $C \times U$ correlates better with the incendivity of a discharge than its energy $\frac{1}{2} C \times U^2$.

These facts allow the measurement of the transferred charge of provoked discharges under worst case conditions to assess electrostatic ignition hazards.

G.10.3 Apparatus

The following items are needed:

- 1) A table or rigid sheet of dissipative material, e.g. untreated wood;

NOTE The correct use of a dissipative table surface guarantees a strong charge accumulation on the charged surface due to charge binding effects. After lifting the sample from the table the charges are no longer bound by opposite charges of the table yielding optimal conditions for discharging.

- 2) Cloths made of materials free from finishes from the positive and negative end of a triboelectric series large enough to avoid contact between the test sample and the fingers of the testing person during the rubbing process, and a glove or other piece of smooth natural leather.

NOTE 1 See IEC TR 61340-1 for a triboelectric series.

NOTE 2 Suitable positive materials for tribocharging are e.g. smooth natural leather, sheep wool felt, polyamide cloth for rain coats, cotton, and cat fur. Suitable negative materials for tribocharging are e.g. polyurethane and polyethylene table cloth.

- 3) A single pointed metal needle electrode or multi-needle electrodes having a connection of the electrode(s) to the minus pole of a high voltage power supply of 30 kV to 70 kV dc for corona charging.
- 4) One of the following or equivalent equipment for measuring charge transfer:
 - a) A polished metal electrode of (25 ± 5) mm in diameter coupled to the 50 Ω input of an oscilloscope of at least 1 Gigasamples/s and 300 MHz bandwidth having a circular arranged earthed shunt resistance of $(0,25 \pm 0,05)$ Ω of at least 300 MHz in bandwidth (see Bibliography, von Pidoll), or
 - b) A polished metal electrode of (25 ± 5) mm in diameter coupled to an earthed (100 ± 10) nF capacitor with a (15 ± 2) k Ω resistor in parallel, both connected to the input of a voltmeter automatically triggering and holding the highest value (see Bibliography, Schnier), or
 - c) A polished metal electrode of (3 ± 1) mm in diameter in a smooth edged hole of (5 ± 1) mm in diameter of an earthed hollow sphere of (25 ± 5) mm in diameter, connected to an earthed (100 ± 10) nF capacitor at the input of a coulomb meter (see Bibliography, Chubb).
- 5) A flat round disk, less than 3 mm thickness, made of PTFE with an area exceeding 20 000 mm² as a highly chargeable reference (see Bibliography, von Pidoll).

G.10.4 Test sample

The test should be carried out on a fully assembled sample of the product or a material with the same fabrication parameters. This sample should not have been previously subjected to other tests and may consist of any combination of insulating, conductive or dissipative materials.

NOTE It is advantageous to test the fully assembled product because charge binding effects, e.g. due to internal conductive items, may help to prevent hazardous discharges.

The sample should be conditioned in an environmental conditioning chamber for at least 24 h at a temperature of (23 ± 2) °C and a relative humidity of (25 ± 5) % RH.

The test sample should have an intact clean surface. As any solvent may leave conductive rests on the surface it is best to clean the surface with a brush only. This is especially important in cases where the surface is treated with special antistatic agents.

If, however, fingerprints or other dirt is visible on the surface and no special antistatic agents are used on the surface the test sample should be cleaned according to G.2.4.

G.10.5 Procedure

All insulating parts of the test sample should be tested. Conductive parts should be earthed during testing if earthing is ensured during use.

The test is conducted as follows:

- a) The correct operation of the measuring system should be confirmed e.g. by test pulses of approximately 50 nC from a spherical electrode at the input of a calibrated electrostatic voltmeter of known input capacitance (e.g. 10 pF) and known applied voltage (e.g. 5 kV). Alternatively, a very short connection of a 1,5 V battery (typically 1,65 V) to the input of a coulombmeter (typically 100 nF input capacitance) should display the transferred charge (typically 165 nC).
- b) Check the test steps 3 to 12 with the reference PTFE disk and verify that at least 100 nC is obtained.
- c) Rub the test sample with a material from the positive end of the triboelectric series. Whilst rubbing at least one stroke per second with medium force (approximately 40 N), in direction away from the test person. The test surface should not be contacted with the

bare hand. Rubbing should continue for (10 ± 1) s and should be terminated with a hard rubbing stroke.

NOTE The medium force of 40 N may be controlled by a weighing machine.

- d) Grab the sample by using an isolated grip to minimize inadvertent discharge.
- e) Lift the sample carefully at least 20 cm away from the table losing as little charge as possible.
- f) Discharge the sample as quickly as possible by slowly moving the spherical electrode of the measuring equipment towards the test sample until a discharge occurs. Particular attention should be made to discharge the most hazardous parts of the sample, e.g. great surface areas and small conductive items.

NOTE Discharges occurring at gaps less than 2 mm for IIA, 1 mm for IIB and 0.5 mm for IIC are less incendive than expected by their transferred charge due to quenching effects at the electrodes.

- g) Immediately remove the sample from the vicinity of the electrode.
- h) Read the value from the display or integrate the recorded current (horizontal setting typically 40 ns/div) and multiply it with the known calibration factor.

NOTE Experts advice may be necessary if multiple discharges are recorded.

- i) Repeat the test nine times.
- j) Repeat steps 3-9 with a material from the negative end of the triboelectric series.
- k) Repeat steps 3-9 with a second material from the positive end of the triboelectric series
- l) Repeat steps 3-9 with a third material or hit the sample five times with the smooth part of a leather glove, for ten times.
- m) Check whether the test sample contains insulating parts backed with a conductor or is dissipative or conductive. If yes continue with 16, if no go to step 14.

NOTE This is necessary to ensure that propagating brush discharges, which damage the measuring equipment, cannot occur.

- n) Charge the sample by positioning the corona electrode slightly above the test sample and charge it with small circular motion. Remove the electrode after 5 s far away from the sample while the high voltage is still applied in order to avoid back spraying of charges from the charged sample to the electrode.

NOTE Circular motion is not necessary in case of a multi-needle electrode.

- o) Continue with steps 4 to 9.
- p) End of test.

G.10.6 Acceptance criteria

The highest value of all charging methods should be used for the assessment procedure.

The maximum allowed value depends on the type of the hazardous area and is given in Table 4.

Charging by corona and whipping with a leather glove are strong charge generating processes comparable to machine rubbing, charging by electrons in the vicinity of ionisers and electrostatic spraying equipment or charging by streaming liquids and powders.

G.10.7 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,

- description and identification of the sample,
- type of clothes used,
- corona voltage,
- maximum values obtained,
- number of measurements,
- maximum value obtained with the reference sample,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

If results on corona charging and whipping with a leather glove have been discarded, it should be stated that the test sample may not be used in the presence of charge generating processes stronger than manual rubbing.

G.11 Ignition test

G.11.1 General

A second possibility to evaluate the incendivity of provoked discharges under worst case conditions are experiments with an ignition probe producing a defined explosive atmosphere in the region of the provoked discharges. A suitable discharge probe is described in IEC 61340-4-4 (Figures G.4 and G.5).

An equipment other than that specified may be used if it reproduces the principles of the test and can give comparable results.

G.11.2 Apparatus

The ignition probe according to IEC 61340-4-4 is a cylinder made from rigid non-conductive material such as polycarbonate or acrylic with an internal diameter of (70 ± 5) mm and an internal length of (100 ± 5) mm (Figure G. 4). The material used for constructing the probe should be of sufficient thickness and strength to withstand repeated ignition without cracking, distorting or otherwise failing.

One end of the cylinder is closed apart from a central port to allow the inflow of the flammable gas. The size of the inlet port is not critical but should be large enough to allow the required flow rate to be achieved without excessive pressure build-up. A suitable flame arrestor should be installed in the gas supply line as close as possible to the ignition probe.

A metal plate is fitted to the other end of the cylinder to form a fixing base for the discharge electrode (Figure G.5). The metal plate is drilled with holes, (5 ± 1) mm in diameter to allow the uniform flow of gas through it and around the discharge electrode.

A spherical metal electrode of diameter (20 ± 5) mm is mounted centrally to the metal plate. The electrode, metal plate and any other metal or conductive material in the ignition probe are connected to a common point earth via a low impedance ($<10 \Omega$) connection. The earth point should be the common point earth for local structures and equipment. The common earth point may be connected to the electricity supply earth. The connection between the electrode, the metal plate and the earth connector should be sufficiently robust to withstand physical and thermal impacts. The electrical continuity between the discharge electrode and the earth connector should be checked prior to use.

The ignition probe is filled with glass or porcelain beads, nominally 1 mm to 2 mm diameter, which are retained by a fine metal gauze or mesh at either end of the main cylinder. The

beads assist in the mixing of the gases and also contribute to preventing propagation of any flame back through the probe.

An adjustable shroud made from insulating material is fitted to the cylinder to direct gas over the discharge electrode and into the region in front of the discharge electrode where electrostatic discharges take place. The opening in this shroud is (40 ± 5) mm.

The flammable gas is generated by mixing the test gas (minimum 99,5 % purity) with air. The air used should contain $(21,0 \pm 0,5)$ % oxygen and $(79,0 \pm 0,5)$ % nitrogen. The gas control and mixing apparatus is used to direct the gas in the appropriate proportions to the ignition probe. The volume concentrations of the test gas used are shown in Table G.1.

Table G.1 – Volume concentrations of flammable gas mixtures

Test gas	Volume concentration	Minimum ignition energy ^a	Explosion group
Hydrogen	$(22,0 \pm 0,3)$ % in air	0,016 mJ	IIC
Ethylene	$(8,0 \pm 0,1)$ % in air	0,082 mJ	IIB
Propane ^b	$(5,2 \pm 0,1)$ % in air	0,25 mJ	IIA
^a See C.6.			
^b See EN 50050.			

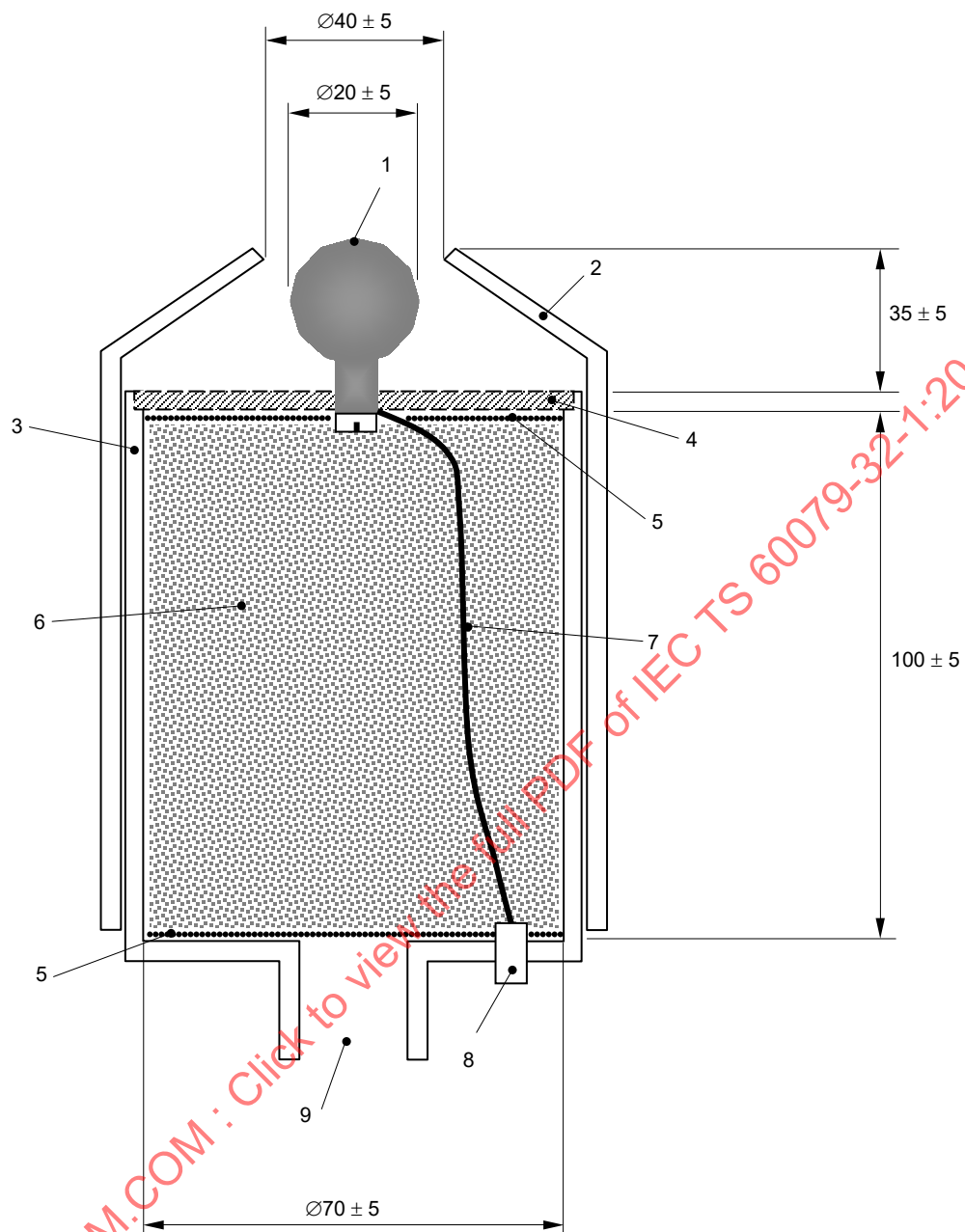
The control of the gas mixture within the specified tolerances should be checked using, for example, an infra-red gas analyzer sampling the gas mixture supply line.

If a gas mixture other than that specified in Table G.1 is used, the minimum ignition energy of the gas mixture should be verified using the ASTM E582-88 method.

It is convenient to use compressed gas cylinders for the gas supply, but other sources of supply may be used. If necessary, molecular sieve filters should be used to ensure the gases have low moisture content. This is particularly important, for example, when using air directly from a compressor.

Each gas supply is controlled and monitored using flowmeters and valves. The combined flow-rate of all gases through the ignition probe should be $(0,21 \pm 0,04)$ l/s.

A fast action shut-off valve is used to stop the flow of test gas when ignition occurs. The shut-off valve should stop the supply of test gas whilst leaving the air to flow freely to provide cooling and drying of the ignition probe after ignition has occurred. The type and location of the shut-off valve should be selected as appropriate to the specific design of the overall apparatus.

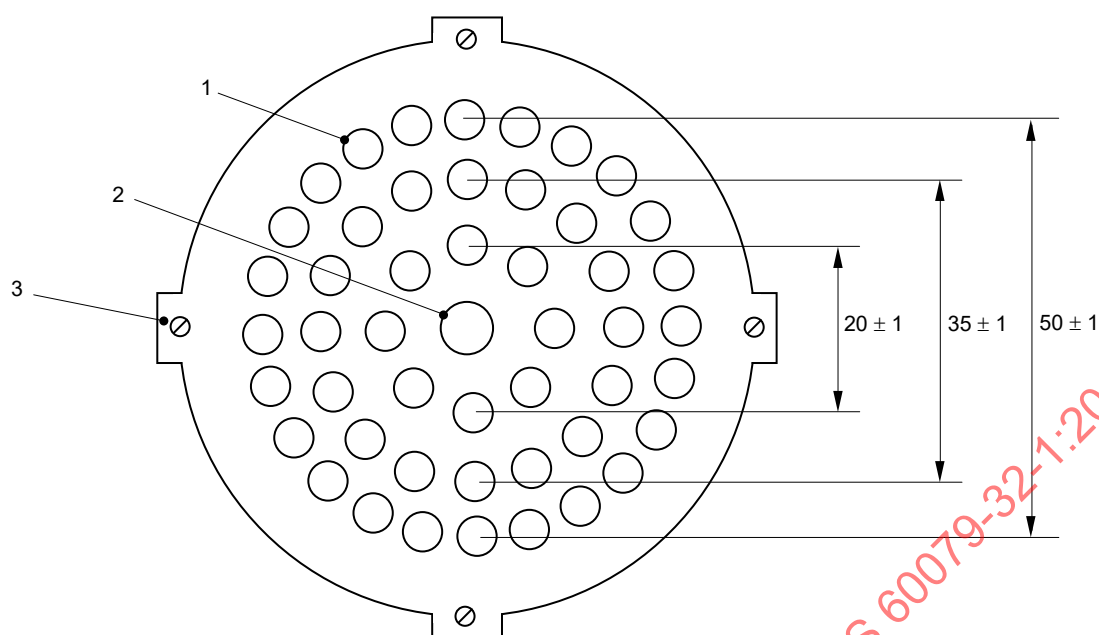


Dimensions in millimetres

Key

- | | |
|---|--|
| 1 discharge electrode | 5 fine metal mesh or gauze (e.g. copper) |
| 2 adjustable shroud made from insulating material (e.g. polycarbonate or acrylic) | 6 beads (e.g. glass or porcelain), 1–2 mm diameter (nominal) |
| 3 cylinder made from insulating material (e.g. polycarbonate or acrylic) | 7 robust earth connection |
| 4 perforated metal plate (2mm nominal thickness) | 8 earth connector |
| | 9 inlet port for flammable gas |

Figure G.4 – Ignition probe



Dimensions in millimetres

Key

- 1 perforation (5 ± 1) mm diameter
- 2 mounting hole for discharge electrode
- 3 screw for securing plate to body of ignition probe

Figure G.5 – Perforated plate of ignition probe

G.11.3 Procedure

Ignition tests are carried out by bringing the ignition probe close to the charged test sample with the flammable gas mixture flowing through the probe. The same test procedure as described in G.10.4, steps 2 to 16, should be executed except that the numbers of test sequences should at least be doubled to compensate statistical scatters.

G.11.4 Acceptance criteria

Any ignition occurring should be regarded as product failure for the explosion group given by the specific gas mixture.

Charging by corona and whipping with a leather glove are strong charge generating processes comparable to machine rubbing, charging by electrons in the vicinity of ionisers and electrostatic spraying equipment or charging by streaming liquids and powders.

G.11.5 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- type of clothes used,
- corona voltage,

- ignition test results,
- number of non ignitions obtained,
- ignition was obtained with the reference sample,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next check,
- number of this standard.

G.12 Measuring of charge decay

G.12.1 General

Another possibility to evaluate the chargeability of a material, and one that is preferable for garments, is measuring of its charge decay according to IEC 61340-2-1.

NOTE In Europe, the method described in EN 1149-3 is used to determine charge decay from personnel protective clothing.

G.12.2 Principle

The material is charged by corona and the decay of its surface equivalent voltage, measured with a field meter, is recorded in between a given voltage interval.

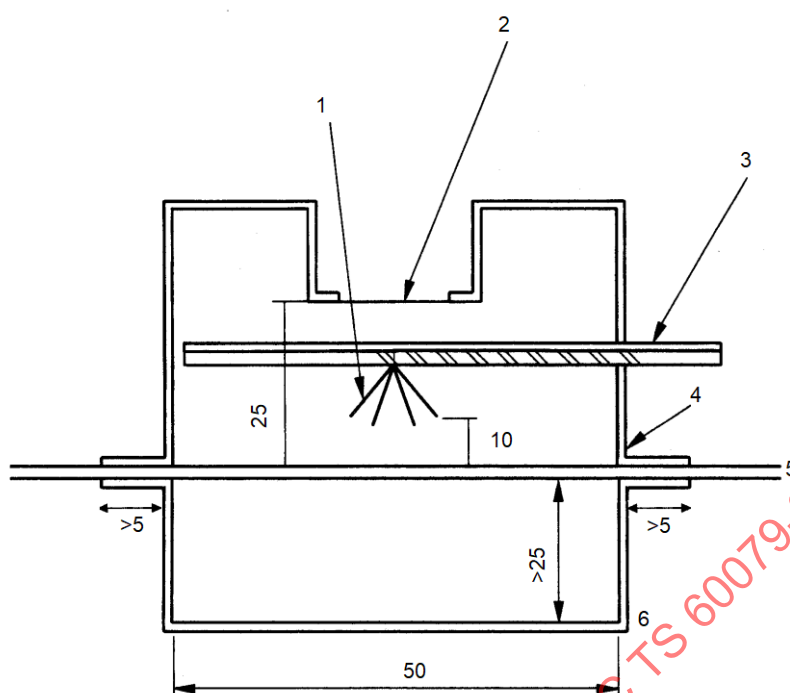
G.12.3 Apparatus

An example of the apparatus is shown in Figure G.6. The test aperture for deposition and measurement of deposited charge should be 50 mm diameter or an equivalent area quasi-square aperture. All the corona points are mounted in a 10 mm diameter circle on a movable plate 10 mm above the centre of the test aperture. The fieldmeter sensing aperture should be 25 mm above the centre of the test area. When the plate with the corona points is moved fully away, the test area should be clear up to the plane of the fieldmeter sensing aperture.

The field meter should be a field-mill type of instrument able to measure the surface voltage with an accuracy of 5 V to below 40 V with a respond time (10 % to 90 %) below 10 ms. The stability of zero should allow measurements of surface voltage with this accuracy over the longest decay times to be measured. Any rest ionization in the measuring chamber should be less than 10 V which can be evaluated with fully conductive garments.

The field meter should be connected to a Personal Computer or an oscilloscope to record charge decay.

NOTE More details about this measuring procedure and drawings of the necessary apparatus can be found in IEC 61340-2-1.



Dimensions in millimetres

Key

- 1 10 mm diameter circle of corona points
- 2 Fieldmeter sensing aperture
- 3 Movable plate:
 - insulating plate: to mount corona points (resistance to ground $> 10^{14} \Omega$)
 - earthed top surface: to shield fieldmeter
- 4 Earthed casing
- 5 Sample
- 6 Open-shielded backing

NOTE All dimensions are nominal.

Figure G.6 – Example of an arrangement for measurement of charge decay

G.12.4 Test sample

The sample is typically a garment material of at least 60 mm in diameter. Remove any loose dust by gently brushing or blowing with clean air. Further cleaning should only be done if this is agreed to. However, do not test obviously contaminated parts.

The atmosphere for conditioning and testing should be $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(25 \pm 5) \%$ relative humidity. The conditioning time prior to the testing should be at least 48 h, or as otherwise agreed.

G.12.5 Procedure

The test procedure is as follows:

- a) Clamp the garment in the apparatus.
- b) Move the middle plate so that the corona points are effectively placed and the field meter is shielded.

- c) Apply 5 kV to 10 kV negative on the corona points for $(1 \pm 0,5)$ seconds.
- d) Remove the middle plate so that the field meter can measure the equivalent surface potential of the probe.
- e) Measure the charge decay from the initial voltage to the agreed lower voltage level.
- f) Repeat steps b) to e) two times on different locations.
- g) Repeat steps a) to f) with positive polarity.

G.12.6 Acceptance criteria

Acceptable decay time is dependent on the charging processes involved in the application. For manual processes where charging is dependent on human activity, a decay time from 1 000 V to 100 V in about 1 s to 2 s is generally acceptable. Where charging currents are higher, shorter decay times may be required.

G.12.7 Test report

The test report should include at least the following information:

- measuring laboratory,
- date of measurement,
- temperature and relative humidity,
- description and identification of the sample,
- test results,
- applied corona voltage
- charging time,
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

G.13 Breakthrough voltage

G.13.1 General

The electrical breakthrough voltage should be measured according to the short-time (rapid rise) test in IEC 60243-1 with the additional requirements of IEC 60243-2 for DC testing.

G.13.2 Principle

The test sample is placed between two metal electrodes. A DC voltage is applied and increased until breakthrough occurs.

G.13.3 Apparatus

In cases of plates, discs and sheets, the sample is placed between two metal cylinders. According to IEC 60243-1, the first is (25 ± 1) mm in diameter, (25 ± 1) mm in height, pressed with 1 kg on the sample, and the second one (75 ± 1) mm in diameter, (10 ± 1) mm in height (Figure G.7). The edges of the metal cylinders should be rounded with a radius of $(3 \pm 0,2)$ mm to avoid corona discharges. In the case of small hoses the electrodes should be a metal rod closely in contact with the inside of the hose and a metal foil tape at the outer side of the specimen.

- description and identification of the sample,
- median breakthrough voltage or reaching 1 mA limit, whatever is applicable.
- identification of the used instrumentation,
- date of its most recent as well as its next calibration,
- number of this standard.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013

Bibliography

IEC 60243-1, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60243-2, *Electric strength of insulating materials – Test methods – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*

IEC 61241-2-3, *Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust – Part 2: Test methods – Section 3: Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures*

IEC 61340-2-1, *Electrostatics – Part 2-1: Measurement methods – Ability of materials and products to dissipate static electric charge*

IEC 61340-4-5, *Electrostatics – Part 4-5: Standard test methods for specific applications – Methods for characterizing the electrostatic protection of footwear and flooring in combination with a person*

IEC 61340-4-7, *Electrostatics – Part 4-7: Standard test methods for specific applications – Ionization*

IEC TS 61241-2-2, *Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust – Part 2: Test methods – Section 2: Method for determining the electrical resistivity of dust in layers*

IEC TR 61340-1, *Electrostatics – Part 1: Electrostatic phenomena – Principles and measurements*

ISO 1813, *Belt drives – V-ribbed belts, joined V-belts and V-belts including wide section belts and hexagonal belts – Electrical conductivity of antistatic belts: Characteristics and methods of test*

ISO 8028, *Rubber and/or plastics hoses and hose assemblies for airless paint spraying – Specification*

ISO 8330, *Rubber and plastics hoses and hose assemblies – Vocabulary*

ISO 10965, *Textile floor coverings – determination of electrical resistance*

ISO 13688, *Protective clothing – General requirements*

ISO 20344, *Personal protective equipment – Test methods for footwear*

ISO 20345, *Personal protective equipment – Safety footwear*

API/IP RP 1540, *Design, Construction, Operation and Maintenance of Aviation Fuelling Facilities*

ASTM D2624-07a, *Standard Test Methods for Electrical Conductivity of Aviation and Distillate Fuels*

CENELEC TR 50404, *Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity*

DIN 54345-5, *Testing of textiles; electrostatic behavior; determination of electrical resistance of strips of textile fabrics*

EC Directive 89/686/EEC, *Personal Protective Equipment*

EC Directive 99/92/EC, *Minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres*

EN 1149-1, *Protecting clothes – Electrostatic properties – Part 1: Test method for measuring the surface resistivity*

EN 1149-2, *Protecting clothes – Electrostatic properties – Part 2: Test method for measuring the volume resistivity*

EN 13821, *Potentially explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – Determination of minimum ignition energy of dust/air mixtures*

EN 50050, *Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres – Electrostatic hand-held spraying equipment*

EN 50059, *Specification for electrostatic hand-held spraying equipment for non-flammable material for painting and finishing*

EN 50176, *Automatic electrostatic spraying installations for flammable liquid spraying material*

EN 50177, *Automatic electrostatic spraying installations for flammable coating powder*

EN 50223, *Automatic electrostatic spraying installations for flammable flock material*

NFPA 69, *Standard on explosion prevention systems*

NFPA 484, *Standard for combustible metal*

TRBS 2153¹⁰, *Avoidance of ignition hazards due to static electricity*. Editor: Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Heidelberg, Germany (available in German only)

BIA-Report 12/97: *Burning and explosion characteristics of dusts*, 1997 (in German language only). Editor: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., St. Augustin, Germany.

G. L. Hearn, *Electrostatic ignition hazards arising from fuel flow in plastic pipelines*, J. Loss Prevention, 15, (2002), 105-109.

H. L. Walmsley, *The generation of electric currents by the turbulent flow of dielectric liquids: 1. Long pipes*, J. Phys D Appl Phys, 15, (1982), 1907-1934.

H. L. Walmsley and J. Mills, *Electrostatic Ignition Hazards in Road Tanker Loading: Part 1, Review and Experimental Measurements*, J. Electrostatics, 28, (1992), 61-87.

H. L. Walmsley, *The electrostatic fields and potentials generated by the flow of liquid through plastic pipes*. Journal of Electrostatics 38 (1996), 249-266.

¹⁰ This document supersedes BGR 132:2004 and ZH1/200:1989.

H. L. Walmsley, *Electrostatic ignition hazards with plastic pipes at petrol stations*, J. Loss Prevention 25 (2012) 263-273.

I. Koszman and J. Gavis, *Development of charge in low-conductivity liquids flowing past surfaces: Experimental verification and application of the theory developed for tube flow*, Chem Engng Sci, 17, (1962), 1023-1040.

K. Asano, *Electrostatic potential and field in a cylindrical tank containing liquid*, Proc IEE, 124, (1977), 1277-1281.

L. G. Britton, *Avoiding static Ignition Hazards in Chemical Operations*, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York 1999.

L. G. Britton, and H. L. Walmsley, *Static Electricity: New Guidance for Storage Tank Loading Rates*, Process Safety Progress, 31 No. 3, (Sept 2012).

L. G. Britton and J. A. Smith, *Static hazards of drum filling*, Plant/Operations Progress, 7 No. 1 (1988), 53-62, 63-78.

L. G. Britton and J. A. Smith, *Static ignition hazards of 'conductive' liquids during container filling*, Process Safety Progress, 29 No.2 (June 2010), 98-102.

L. G. Britton, and J. A. Smith, *Static Hazards of the VAST*, J. Loss Prevention, 25 (2012), 309-328.

L. Post, M. Glor, G. Lüttgens and B. Maurer, *The avoidance of ignition hazards due to electrostatic charges occurring during the spraying of liquids under high pressure*. J. Electrostatics 23 (1989), 99-109.

M. Glor, *Overview of the occurrence and incendivity of cone discharges with case studies from industrial practice*. J. Loss Prevention 14 (2001) 123-128.

M. Glor and K. Schwenzfeuer, *Direct ignition tests with brush discharges*. J. Electrostatics 63 (2005) 463-468.

N. Gibson and F. C. Lloyd, *Incendivity of discharges from electrostatically charged plastics*. British J. Applied Physics 16 (1965), 1619-1631.

Shell Safety Committee: 1988 *Static Electricity, Technical and Safety Aspects* Shell International Petroleum Maatschappij B.V., The Hague, the Netherlands, June 1988 (also available as J. Electrostatics, 27, parts 1 & 2).

T. Langer, G. Gramse, D. Möckel, U. von Pidoll and M. Beyer, *MIE experiments and simultaneous measuring of the transferred charge*. 13th International Conference on Electrostatics April 10th to 14th 2011 Bangor, Wales. 2011 J. Phys.: Conf. Ser. 301 012040.

U. von Pidoll, *Electrostatics requirements for Intermediate Bulk Containers Intended for Use in Explosive Atmospheres*. J. Electrostatics 51-52 (2001) 387-394.

U. von Pidoll, E. Brzostek and H.-R. Froechtenigt, *Determining the incendivity of electrostatic discharges without explosive gas mixtures*. IEEE Trans. Industry Applications, 40 (2004), 1467-1475.

U. von Pidoll, *Ignitability of spray clouds of organic solvents, solvent/water mixtures and water-based paints by electric sparks and open flames*. IEEE Trans. Industry Applications, 44/1 (2008), 15-19.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	181
INTRODUCTION.....	183
1 Domaine d'application	184
2 Références normatives	184
3 Termes et définitions	187
4 Nomenclature	190
5 Généralités	191
6 Electricité statique dans les matériaux solides	193
6.1 Remarques d'ordre général.....	193
6.2 Utilisation de matériaux conducteurs ou dissipatifs à la place de matériaux isolants	195
6.2.1 Remarques d'ordre général	195
6.2.2 Matériaux solides dissipatifs	196
6.2.3 Mise à la terre des matériaux conducteurs et dissipatifs	196
6.3 Précautions exigées lors de l'utilisation de matériaux solides isolants	198
6.3.1 Généralités	198
6.3.2 Restrictions concernant la taille des surfaces isolantes électrisables	199
6.3.3 Treillis métalliques mis à la terre	200
6.3.4 Revêtements isolants sur des surfaces conductrices mises à la terre	201
6.3.5 Revêtements conducteurs ou dissipatifs sur des matériaux isolants.....	202
6.3.6 Agents électrostatiquement dissipatifs	202
6.3.7 Humidification.....	202
6.3.8 Ionisation/Neutralisation de charges	203
6.3.9 Méthodes de détermination de l'inflammabilité des décharges	204
6.4 Courroies transporteuses et courroies de transmission	205
6.4.1 Généralités	205
6.4.2 Courroies transporteuses.....	205
6.4.3 Courroies de transmission	207
7 Electricité statique dans les liquides	208
7.1 Remarques d'ordre général.....	208
7.1.1 Occurrence des atmosphères inflammables	208
7.1.2 Sensibilité à l'inflammation et limitations concernant le domaine d'application des conseils fournis.....	209
7.1.3 Mécanismes d'électrisation	209
7.1.4 Accumulation de charges et classifications de conductivité	209
7.1.5 Décharges incendiaires générées lors des opérations de manipulation de liquides	211
7.2 Récapitulatif des précautions à prendre contre les dangers d'inflammation lors des opérations de manipulation de liquides	212
7.2.1 Mise à la terre et évitement des conducteurs isolés	212
7.2.2 Restriction de la génération de charges	212
7.2.3 Evitement d'une atmosphère inflammable	213
7.2.4 Amélioration de la dissipation des charges	213
7.3 Citernes et conteneurs	214
7.3.1 Généralités	214
7.3.2 Citernes et conteneurs conducteurs	214
7.3.3 Citernes et conteneurs réalisés entièrement en matériau dissipatif	229

7.3.4	Citernes et conteneurs munis de surfaces isolantes.....	229
7.3.5	Utilisation de revêtements dans les conteneurs	234
7.4	Liquides à haute viscosité	235
7.5	Équipements de forte charge	235
7.5.1	Filtres, séparateurs d'eau et tamis	235
7.5.2	Pompes et autres équipements.....	237
7.6	Calibrage et échantillonnage dans les citernes	237
7.6.1	Généralités.....	237
7.6.2	Précautions à prendre lors des opérations de calibrage et d'échantillonnage.....	237
7.7	Tuyaux et flexibles pour les liquides.....	238
7.7.1	Généralités.....	238
7.7.2	Canalisations.....	238
7.7.3	Tuyaux et flexibles.....	241
7.8	Procédures de remplissage particulières.....	249
7.8.1	Avitaillement d'avions	249
7.8.2	Livraisons par camions-citernes.....	251
7.8.3	Stations-service.....	251
7.8.4	Systèmes de manipulation de liquides mobiles ou temporaires	256
7.9	Processus industriels (mélange, brassage, mixage, cristallisation et réacteurs agités).....	256
7.9.1	Généralités.....	256
7.9.2	Mise à la terre	257
7.9.3	Mélange en continu	257
7.9.4	Mélange dans réservoirs ou citernes	257
7.9.5	Mélange à jet.....	258
7.9.6	Mixage à grande vitesse.....	258
7.10	Pulvérisation de liquides et nettoyage de citernes.....	258
7.10.1	Généralités.....	258
7.10.2	Nettoyage de citernes avec des jets d'eau à basse ou moyenne pression (jusqu'à 12 bar environ).....	259
7.10.3	Nettoyage de citernes avec des liquides de conductivité faible	259
7.10.4	Nettoyage de citernes avec des jets d'eau ou de solvant à haute pression (> 12 bar)	260
7.10.5	Nettoyage de citernes à la vapeur	260
7.10.6	Systèmes déluge	260
7.11	Systèmes en verre	261
7.11.1	Généralités.....	261
7.11.2	Précautions à prendre pour les liquides de conductivité faible	261
8	Electricité statique dans les gaz	262
8.1	Généralités	262
8.2	Grenailage	263
8.3	Extincteurs d'incendie	263
8.4	Inertage	263
8.5	Nettoyage à la vapeur.....	263
8.6	Fuite accidentelle de gaz comprimé	264
8.7	Pulvérisation de peintures et poudres inflammables.....	264
8.7.1	Généralités.....	264
8.7.2	Mise à la terre	264
8.7.3	Cabines de pulvérisation en plastique.....	265

8.8	Aspirateurs fixes et mobiles	265
8.8.1	Généralités	265
8.8.2	Systèmes fixes	265
8.8.3	Systèmes portatifs	266
8.8.4	Camions-vidange	266
9	Electricité statique dans les poudres	266
9.1	Généralités	266
9.2	Décharges, occurrence et inflammabilité	267
9.3	Mesures procédurales	268
9.3.1	Généralités	268
9.3.2	Humidification	268
9.3.3	Flexibles pour le transfert pneumatique	268
9.3.4	Ionisation	268
9.4	Matériaux en vrac en l'absence de gaz et vapeurs inflammables	269
9.4.1	Généralités	269
9.4.2	Equipements et objets en matériaux conducteurs ou dissipatifs	269
9.4.3	Equipements et objets en matériaux isolants	269
9.4.4	Séparateurs de poussières	270
9.4.5	Silos et conteneurs	270
9.5	Exigences supplémentaires relatives aux matériaux en vrac en présence de gaz inflammables et de fumées	276
9.5.1	Généralités	276
9.5.2	Mesures dans le cas d'une résistivité supérieure à 100 MΩ m	276
9.5.3	Mesures dans le cas d'une résistivité inférieure à 100 MΩ m	277
9.5.4	Remplissage de matériaux en vrac dans un conteneur	277
9.6	Grands récipients pour vrac souples (GRVS)	278
9.6.1	Généralités	278
9.6.2	Précautions supplémentaires lors de l'utilisation de GRVS	281
10	Electricité statique lors de la manipulation d'explosifs et d'appareils électro-explosifs	282
10.1	Fabrication, manipulation et stockage d'explosifs	282
10.1.1	Généralités	282
10.1.2	Protection de premier degré	282
10.1.3	Protection intermédiaire	283
10.1.4	Protection de second degré	283
10.2	Manipulation d'appareils électro-explosifs	283
10.2.1	Généralités	283
10.2.2	Mise à la terre	284
10.2.3	Précautions pendant le stockage et la mise en circulation	284
10.2.4	Précautions pendant la préparation avant l'utilisation	284
11	Electricité statique sur les personnes	285
11.1	Remarques d'ordre général	285
11.2	Sols électrostatiquement dissipatifs	285
11.3	Chaussures dissipatives et conductrices	286
11.4	Appareils supplémentaires pour la mise à la terre des personnes	287
11.5	Vêtements	287
11.6	Gants	289
11.7	Autres éléments	289
12	Choc électrostatique	290

12.1	Introduction.....	290
12.2	Décharges liées aux chocs électrostatiques.....	290
12.3	Sources de chocs électrostatiques.....	291
12.4	Précautions à prendre pour éviter les chocs électrostatiques.....	291
12.4.1	Sources de chocs électrostatiques.....	291
12.4.2	Chocs rapportés par des équipements ou des processus.....	291
12.4.3	Chocs consécutifs à des personnes chargées.....	292
12.5	Précautions à prendre dans les cas particuliers.....	292
12.5.1	Transfert pneumatique.....	292
12.5.2	Aspirateurs.....	293
12.5.3	Bobines de feuille ou film chargé.....	293
12.5.4	Extincteurs d'incendie.....	293
13	Mise à la terre et mise au potentiel.....	293
13.1	Généralités.....	293
13.2	Critères pour la dissipation de l'électricité statique provenant d'un conducteur.....	295
13.2.1	Remarques d'ordre général.....	295
13.2.2	Critères pratiques.....	295
13.3	Exigences de mise à la terre dans les systèmes pratiques.....	297
13.3.1	Systèmes entièrement métalliques.....	297
13.3.2	Installation métallique comportant des parties isolantes.....	299
13.3.3	Matériaux isolants.....	300
13.3.4	Matériaux conducteurs et dissipatifs.....	300
13.3.5	Mise à la terre par l'intermédiaire de circuits de sécurité intrinsèque.....	300
13.3.6	Mise à la terre des navires.....	300
13.4	Etablissement et surveillance des installations de mise à la terre.....	301
13.4.1	Conception.....	301
13.4.2	Surveillance.....	302
Annexe A	(informative) Principes de l'électricité statique.....	303
A.1	Charge électrostatique.....	303
A.1.1	Introduction.....	303
A.1.2	Electrisation par contact.....	303
A.1.3	Electrisation des liquides par contact.....	303
A.1.4	Génération de charges sur des liquides s'écoulant dans des tuyaux.....	304
A.1.5	Génération de charges dans des filtres.....	307
A.1.6	Génération de charges durant le brassage et le mixage des liquides.....	307
A.1.7	Potentiels de décantation.....	307
A.1.8	Dispersion des jets de liquide.....	308
A.1.9	Electrisation des poudres par contact.....	308
A.1.10	Electrisation par induction.....	308
A.1.11	Transfert de charge par conduction.....	308
A.1.12	Electrisation par décharge en couronne.....	309
A.2	Accumulation de charges électrostatiques.....	309
A.2.1	Généralités.....	309
A.2.2	Accumulation de charges sur les liquides.....	310
A.2.3	Accumulation de charges sur les poudres.....	311
A.3	Décharges électrostatiques.....	312
A.3.1	Introduction.....	312
A.3.2	Etincelles.....	312

A.3.3	Décharges en couronne.....	313
A.3.4	Décharges aigrettes.....	313
A.3.5	Décharges glissantes de surface	313
A.3.6	Décharges de type foudre.....	314
A.3.7	Décharges de cône.....	314
A.4	Mesures pour l'appréciation du risque.....	315
Annexe B (informative)	Décharges électrostatiques dans des situations spécifiques	317
B.1	Décharges incendiaires impliquant des matériaux solides isolants	317
B.1.1	Généralités	317
B.1.2	Étincelles provenant de conducteurs isolés	317
B.1.3	Décharges aigrettes provenant de matériaux solides isolants	317
B.1.4	Décharges glissantes de surface provenant de matériaux solides isolants	318
B.2	Décharges incendiaires générées lors des opérations de manipulation de liquides	318
B.2.1	Généralités	318
B.2.2	Vitesses d'écoulement maximales de sécurité calculées pour le remplissage des cuves de stockage moyennes à axe vertical	318
B.3	Décharges incendiaires générées lors des opérations de manipulation et de stockage de poudres.....	320
B.3.1	Généralités	320
B.3.2	Décharges provenant de poudres en vrac.....	320
B.3.3	Décharges provenant de nuages de poudre.....	321
B.3.4	Décharges impliquant des personnes et des conteneurs isolants.....	321
B.3.5	Utilisation de revêtements dans les processus de manipulation de poudres	321
B.3.6	Décharges d'allumage dans les processus de manipulation de poudres.....	321
B.3.7	Décharges aigrettes dans les processus de manipulation de poudres	322
B.3.8	Décharges en couronne dans les processus de manipulation de poudres	322
B.3.9	Décharges glissantes de surface dans les processus de manipulation de poudres	322
Annexe C (informative)	Propriétés d'inflammabilité des substances	324
C.1	Généralités	324
C.2	Incidence de la concentration en oxygène et des conditions ambiantes	324
C.3	Limites explosives pour les gaz et les liquides	324
C.4	Inertage	324
C.5	Point d'éclair	325
C.6	Energies minimales d'inflammation	325
C.7	Poudres combustibles.....	328
C.8	Biocarburants	328
Annexe D (informative)	Classification des zones dangereuses.....	330
D.1	Concept de zonage	330
D.2	Classification	330
D.3	Groupes d'explosion	330
D.3.1	Généralités	330
D.3.2	Groupe I	330
D.3.3	Groupe II	331
D.3.4	Groupe III	331
Annexe E (informative)	Classification du niveau de protection du matériel	332

EPL Ma	332
EPL Mb	332
EPL Ga	332
EPL Gb	332
EPL Gc	332
EPL Da	332
EPL Db	332
EPL Dc	332
Annexe F (informative) Organigramme d'évaluation électrostatique systématique	333
Annexe G (informative) Essais	335
G.1 Généralités	335
G.2 Résistance superficielle	335
G.2.1 Généralités	335
G.2.2 Principe	335
G.2.3 Appareillage	336
G.2.4 Echantillon d'essai	336
G.2.5 Procédure	337
G.2.6 Critères d'acceptation	337
G.2.7 Rapport d'essai	337
G.3 Résistivité superficielle	338
G.4 Résistance de fuite	338
G.4.1 Généralités	338
G.4.2 Principe	338
G.4.3 Appareillage	338
G.4.4 Echantillon d'essai	339
G.4.5 Procédure	339
G.4.6 Critères d'acceptation	339
G.4.7 Rapport d'essai	339
G.5 Essai des chaussures en cours d'utilisation	340
G.5.1 Généralités	340
G.5.2 Principe	340
G.5.3 Appareillage	340
G.5.4 Procédure	340
G.5.5 Critères d'acceptation	340
G.5.6 Rapport d'essai	340
G.6 Essai des gants en cours d'utilisation	341
G.6.1 Généralités	341
G.6.2 Principe	341
G.6.3 Appareillage	341
G.6.4 Procédure	341
G.6.5 Critères d'acceptation	341
G.6.6 Rapport d'essai	341
G.7 Résistivité de la poudre	342
G.7.1 Généralités	342
G.7.2 Principe	342
G.7.3 Appareillage	342
G.7.4 Procédure	343
G.7.5 Critères d'acceptation	343
G.7.6 Rapport d'essai	344

G.8	Conductivité du liquide.....	344
G.8.1	Généralités.....	344
G.8.2	Principe.....	344
G.8.3	Appareillage.....	344
G.8.4	Procédure.....	345
G.8.5	Critères d'acceptation.....	345
G.8.6	Rapport d'essai.....	345
G.9	Capacité.....	346
G.9.1	Généralités.....	346
G.9.2	Principe.....	346
G.9.3	Appareillage.....	346
G.9.4	Echantillon d'essai.....	346
G.9.5	Procédure pour les éléments mobiles.....	347
G.9.6	Procédure pour les éléments fixes.....	347
G.9.7	Critères d'acceptation.....	347
G.9.8	Rapport d'essai.....	347
G.10	Charge transférée.....	348
G.10.1	Généralités.....	348
G.10.2	Principe.....	348
G.10.3	Appareillage.....	348
G.10.4	Echantillon d'essai.....	349
G.10.5	Procédure.....	350
G.10.6	Critères d'acceptation.....	351
G.10.7	Rapport d'essai.....	351
G.11	Essai d'inflammation.....	351
G.11.1	Généralités.....	351
G.11.2	Appareillage.....	352
G.11.3	Procédure.....	355
G.11.4	Critères d'acceptation.....	355
G.11.5	Rapport d'essai.....	355
G.12	Mesure de la décroissance de la charge.....	356
G.12.1	Généralités.....	356
G.12.2	Principe.....	356
G.12.3	Appareillage.....	356
G.12.4	Echantillon d'essai.....	357
G.12.5	Procédure.....	357
G.12.6	Critères d'acceptation.....	358
G.12.7	Rapport d'essai.....	358
G.13	Tension de claquage.....	358
G.13.1	Généralités.....	358
G.13.2	Principe.....	358
G.13.3	Appareillage.....	358
G.13.4	Procédure d'essai.....	359
G.13.5	Critères d'acceptation.....	359
G.13.6	Rapport d'essai.....	359
Bibliographie.....		361

Figure 2 — Organigramme: évaluation d'un matériau en vrac avec $1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$	273
Figure 3 — Organigramme: évaluation d'un matériau en vrac avec $\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$	274
Figure 4 — Différence entre la mise à la terre et la mise au potentiel.....	294
Figure 5 — Conducteur dangereux mis à la terre en contact avec un isolant en mouvement.....	299
Figure A.1 — Circuit électrique équivalent pour un conducteur électrostatiquement chargé	310
Figure B.1 — Vitesses de remplissage maximales de sécurité calculées pour des cuves de moyennes dimensions (voir 7.3.2.2.5.2)	320
Figure F.1 — Organigramme d'évaluation électrostatique systématique	334
Figure G.1 — Echantillon d'essai avec électrodes appliquées	336
Figure G.2 — Cellule de mesure pour la résistivité de la poudre	343
Figure G.3 — Cellule de mesure pour la conductivité du liquide	345
Figure G.4 — Sonde d'allumage	354
Figure G.5 — Plaque perforée d'une sonde d'allumage.....	355
Figure G.6 — Exemple de montage pour la mesure de la décroissance de la charge	357
Figure G.7 — Electrodes pour la mesure de la tension de claquage des feuilles	359
Tableau 1 — Limites frontières de température (23 ± 2) °C et d'humidité relative (25 ± 5) % pour la caractérisation de matériaux solides et exemples de classification d'objets	194
Tableau 2 — Capacité isolée maximale admissible dans les Zones où une atmosphère explosive est présente	198
Tableau 3 — Restriction concernant la taille des matériaux solides isolants en zones dangereuses	200
Tableau 4 — Charge transférée acceptable maximale	205
Tableau 5 — Exigences relatives aux courroies transporteuses	206
Tableau 6 — Exigences relatives aux courroies de transmission.....	207
Tableau 7 — Conductivités et temps de relaxation de certains liquides.....	211
Tableau 8 — Précautions à prendre lors du remplissage de citernes conductrices de grandes dimensions avec des liquides de conductivité faible	217
Tableau 9 — Limites de débit de remplissage pour le remplissage de citernes de moyennes dimensions à axe vertical avec des tuyaux de nomenclature 40	223
Tableau 10 — Limites de vitesse d'écoulement et de débit de remplissage pour le chargement de liquides de conductivité faible dans des citernes à axe horizontal fixes courtes (N=1) avec des tuyaux de nomenclature 40	224
Tableau 11 — Véhicules et compartiments adaptés au chargement ultrarapide pour les véhicules agréés ADR	226
Tableau 12 — Influence de la teneur en soufre sur les limites v_d de distillat moyen pour les camions-citernes	226
Tableau 13 — Limites de vitesse et de taux de remplissage pour les camions-citernes basées sur les tuyaux de nomenclature 40; le débit pour les flexibles est similaire	226
Tableau 14 — Limites de vitesse et de taux de remplissage pour le chargement des wagons-citernes.....	228
Tableau 15 — Classification des résistances de tuyau entre extrémités pour le contrôle des dangers liés à l'électricité statique et aux courants vagabonds	242
Tableau 16 — Classification ISO 8031 des classes de tuyaux.....	244

Tableau 17 — Classes hybrides de tuyaux et flexibles	246
Tableau 18 — Tableau de choix des flexibles pour les applications de manipulation de liquides inflammables	248
Tableau 19 — Utilisation des différents types de GRVS	280
Tableau 20 — Doublures internes et GRVS: combinaisons admissibles et non admissibles en atmosphères dangereuses	281
Tableau 21 — Détermination de l'exigence concernant le port de vêtements de protection électrostatiquement dissipatifs et autres éléments d'équipements de protection individuelle	288
Tableau 22 — Récapitulatif des résistances de mise à la terre maximales pour le contrôle de l'électricité statique en zones dangereuses	296
Tableau A.1 — Accumulation de charges sur les poudres	308
Tableau A.2 — Valeurs des capacités pour les conducteurs types	312
Tableau C.1 — Intervalles de EMI types et exemples	326
Tableau C.2 — Energie minimale d'inflammation EMI et charge minimale d'inflammation MIQ	327
Tableau G.1 — Concentrations en volume des mélanges gazeux inflammables	352

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TS 60079-32-1:2013

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ATMOSPHÈRES EXPLOSIVES –

Partie 32-1: Dangers électrostatiques – Recommandations

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié ces droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

L'IEC TS 60079-32-1, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 31 de l'IEC: Equipements pour atmosphères explosives, et par le comité d'études 101 de l'IEC: Electrostatique.

La présente version bilingue (2018-11) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2013-03.

Le texte anglais de cette spécification technique est issu des documents 31/1033/DTS et 31/1076/RVC.

Le rapport de vote 31/1076/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette spécification technique.

La version française de cette spécification technique n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60079, publiées sous le titre général *Atmosphères explosives*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

La présente spécification technique IEC est basée sur la norme CENELEC TR 50404:2003 *Code de bonne pratique pour éviter les risques dus à l'électricité statique*, ainsi que d'autres documents établis:

- au Royaume-Uni: BS 5958, Parts 1 & 2:1991, *Control of undesirable static electricity*;
- en Allemagne: TRBS 2153:2009, *Preventing risks of ignition due to electrostatic charges*;
- par Shell International Petroleum: *Static electricity – Technical and safety aspects*;
- aux Etats-Unis: NFPA 77, *Recommended Practice on Static Electricity* (2007);
- au Japon: JNIOH TR42, *Recommendations for Requirements for Avoiding Electrostatic Hazards in Industry* (2007);
- par l'ASTM, l'Association de l'industrie pétrolière européenne (EUROPIA), l'IEC, la Chambre internationale de la marine marchande (ICS), l'ISO, etc.

Le présent document fournit les meilleures recommandations acceptées disponibles sur l'état de la technique dans le cadre de l'évitement des dangers dus à l'électricité statique.

Le présent document est destiné en premier lieu aux concepteurs et utilisateurs de processus et équipements, aux fabricants et aux laboratoires d'essai. Il peut également être utilisé par les fournisseurs d'équipements (machines, par exemple), de revêtements de sol ou de vêtements lorsqu'il n'existe pas de norme de famille de produits ni de norme de produit spécifique ou que la norme existante n'aborde pas les dangers électrostatiques.

Une deuxième partie IEC 60079-32-2, *Dangers électrostatiques – Essais*, est à l'étude.

ATMOSPHÈRES EXPLOSIVES –

Partie 32-1: Dangers électrostatiques – Recommandations

1 Domaine d'application

La présente partie de la norme IEC 60079 fournit les recommandations relatives au matériel, au produit et aux propriétés de processus nécessaires pour éviter l'inflammation et les dangers de chocs électrostatiques liés à l'électricité statique, ainsi que les exigences de fonctionnement nécessaires pour garantir l'utilisation en toute sécurité du matériel, du produit ou du processus. Elle peut être utilisée dans le cadre d'une appréciation du risque des dangers électrostatiques ou de l'élaboration de normes de famille de produits ou de normes de produits spécifiques concernant des machines ou des équipements électriques ou non électriques.

Les dangers associés à l'électricité statique dans des environnements et processus industriels qui génèrent le plus souvent des problèmes sont pris en compte. Ces processus incluent la manipulation de solides, de liquides, de poudres, de gaz, de pulvérisations et d'explosifs. Dans chaque cas, la source et la nature du danger électrostatique sont identifiées et des recommandations spécifiques sont formulées pour leur manipulation.

L'objet du présent document est de fournir des recommandations normalisées pour le contrôle de l'électricité statique, telles que la mise à la terre des conducteurs, la réduction de l'électrification et la restriction des zones électrisables des isolateurs. Dans certains cas, l'électricité statique fait partie intégrante d'un processus (revêtement électrostatique, par exemple), mais elle s'accompagne souvent d'un effet secondaire gênant, ce sur quoi portent les présentes recommandations. Si les recommandations normalisées indiquées dans le présent document sont respectées, le risque de décharges électrostatiques dangereuses attendues dans une atmosphère explosive peut être à un niveau bas acceptable.

Si les exigences du présent document ne peuvent pas être respectées, d'autres méthodes peuvent être appliquées à condition d'atteindre au moins le même niveau de sécurité.

Les informations fondamentales relatives à la génération d'électricité statique non souhaitable dans des solides, liquides, gaz, explosifs et des individus, ainsi que les descriptions expliquant comment les charges produites provoquent des inflammations ou des chocs électrostatiques, sont données dans les annexes et dans l'IEC TR 61340-1.

La présente spécification technique n'est pas applicable aux dangers de l'électricité statique relatifs à la foudre ni aux dommages subis par les composants électroniques.

La présente spécification technique n'entend pas remplacer les normes qui couvrent des produits et des situations industrielles spécifiques.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60079-0, *Atmosphères explosives - Partie 0: Matériel - Exigences générales*

IEC 60079-10-1, *Atmosphères explosives - Partie 10-1: Classement des emplacements - Atmosphères explosives gazeuses*

IEC 60079-10-2, *Atmosphères explosives - Partie 10-2: Classement des emplacements - Atmosphères explosives poussiéreuses*

IEC 60079-14, *Atmosphères explosives - Partie 14: Conception, sélection et construction des installations électriques*

IEC 60079-20-1, *Atmosphères explosives — Partie 20-1: Caractéristiques des substances pour le classement des gaz et des vapeurs – Méthodes et données d'essai*

IEC 60079-32-2¹, *Atmosphères explosives — Partie 32-2: Dangers électrostatiques – Essais*

IEC 60093, *Méthodes pour la mesure de la résistivité transversale et de la résistivité superficielle des matériaux isolants électriques solides*

IEC 60167, *Méthodes d'essai pour la détermination de la résistance d'isolement des matériaux isolants solides*

IEC 61340-2-3, *Electrostatique - Partie 2-3: Méthodes d'essais pour la détermination de la résistance et de la résistivité des matériaux solides destinés à éviter les charges électrostatiques*

IEC 61340-4-1, *Electrostatique - Partie 4-1: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques - Résistance électrique des revêtements de sol et des sols finis*

IEC 61340-4-3, *Electrostatique - Partie 4-3: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques - Chaussures*

IEC 61340-4-4:2012, *Electrostatique — Partie 4-4: Méthodes d'essai normalisées pour des applications spécifiques – Classification électrostatique des grands récipients pour vrac souples (GRVS)*

ISO 284, *Courroies transporteuses — Conductibilité électrique — Spécification et méthode d'essai*

ISO 6297, *Produits pétroliers — Carburants aviation et distillats — Détermination de la conductivité électrique*

ISO 8031, *Tuyaux et flexibles en caoutchouc et en plastique — Détermination de la résistance et de la conductivité électriques*

ISO 9563, *Transmissions par courroies — Conductibilité électrique des courroies synchrones sans fin, antiélectrostatiques — Spécification et méthode d'essai*

ISO 12100-1, *Sécurité des machines — Notions fondamentales, principes généraux de conception – Partie 1: Terminologie de base, méthodologie*

ISO 16392, *Pneumatiques – Résistance électrique — Méthode d'essai pour mesurer la résistance électrique des pneumatiques sur une installation d'essai*

ISO 21178, *Courroies transporteuses légères — Détermination des résistances électriques*

¹ A publier.

ISO 21179, *Courroies transporteuses légères — Détermination du champ électrostatique engendré par une courroie transporteuse légère en marche*

ISO 21183-1, *Courroies transporteuses légères — Partie 1: Caractéristiques et applications principales*

ASTM D257, *Standard test methods for DC resistance or conductance of insulating materials* (disponible en anglais seulement)

ASTM D2624-07a, *Standard test methods for electrical conductivity of aviation and distillate fuels* (disponible en anglais seulement)

ASTM D4308-95, *Standard test method for electrical conductivity of liquid hydrocarbons by precision meter* (disponible en anglais seulement)

ASTM E582-88, *Standard test method for minimum ignition energy and quenching distance in gaseous mixtures* (disponible en anglais seulement)

ASTM E2019-03, *Standard test method for minimum ignition energy of a dust cloud in air* (disponible en anglais seulement)

ASTM F150, *Standard test method for electrical resistance of conductive and static dissipative resilient flooring* (disponible en anglais seulement)

ASTM F1971, *Standard test method for electrical resistance of tires under load on the test bench* (disponible en anglais seulement)

BS 5958: *Code of practice for control of undesirable static electricity*

Part 1: *General considerations*

Part 2: *Recommendations for particular industrial situations* (disponibles en anglais seulement)

BS 7506, *Methods for measurements in electrostatics — Part 2: Test methods* (disponible en anglais seulement)

DIN 51412-1, *Testing of petroleum products; determination of the electrical conductivity, laboratory method* (disponible en anglais seulement)

DIN 51412-2, *Testing of petroleum products; determination of the electrical conductivity; field method* (disponible en anglais seulement)

EN 1081, *Revêtements de sol résilients — Détermination de la résistance électrique*

EN 1149-3, *Vêtements de protection — Propriétés électrostatiques – Partie 3: Méthodes d'essai pour la mesure de l'atténuation de la charge*

EN 1149-5, *de protection — Propriétés électrostatiques – Partie 5: Exigences de performance des matériaux et de conception*

EN 1360, *Tuyaux et flexibles en caoutchouc pour distribution mesurée de carburant — Spécifications*

EN 1361, *Rubber hoses and hose assemblies for aviation fuel handling — Specification* (disponible en anglais seulement)

EN 13463-1, *Non-electrical equipment for potentially flammable atmospheres — Part 1: Basic principles and general requirements* (disponible en anglais seulement)

EN 14125, *Tuyauteries enterrées thermoplastiques et tuyauteries métalliques flexibles pour stations-service*

EN 14973, *Courroies transporteuses pour usage dans les installations souterraines — Exigences de sécurité électrique et protection contre l'inflammabilité*

International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT), cinquième édition, Chambre internationale de la marine marchande, 2006 (disponible en anglais seulement)

JNIOOSH TR 42, *Recommendations for Requirements for Avoiding Electrostatic Hazards in Industry* (disponible en anglais seulement)

NFPA 77, *Recommended practice on static electricity* (disponible en anglais seulement)

SAE J1645, *Surface vehicle recommended practice — Fuel systems and Components — Electrostatic Charge Mitigation* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent:

3.1

antistatique

conducteur ou dissipatif

Note 1 à l'article: Caractérise un matériau mis à la terre et incapable de retenir une charge électrostatique importante au contact avec la terre. Dans ce contexte, le mot est généralement utilisé pour décrire un type de chaussure et d'additif antistatique (ASA) destiné à être utilisé avec des liquides.

Note 2 à l'article: Le terme privilégié est "conducteur" ou "dissipatif" selon le contexte.

3.2

conducteur

caractérise un matériau possédant une résistivité ou résistance inférieure à la plage dissipative (voir 3.7), ce qui entraîne l'apparition d'arcs de courants vagabonds et de chocs électrostatiques

Note 1 à l'article: Les matériaux ou objets conducteurs ne sont ni dissipatifs ni isolants, et sont incapables de retenir une charge électrostatique importante au contact avec la terre.

Note 2 à l'article: Des limites frontières concernant la plage conductrice sont données pour les matériaux solides, enveloppes et certains objets au 6.1 (Tableau 1), ainsi que pour les matériaux en vrac au 9.1. Pour certains éléments, des définitions particulières sont fournies dans d'autres normes (voir 3.3, 3.8 et 3.9).

Note 3 à l'article: Les normes de produit et autres normes portant sur les propriétés électrostatiques comportent souvent des définitions spécifiques du terme "conducteur", qui s'appliquent uniquement aux éléments couverts par ces normes et qui peuvent être différentes des définitions fournies dans le présent document. Pour les tuyaux et flexibles, se reporter à l'ISO 8031 et à l'ISO 8330 par exemple.

3.3

chaussure conductrice

chaussure ou botte de protection permettant à une personne placée debout sur un sol conducteur d'avoir une résistance de mise à la terre suffisamment basse pour assurer la dissipation des charges électrostatiques même dans des situations particulièrement dangereuses (lors de la manipulation d'explosifs sensibles, par exemple), mais pas suffisamment élevée pour éviter un choc électrique dangereux à des tensions en dessous de 500 V

Note 1 à l'article: Se référer à l'IEC 61340-4-3 et à l'IEC 61340-4-5.

3.4

conductivité

conductivité électrique

inverse de la résistivité volumique, exprimé en siemens par mètre

3.5

conducteur

objet conducteur

3.6

liquide contaminé

liquide comportant plus de 0,5 % par volume d'eau libre ou d'autres liquides immiscibles ou plus de 10 mg/l de matières solides en suspension

3.7

dissipatif

électrostatiquement dissipatif

caractérise un matériau qui possède une résistivité ou résistance intermédiaire comprise entre les plages conductrices et isolantes (voir 3.2 et 3.15)

Note 1 à l'article: Les matériaux ou objets dissipatifs ne sont ni conducteurs ni isolants, mais, à l'instar des éléments conducteurs, ils limitent en toute sécurité l'électrisation par contact et/ou dissipent même les courants de charge maximaux associés à leur application prévue au contact avec la terre.

Note 2 à l'article: Des limites frontières concernant la plage dissipative sont données pour les matériaux solides, les enveloppes et certains objets dans le Tableau 1, ainsi que pour les matériaux en vrac répertoriés au 9.1. Pour certains éléments, des définitions particulières sont fournies dans d'autres normes (voir 3.3, 3.8 et 3.9).

Note 3 à l'article: Les normes de produit comportent souvent des définitions spécifiques du terme "dissipatif", qui s'appliquent uniquement aux éléments couverts par ces normes et qui peuvent être différentes des définitions fournies dans le présent document.

3.8

vêtements dissipatifs

vêtements qui satisfont aux exigences de matériaux et de conception spécifiées dans l'EN 1149-5

3.9

chaussure dissipative

chaussure permettant à une personne placée debout sur un sol conducteur ou dissipatif d'avoir une résistance de mise à la terre suffisamment basse pour assurer la dissipation des charges électrostatiques, mais suffisamment élevée pour éviter un choc électrique dangereux à des tensions en dessous de 500 V

Note 1 à l'article: Se référer à l'IEC 61340-4-3 et à l'IEC 61340-4-5.

Note 2 à l'article: Les chaussures antistatiques telles que décrites dans l'ISO 20345 peuvent remplir cette fonction.

3.10

choc électrostatique

effet pathophysiologique consécutif à un courant électrique engendré par une décharge électrostatique traversant le corps humain ou un animal

3.11

enveloppe

ensemble des parois, portes, couvercles, presse-étoupes, tiges, axes, arbres, revêtements, etc. qui entourent et enveloppent l'équipement

Note 1 à l'article: Dans le cas des équipements électriques, l'enveloppe est susceptible d'être identique à l'enveloppe définie dans l'IEC 60079-0.

Note 2 à l'article: Les conteneurs (fûts et GRVS, par exemple) ne constituant pas des enveloppes d'équipements, ils sont étudiés séparément au 9.6.

3.12

zone dangereuse

zone dans laquelle des mélanges gaz/vapeur-air ou gaz/poussière-air inflammables ou explosifs ou des aérosols sont stockés, ou sont susceptibles de se présenter, dans des quantités telles qu'elles exigent de prendre des précautions particulières à l'égard des risques d'inflammation

Note 1 à l'article: Voir IEC 60079-10-1 et IEC 60079-10-2. Un bref récapitulatif est donné à l'Annexe D.

3.13

forte charge

processus qui génère un régime de charge électrostatique plus intense qu'un simple contact manuel

EXEMPLE Frottement, nettoyage avec un chiffon, passage de la position assise à la station debout, marche, essuyage de vêtements, etc.

Note 1 à l'article: Parmi les exemples types d'opérations de forte charge, citons notamment le flux de poudres ou de liquides isolants ainsi que l'électrification par pulvérisation sous haute tension.

3.14

mélange hybride

mélange hétérogène explosible constitué de gaz ou de vapeur avec des particules solides ou liquides en suspension, dans lequel la concentration de gaz inflammable totale est égale à au moins 10 % de sa limite inférieure d'explosivité (LIE) et la concentration de particules en suspension totale est égale à au moins 10 % de sa concentration minimale d'explosivité (CME)

3.15

isolant

caractérise un matériau de résistivité ou résistance supérieure à la plage dissipative (voir 3.7)

Note 1 à l'article: Les matériaux ou objets isolants ne sont ni conducteurs ni dissipatifs. Les charges électrostatiques peuvent s'accumuler sur eux et ne se dissipent pas facilement même lorsqu'ils sont mis à la terre.

Note 2 à l'article: Des limites frontières concernant la plage isolante sont données pour les matériaux solides, les enveloppes et certains objets dans le Tableau 1, ainsi que pour les matériaux en vrac au 9.1. Pour certains éléments, des définitions particulières sont fournies dans d'autres normes (voir 3.3, 3.8 et 3.9).

Note 3 à l'article: Les normes de produit et autres normes portant sur les propriétés électrostatiques comportent souvent des définitions spécifiques du terme "isolant", qui s'appliquent uniquement aux éléments couverts par ces normes et qui peuvent être différentes des définitions fournies dans le présent document. Pour les tuyaux et flexibles, se reporter à l'ISO 8031 et à l'ISO 8330 par exemple.

Note 4 à l'article: L'adjectif "non conducteur" a souvent été utilisé comme synonyme d'isolant. Il est évité dans le présent document étant donné qu'il peut signifier soit "isolant" soit "isolant ou dissipatif", ce qui peut être source de confusion.

3.16

conducteur isolé

objet conducteur qui peut accumuler de la charge en raison d'une résistance de fuite à la terre dépassant les valeurs indiquées dans le Tableau 22

3.17

résistance de fuite

résistance de mise à la terre

résistance entre une électrode en contact avec la surface à mesurer et la terre, exprimée en ohms

Note 1 à l'article: La résistance dépend de la résistivité volumique ou superficielle des matériaux, ainsi que de la distance entre le point de mesure choisi et celui de mise à la terre.

Note 2 à l'article: Une configuration commune (dans l'IEC 61340-4-1, l'ISO 10965 et l'ASTM F150, par exemple) fait appel à une électrode circulaire de diamètre (65 ± 5) mm.

3.18

énergie minimale d'inflammation

EMI

énergie minimale capable de provoquer l'inflammation d'un mélange constitué d'un matériau inflammable spécifié ainsi que d'air ou d'oxygène, mesurée selon un mode opératoire normalisé

Note 1 à l'article: Pour les gaz et vapeurs, se reporter à l'ASTM E582-88; pour les nuages de poussière, se reporter à l'IEC 61241-2-3, l'ASTM E2019-03 et l'EN 13821.

3.19

liquide polyphasique

mélange constitué de liquides immiscibles formant des phases séparées avec une frontière interfaciale distincte, de matières solides en suspension dans des liquides et de bulles de gaz en suspension dans des liquides

Note 1 à l'article: Les suspensions de liquides dans le gaz (brouillards ou pulvérisations) sont traitées séparément.

3.20

temps de relaxation

période pendant laquelle la charge électrostatique sur une surface solide ou dans la partie d'un liquide ou d'une poudre décroît de manière exponentielle jusqu'à atteindre $1/e$ (c'est-à-dire environ 37%) de sa valeur initiale (voir A.2.2)

Note 1 à l'article: Dans le cadre de la génération de charges élevées avec des liquides à forte résistivité, la relaxation peut être hyperbolique plutôt qu'exponentielle.

3.21

résistance superficielle

résistance entre deux électrodes en contact avec la surface à mesurer, exprimée en ohms

Note 1 à l'article: Une configuration commune (dans l'IEC 60079-0 et l'IEC 60167, par exemple) utilise des électrodes parallèles mesurant 100 mm de longueur et placées à 10 mm l'une de l'autre.

Note 2 à l'article: La résistance superficielle dépend de la configuration d'électrodes. La résistance superficielle mesurée avec l'exemple de configuration d'électrodes est 10 fois inférieure à la résistivité superficielle.

Note 3 à l'article: Les électrodes conductrices en caoutchouc souple sont préférées par rapport aux électrodes peintes à l'argent.

3.22

résistivité superficielle

résistance mesurée entre les côtés opposés d'une surface, identifiée par une longueur et une largeur généralement exprimée en ohms (ou en ohms par carré)

Note 1 à l'article: Cette configuration est utilisée dans l'ASTM D257 et dans la BS 7506-2 par exemple.

3.23

résistivité volumique

résistance d'un corps, identifiée par une longueur et une section et exprimée en ohms mètres

4 Nomenclature

Les règlements de sécurité électrostatique utilisent de nombreux adjectifs pour classer la conductivité des matériaux et objets. Chaque réglementation et industrie utilise des adjectifs différents; même si les mêmes adjectifs sont utilisés, leurs définitions peuvent varier. La nomenclature qui est systématiquement appliquée dans le présent document est fournie pour éviter toute confusion et faciliter la traduction:

Les **matériaux solides** sont classés en différentes catégories; ils sont conducteurs, dissipatifs ou isolants selon leur résistivité volumique (voir 3.2, 3.7 et 3.15). Des valeurs limites sont données dans le Tableau 1.

Les **objets solides** et les **textiles** sont classés en différentes catégories; ils sont conducteurs, dissipatifs ou isolants selon leur résistance superficielle ou de fuite, en fonction de l'application (voir 3.2, 3.7 et 3.15). Les valeurs limites pour les enveloppes et certains objets sont données dans le Tableau 1. Pour certains éléments, des définitions particulières sont fournies dans d'autres normes (voir 3.3, 3.8 et 3.9).

Les **matériaux en vrac (poudres, etc.)** sont classés en différentes catégories; ils sont de résistivité faible, moyenne ou élevée selon leur résistivité volumique (voir 9.1 pour les valeurs limites).

Les **liquides** sont classés en différentes catégories; ils sont de conductivité faible, moyenne ou élevée selon leur conductivité électrique (voir 7.1.4 pour les valeurs limites).

NOTE Des informations plus complètes concernant les propriétés électrostatiques, les concepts et la terminologie sont fournies aux Annexes A à G.

Les **résistances** ont surtout été exprimées sous la forme exponentielle dans d'autres documents. Les exposants étant de petits chiffres, les exposants 6, 8 et 9 fréquemment utilisés en électrostatique sont facilement mal interprétés dans les documents imprimés ou projetés, voire illisibles, s'ils apparaissent dans des notes. C'est pourquoi le présent document utilise les préfixes SI à la place des exposants.

$$10^3 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$$

$$10^6 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$$

$$10^8 \Omega = 100 \text{ M}\Omega$$

$$10^9 \Omega = 1 \text{ G}\Omega$$

$$10^{11} \Omega = 100 \text{ G}\Omega$$

$$10^{12} \Omega = 1 \text{ T}\Omega$$

Pour les mêmes raisons, le **courant** est également fourni avec des préfixes SI à la place des exposants:

$$10^{-3} \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

$$10^{-6} \text{ A} = 1 \text{ }\mu\text{A}$$

$$10^{-9} \text{ A} = 1 \text{ nA}$$

$$10^{-12} \text{ A} = 1 \text{ pA}$$

5 Généralités

L'électricité statique se rencontre fréquemment en environnement industriel et dans la vie quotidienne. Pour la majorité des situations, les effets passent totalement inaperçus ou constituent simplement une nuisance. Toutefois, l'électricité statique peut également engendrer des situations dangereuses. Dans de telles situations, le danger peut généralement être réduit par relaxation de la charge (voir Annexe A).

Les dangers provoqués par une charge électrostatique incluent:

- a) l'inflammation et/ou l'explosion d'atmosphères inflammables, voir IEC 60079-0 et EN 13463-1;
- b) un choc électrostatique associé à un autre danger (chute, trébuchage, par exemple) – voir ISO 12100-1;

- c) un choc électrostatique donnant lieu à des blessures corporelles ou mortelles, voir ISO 12100-1;
- d) les dommages aux composants électroniques (non couverts par le présent document).

En outre, l'électricité statique peut entraîner des problèmes opérationnels lors des processus de fabrication et de manipulation (en faisant adhérer les éléments entre eux ou en attirant la poussière, par exemple).

L'électricité statique est générée par:

- a) le contact et la séparation de solides (mouvement d'une personne ou de courroies transporteuses, de films plastiques, etc. sur des rouleaux);
- b) le flux de liquides ou de poudres, et la production de pulvérisations;
- c) les phénomènes d'induction, c'est-à-dire lorsque des objets atteignent un potentiel élevé ou se chargent parce qu'ils se trouvent dans un champ électrique.

L'accumulation de charges électrostatiques peut engendrer des dangers et des problèmes dans de nombreux secteurs d'activités et environnements professionnels, ainsi que des dangers d'inflammation et d'explosion en particulier dans l'industrie chimique, pharmaceutique, pétrolière et agroalimentaire.

Etant donné le grand nombre de processus industriels susceptibles d'être impliqués, des informations complètes ne peuvent pas être fournies pour l'ensemble de ces processus. C'est pourquoi le présent document s'efforce de décrire les problèmes associés à chaque processus et de formuler des conseils pour les éviter. Il convient que ces informations permettent à l'exploitant de l'installation de prendre quelque précaution que ce soit pouvant être nécessaire pour éviter l'inflammation d'atmosphères explosibles et la survenance de chocs électrostatiques.

Par commodité, le présent document est divisé en articles. Ils traitent des problèmes liés aux éléments suivants:

- a) la manipulation de solides;
- b) le stockage et la manipulation de liquides;
- c) la manipulation de gaz et vapeurs;
- d) le stockage et la manipulation de poudres;
- e) le stockage et la manipulation d'explosifs;
- f) les problèmes électrostatiques provoqués par des personnes;
- g) la prévention d'un choc électrostatique;
- h) la mise à la terre et l'équipotentialité de l'installation et des machines;
- i) les méthodes de mesure.

Le présent document comporte également des informations fondamentales concernant la charge électrostatique et les problèmes associés. Ces informations se trouvent dans les Annexes A à G et il convient d'aider le lecteur à mieux comprendre les conseils donnés, mais aussi d'étendre les conseils aux processus qui n'ont pas été traités dans les recommandations.

Etant donné la complexité du présent document, une évaluation efficace des dangers électrostatiques des produits et processus peut ne pas être facile pour de nouveaux lecteurs. C'est pourquoi une Annexe F informative universellement applicable a été ajoutée; elle renvoie vers les sections pertinentes du présent document dans le bon ordre.

Il est très rare qu'un danger électrostatique puisse être traité par lui-même. Il convient de prendre des précautions à l'égard des dangers électrostatiques en plus d'autres précautions, telles que la protection contre les explosions. Il convient également que ces précautions

soient cohérentes avec les précautions prises pour éviter d'autres dangers pouvant exister comme les inflammations dues à d'autres causes et la toxicité. Il est important de tenir compte de toutes les sources de risques présentes dans un système de travail et d'adopter une approche de la sécurité équilibrée couvrant l'ensemble des risques identifiés. En particulier, il convient de porter une attention particulière lors de la disposition des systèmes de mise à la terre dans les endroits, où ils sont susceptibles d'interférer avec d'autres systèmes de protection (protection cathodique ou système électrique de sécurité intrinsèque, par exemple).

6 Electricité statique dans les matériaux solides

6.1 Remarques d'ordre général

Selon leur résistivité volumique, les matériaux solides sont généralement caractérisés selon les trois catégories (isolants, dissipatifs ou conducteurs). Les enveloppes sont généralement classées en fonction de leur résistance ou résistivité superficielle (mesurée conformément à l'IEC 60079-0, l'IEC 60167, l'IEC 60093 ou l'IEC 61340-2-3 ou selon des méthodes équivalentes). Les modes opératoires sont également traités dans l'IEC 60079-32-2². Les deux classifications de surface sont équivalentes, car la résistivité superficielle est 10 fois supérieure à la résistance superficielle pour les géométries d'électrodes spécifiées. Pour d'autres applications spécifiques, il est permis d'appliquer différentes définitions (résistance de fuite dans le cas de sols, par exemple). Les seuils les plus couramment admis à ces fins sont répertoriés dans le Tableau 1.

² A publier.

Tableau 1 — Limites frontières de température (23 ± 2) °C et d'humidité relative (25 ± 5) % pour la caractérisation de matériaux solides et exemples de classification d'objets

Objet	Unité	Voir paragraphe	Conducteur	Dissipatif ^a	Isolant ^a
Matériau	Résistivité volumique (Ω m)	6.2.1	< 100 kΩ m	100 kΩ m à < 1 GΩ m	≥ 1 GΩ m
Enveloppe	Résistance superficielle (Ω)	6.2.1	< 10 kΩ	10 kΩ à < 100 GΩ	≥ 100 GΩ
	Résistivité superficielle (Ω)	6.2.1	< 100 kΩ	100 kΩ à < 1 TΩ	≥ 1 TΩ
Vêtements	Résistance superficielle (Ω)	11.5	Non disponible	< 2,5 GΩ	≥ 2,5 GΩ
Chaussures	Résistance de fuite (Ω)	11.3	< 100 kΩ	100 kΩ à < 100 MΩ	≥ 100 MΩ
Gants	Résistance de fuite (Ω)	11.6	< 100 kΩ	100 kΩ à < 100 MΩ	≥ 100 MΩ
Sol	Résistance de fuite (Ω)	11.2	< 100 kΩ	100 kΩ à < 100 MΩ	≥ 100 MΩ
Canalisations	Résistance par longueur (Ω/m)	7.7.2.1	< 1 kΩ/m	1 kΩ/m à < 1 MΩ/m	≥ 1 MΩ/m
Tuyaux^b	Résistance par flexible (Ω)	7.7.3.1	< 1 kΩ	1 kΩ à < 1 MΩ	≥ 1 MΩ

^a Lorsque les conditions ambiantes locales sont significativement différentes de la condition d'essai la plus défavorable établie de (23 ± 2) °C et de (25 ± 5) % HR, il est permis d'utiliser d'autres conditions d'essai après une évaluation des dangers approfondie. Dans certains pays, en particulier en hiver, une humidité relative de (12 ± 3) % à (23 ± 2) °C constitue un environnement d'essai adéquat pour la qualification de l'équipement. Etant donné que la résistance des matériaux non métalliques dépend généralement beaucoup de la tension de mesure, il convient de choisir les tensions de mesure (généralement de l'ordre de 500 à 1 000 V) de telle sorte qu'elles soient cohérentes avec l'objectif de la mesure et de les noter avec le résultat d'essai.

^b Selon l'ISO 8031, les valeurs pour les tuyaux sont mesurées avec une humidité relative de (50 ± 5) % et correspondent aux dernières valeurs du Tableau 15 au 7.7.3.1. Par le passé, des valeurs légèrement différentes ont été utilisées dans les documents de l'ISO et du CENELEC. D'autres classifications peuvent être utilisées par des normes de l'industrie dans le cadre d'applications spécifiques (par exemple l'ISO 8031 pour les flexibles conducteurs destinés aux applications industrielles, les flexibles antistatiques dissipatifs destinés aux applications automobiles) qui n'impliquent pas nécessairement la sécurité électrostatique.

Les critères de l'enveloppe consistent à éviter les processus de charge triboélectrique et ne dissipent donc pas nécessairement la charge déposée par des processus non spécifiés dans l'enveloppe.

Par le passé, des valeurs différentes mesurées à 50 % HR ont été appliquées en l'absence de chambre d'essai conditionnée et sont considérées comme erronées du point de vue sécurité. Cette approche n'est plus d'usage, et les limites à 50 % HR (hormis pour les tuyaux) sont données dans d'autres documents uniquement. Il convient d'utiliser ces valeurs uniquement lorsqu'un climat approprié n'est pas disponible. Etant donné que la chargeabilité des matériaux est supérieure à 20 % HR comparée à 30 % HR, l'ancienne valeur de 30 % HR a été réduite à (25 ± 5) % HR. Lors des mesures, il convient d'appliquer autant que possible une humidité relative dans la partie inférieure de l'intervalle.

Lors de la caractérisation de matériaux non homogènes, il convient de moyenner et d'arrondir à l'ordre de grandeur le plus proche les valeurs mesurées sauf spécification contraire dans la

méthode d'essai. Des matériaux non homogènes peuvent présenter une résistivité différente dans différentes directions.

Au lieu de mesurer la résistance, le temps de décharge peut être utilisé pour caractériser le comportement dissipatif des vêtements (voir EN 1149-3 et EN 1149-5).

Les matériaux solides isolants sont couramment utilisés sous de nombreuses formes (tuyaux, conteneurs, plaques, feuilles, revêtements et saches, par exemple). L'utilisation de matériaux solides isolants dans des zones à risque d'explosion peut être à l'origine de nombreux dangers électrostatiques, en particulier:

- a) les objets conducteurs peuvent être isolés de la terre par le matériau et peuvent alors atteindre un potentiel électrique élevé et produire des étincelles (voir A.3.2);
- b) les charges à la surface du matériau peuvent entraîner des décharges glissantes de surface (voir A.3.4);
- c) une combinaison de matériaux conducteurs et isolants en présence de générateurs de charges importantes (voir 12.3) peut donner lieu à des décharges glissantes de surface énergétiques (voir A.3.5).

Les mesures pour traiter ces dangers sont données au 6.2, au 6.3 et au 6.4.

Dans l'éventualité où des matériaux isolants sont utilisés, une appréciation du risque doit être effectuée afin d'identifier s'il existe un processus capable de favoriser la production directe ou l'induction indirecte d'une charge électrostatique sur des matériaux isolés présents dans l'emplacement.

6.2 Utilisation de matériaux conducteurs ou dissipatifs à la place de matériaux isolants

6.2.1 Remarques d'ordre général

Une bonne pratique consiste généralement à réduire le plus possible l'utilisation de matériaux isolants dans les zones dangereuses. Bien que cela puisse généralement être accompli en utilisant des matériaux intrinsèquement conducteurs (métaux, par exemple), de nombreux matériaux qui n'étaient auparavant disponibles que sous des formes isolantes (caoutchoucs ou plastiques, par exemple) sont désormais disponibles dans des classes qui satisfont aux exigences leur permettant d'être considérés comme des matériaux conducteurs ou dissipatifs (voir Tableau 1). Cette augmentation de la conductivité est généralement obtenue en ajoutant des ingrédients conducteurs (noir de carbone, par exemple) à sa composition ou en appliquant des agents hygroscopiques à sa surface qui attirent l'humidité atmosphérique, des polymères conducteurs. Des stratifiés avec éléments conducteurs ainsi que des films métallisés ont été conçus à des fins d'amélioration de la dissipation statique.

Il est important que de tels matériaux conducteurs et dissipatifs soient mis à la terre de manière fiable conformément à l'Article 13 et qu'ils soient durables conformément à l'Article 13. Par ailleurs, si des revêtements conducteurs ou dissipatifs sont utilisés pour empêcher un matériau isolant de se charger, il est important que ces revêtements soient correctement mis à la terre et que leur durabilité ainsi que leur aptitude d'utilisation en zones dangereuses (en particulier dans les Zones 0 et 1) aient été démontrées pour l'application considérée.

En outre, l'utilisation d'une proportion élevée d'additifs, tels que le noir de carbone, peut dégrader les propriétés physiques (principalement la force et la résistance chimique) du matériau. Cela peut rendre ces matériaux inappropriés pour certaines applications. Ce problème peut être évité en utilisant des polymères intrinsèquement conducteurs comme ingrédient ou revêtement conducteur. Il convient de s'assurer que les concentrations d'additifs dissipatifs sont suffisamment élevées et que leur distribution est uniforme.

NOTE Le caractère dissipatif ou conducteur des matériaux ne peut pas être déterminé en fonction de leur couleur. Les polymères noirs peuvent ne pas être dissipatifs, et les matériaux conducteurs ou dissipatifs modernes peuvent être disponibles dans plusieurs couleurs.

Le tissu, comme le tissu pour filtres, peut être rendu dissipatif en incorporant de l'acier inoxydable ou d'autres fibres conductrices ou dissipatives à l'intérieur. Le plus grand soin doit être pris afin de s'assurer que, en conséquence du lavage ou des contraintes mécaniques, la conductivité globale du tissu est maintenue et qu'aucune pièce isolée de fibres conductrices ne se forme.

6.2.2 Matériaux solides dissipatifs

Un matériau solide se définit comme dissipatif si sa résistance superficielle, sa résistivité superficielle ou sa résistivité volumique satisfont aux critères combinés établis au 6.1.

Généralement, sous réserve que les matériaux dissipatifs soient reliés à la terre conformément à l'Article 13, aucune mesure de protection supplémentaire n'est nécessaire. Néanmoins, dans les processus impliquant une séparation à haute vitesse (par exemple courroies transporteuses et courroies de transmission, voir 6.4) des résistivités et résistances inférieures peuvent être exigées.

NOTE 1 Pour des matériaux ayant des résistivités situées en début de la plage dissipative, d'importantes contraintes se posent en ce qui concerne la géométrie possible d'un élément fabriqué si les exigences de l'Article 13 doivent être respectées (les tuyaux de grande longueur ou les filaments de faible épaisseur ne satisfont pas aux exigences de mise à la terre contrairement aux feuilles de faible épaisseur qui comportent une surface de contact de terre importante, par exemple).

Dans certains cas (en particulier avec les films ou les feuilles en plastique), un matériau est ajouté pour attirer l'humidité atmosphérique à la surface, ce qui permet d'augmenter la conductivité superficielle. Il convient de prendre des précautions lorsque ce type de film ou de feuille en plastique dissipatif est utilisé en conditions d'humidité faible: dans les environnements où l'humidité est faible (généralement < 30 %), il peut devenir isolant et accumuler une charge électrostatique.

Il convient de s'assurer qu'un revêtement dissipatif ne peut pas être effacé par lavage ou frottement, et qu'il ne peut pas perdre de son efficacité au fil du temps. Dans le cas contraire, un tel revêtement ne conviendrait qu'en tant que mesure temporaire pour diminuer l'accumulation de charges électriques statiques.

Il convient que les agents dissipatifs utilisés dans l'emballage soient compatibles avec le produit emballé. L'absorption des agents dissipatifs par le produit avec lesquels il est en contact peut provoquer la contamination du produit et/ou la perte des propriétés dissipatives de l'emballage.

NOTE 2 De nouveaux additifs électrostatiquement dissipatifs sont disponibles. Comme ils augmentent la résistivité volumique, ils sont moins sensibles à l'humidité, mais sont également affectés par le vieillissement à l'instar des autres additifs.

NOTE 3 La résistance des matériaux dissipatifs constitués de caoutchouc vulcanisé avec du noir de carbone peut augmenter lorsque la température diminue. Par exemple, de tels matériaux peuvent être dissipatifs (~ 100 MΩ) à 20 °C, mais être isolants (~10 TΩ) à 0 °C.

6.2.3 Mise à la terre des matériaux conducteurs et dissipatifs

A l'exception des éléments de très faibles dimensions, il convient de relier à la terre tous les métaux et autres matériaux conducteurs ou dissipatifs conformément à l'Article 13. La capacité des éléments isolés dépend de leur taille, des matériaux environnants ainsi que de la proximité d'autres conducteurs; elle peut varier fortement selon les conditions installées ou non installées. La capacité maximale admissible pour les points isolés dépend de l'allumabilité des gaz, des vapeurs et de la poussière exprimés par les groupes de gaz REP I, IIA, IIB et IIC (IEC 60079-20-1, voir D.3) ou le groupe de poussières III (IEC 60079-0) ainsi que de la classification de la zone dangereuse (IEC 60079-10-1 et IEC 60079-10-2, voir D.2) comme indiqué dans le Tableau 2, en tenant compte des points suivants:

- a) Il n'est pas nécessaire de mettre à la terre les capacités inférieures à 3 pF, sous réserve que l'objet ne puisse pas atteindre un potentiel dangereux et qu'il ne soit pas situé dans la Zone 0 où des gaz ou vapeurs appartenant au Groupe IIC sont utilisés.
- b) Dans la Zone 1 où des gaz ou vapeurs appartenant au Groupe IIA sont utilisés ainsi que dans les Zones 20 et 21, la capacité isolée maximale admissible peut être portée à 6 pF à condition que des processus de forte charge ne se produisent pas.
- c) Dans les Zones 20 et 21 poussiéreuses et dans le Groupe I, la capacité isolée maximale admissible peut être portée jusqu'à 10 pF à condition que des processus de forte charge n'aient pas lieu ou que seules des poudres possédant des énergies minimales d'inflammation supérieures à 10 mJ soient traitées.
- d) Les limites indiquées dans le Tableau 2 ne sont pas des valeurs absolues qui empêchent les décharges incendiaires, mais diminuent simplement les risques d'occurrence à un niveau bas généralement accepté.
- e) Il est prévu que les appareils portatifs et les outils à main soient mis à la terre par l'utilisateur. En cas de doute, il convient que l'utilisateur s'assure de la mise à la terre de l'appareil lorsqu'il travaille en zones dangereuses.
- f) Les personnes sont des éléments conducteurs possédant une capacité suffisante pour produire une décharge incendiaire. C'est pourquoi il convient d'effectuer une mise à la terre conformément à l'Article 11 avant de pénétrer dans une zone dangereuse Zone 0, 1, 20, 21 ou Groupe I.

Il convient de mesurer les capacités conformément à l'IEC 60079-0, 26.15.

NOTE Il est prévu de réviser cette méthode et de la déplacer dans l'IEC 60079-32-2³.

³ A publier.

Tableau 2 — Capacité isolée maximale admissible dans les Zones où une atmosphère explosive est présente

	Groupe I	Groupe IIA	Groupe IIB	Groupe IIC	Groupe III	Conditions supplémentaires
Zone 0	10 pF	3 pF	3 pF	Aucun objet conducteur isolé admis	-	Pas de processus de forte charge
Zone 1		6 pF	3 pF	3 pF	-	
Zone 2		Aucune exigence s'il est peu probable que des processus de charge capables de générer des potentiels dangereux se produisent en fonctionnement normal (y compris pendant les opérations de maintenance et de nettoyage)			-	
Zones 20,21 EMI < 10 mJ		-	-	-	6 pF	
Zones 20,21 EMI > 10 mJ		-	-	-	10 pF	
Zone 22		-	-		Aucune exigence s'il est peu probable que des processus de charge capables de générer des potentiels dangereux se produisent en fonctionnement normal (y compris pendant les opérations de maintenance et de nettoyage)	
NOTE 1 Les subdivisions sont basées sur l'interstice expérimental maximal de sécurité (IEMS) ou sur le rapport de courant minimal d'inflammation (rapport CMI) de l'atmosphère explosive gazeuse dans laquelle l'équipement peut être installé (voir IEC 60079-20-1). Pour plus d'informations, se référer au C.6 et au D.3. NOTE 2 Le frottement manuel n'est généralement pas considéré comme un processus de forte charge.						

Dans le cas de matériaux dissipatifs possédant une résistance superficielle de plus de 10 GΩ, la mise à la terre peut ne pas être nécessaire. En cas de doute, il est nécessaire d'effectuer un essai supplémentaire pour démontrer la sécurité électrostatique des objets non mis à la terre (voir 6.3.9, par exemple).

6.3 Précautions exigées lors de l'utilisation de matériaux solides isolants

6.3.1 Généralités

Les restrictions concernant l'utilisation de matériaux isolants en zones dangereuses dépendent de la classification de la zone dangereuse d'après l'IEC 60079-10-1 et l'IEC 60079-10-2:

- dans la Zone 0, il convient d'utiliser des matériaux solides isolants uniquement si des processus de charge capables de générer des potentiels dangereux ne se produisent pas en fonctionnement (y compris pendant les opérations de maintenance et de nettoyage) ou même en cas de dysfonctionnement rares;
- dans la Zone 1, il convient d'utiliser des matériaux solides isolants uniquement si des processus de charge capables de générer des potentiels dangereux ne se produisent pas en fonctionnement (y compris pendant les opérations de maintenance et de nettoyage) ou en cas de dysfonctionnement probables;

- c) dans la Zone 2, il convient d'utiliser des matériaux solides isolants uniquement s'il est peu probable que des processus de charge capables de générer des potentiels dangereux se produisent en fonctionnement normal (y compris pendant les opérations de maintenance et de nettoyage);
- d) dans les Zones 20, 21 et 22, il convient de prendre en compte les étincelles, les décharges de type aigrette, les décharges de cône et les décharges glissantes de surface (voir A.3). Néanmoins, l'expérience pratique, les preuves expérimentales et l'absence d'incidents montrent que les décharges de type aigrette n'enflamment pas les nuages de poudre même pour les plus sensibles à l'inflammation en l'absence de gaz ou de vapeur inflammable.

NOTE 1 Le textile synthétique utilisé dans les chiffons de nettoyage ou d'essuyage peut générer suffisamment de charges électriques statiques pour produire des décharges capables d'enflammer des vapeurs de solvant. Généralement, la génération de charges augmente avec la vitesse et la vigueur de l'action d'essuyage. S'il est isolant, le matériau qui est nettoyé ou essuyé peut également accumuler une charge suffisante pour produire une décharge incendiaire. Du coton ou du textile synthétique traité par un composé électrostatiquement dissipatif peut être exigé si la génération de charges électriques doit être contrôlée, en particulier si des solvants isolants inflammables sont utilisés pour l'opération de nettoyage ou d'essuyage.

NOTE 2 La présence de contamination (graisse ou humidité, par exemple) peut affecter le danger d'inflammation potentiel en cas d'utilisation de matériaux isolants.

NOTE 3 Les matériaux solides, objets ou liquides conducteurs peuvent former des îlots conducteurs isolés dangereux s'ils se trouvent sur des surfaces isolantes électrisées.

Pour empêcher les décharges incendiaires, il convient également de prendre les précautions données dans les paragraphes 6.3.2 à 6.3.4 dans l'ensemble des zones, où l'utilisation de matériaux solides isolants est inévitable. Les précautions fournies dans les paragraphes 6.3.2 à 6.3.4 traitent de l'évitement des décharges aigrettes incendiaires, avec le paragraphe 6.3.4 qui s'intéresse également aux décharges glissantes de surface.

6.3.2 Restrictions concernant la taille des surfaces isolantes électrisables

Dans le cas où l'utilisation de matériaux isolants électrisables dans une zone dangereuse est nécessaire, la taille maximale admissible de la surface isolante dépend de l'allumabilité des gaz et des vapeurs exprimés par les groupes représentatifs I, IIA, IIB, IIC (IEC 60079-20-1) ou le groupe de poussières représentatif III (IEC 60079-0) ainsi que de la classification de la zone dangereuse (IEC 60079-10-1 et IEC 60079-10-2, voir D.2) comme indiqué dans le Tableau 3, en tenant compte des points suivants:

- a) pour les matériaux en feuilles, la surface est définie par la surface (électrisable) exposée;
- b) pour les objets incurvés ou de forme irrégulière, la surface est la projection de l'objet donnant la surface maximale;
- c) pour des matériaux longs et étroits, tels que des gaines de câbles ou des tuyaux, la taille maximale est définie par la dimension transversale (c'est-à-dire le diamètre d'une gaine ou d'un tuyau); même s'il convient de traiter la gaine ou le tuyau comme pour une feuille lorsqu'il est enroulé;
- d) même des diamètres plus faibles peuvent être exigés dans le cas de tuyaux ou tubes étroits contenant des poudres ou des liquides en mouvement;
- e) les câbles électriques normaux sont généralement acceptables dans toutes les zones. Se référer à l'IEC 60079-14. Néanmoins, il convient de soumettre les couches isolantes très épaisses figurant sur des câbles épais à des essais expérimentaux selon l'IEC 60079-0:2007, 26.14.

NOTE Il est prévu de réviser cette méthode et de la déplacer dans l'IEC 60079-32-2⁴.

Il est essentiel que les matériaux solides non conducteurs utilisés en zones dangereuses ne dépassent pas les valeurs de surface ou de largeur maximales données dans le Tableau 3 correspondant à la zone dans laquelle ils sont utilisés sauf s'il peut être démontré de manière

⁴ A publier.

expérimentale que des charges électrostatiques dangereuses ne doivent pas se produire (voir 6.3.9) ou que des mécanismes d'électrisation ne se produisent à aucun moment. Concernant le dernier cas, citons par exemple les panneaux ou les lampes au plafond qui ne sont généralement exposés à aucun mécanisme d'électrisation. Dans ce cas, un avertissement "Nettoyer avec un chiffon humide (eau) seulement et laisser sécher à l'air libre" est suffisant pour éviter l'électrisation lors des opérations de nettoyage.

Tableau 3 — Restriction concernant la taille des matériaux solides isolants en zones dangereuses

Zone	Groupe I		Groupe IIA		Groupe IIB		Groupe IIC		Groupe III	
	Surface maximale (mm ²)	Largeur maximale (mm)	Surface maximale (mm ²)	Largeur maximale (mm)	Surface maximale (mm ²)	Largeur maximale (mm)	Surface maximale (mm ²)	Largeur maximale (mm)	Surface maximale (mm ²)	Largeur maximale (mm)
0	10 000	30	5 000	3	2 500	3	400	1	-	-
1			10 000	30	10 000	30	2 000	20	-	-
2			Aucune limite de dimensions (mais voir 6.3.1)		Aucune limite de dimensions (mais voir 6.3.1)		Aucune limite de dimensions (mais voir 6.3.1)		-	-
20 21 22	-	-	-	-	-	-	-	-	Aucune limite de dimensions (mais voir 6.3.1)	

NOTE 1 Le critère de largeur s'applique aux gaines de câbles et tuyaux fins, ainsi qu'aux autres matériaux isolants présentant des largeurs ou des diamètres de faibles dimensions.

NOTE 2 Les équipements marqués IIB sont adaptés aux applications exigeant des équipements du Groupe IIA. De même, les équipements marqués IIC sont adaptés aux applications exigeant des équipements du Groupe IIA ou IIB.

NOTE 3 Ces limites frontières sont également utilisées, par exemple, dans l'IEC 60079-0, le CENELEC TR 50404, la TRBS 2153, la JNIO SH TR42 et la BS 5958.

NOTE 4 Les subdivisions sont basées sur l'interstice expérimental maximal de sécurité (IEMS) ou sur le rapport de courant minimal d'inflammation (rapport CMI) de l'atmosphère explosive gazeuse dans laquelle l'équipement peut être installé (voir IEC 60079-20-1). Pour plus d'informations, se référer au C.6 et au D.3.

NOTE 5 Les limites indiquées dans le Tableau 3 ne sont pas des valeurs absolues qui empêchent les décharges incendiaires, mais diminuent simplement les risques d'occurrence à un niveau bas généralement accepté.

NOTE 6 L'état actuel des connaissances indique que les décharges aigrettes ne présentent pas de risque d'inflammation dans le cas des poussières sensibles, sous réserve qu'il n'existe pas de gaz ou vapeurs inflammables (voir Annexe A.3.4). Des processus de génération de charges plus puissants que le frottement manuel peuvent néanmoins produire des décharges glissantes de surface incendiaires dans certaines circonstances (voir 6.3.4.2).

6.3.3 Treillis métalliques mis à la terre

Les zones indiquées dans le Tableau 3 peuvent être multipliées par un facteur de 4 en incorporant un treillis (ou un cadre) métallique mis à la terre dans le matériau solide isolant ou en plaçant un treillis tout autour de sa surface. En plus:

- il convient de restreindre l'épaisseur de la couche au-dessus du treillis aux valeurs données au 6.3.4.2 pour empêcher les décharges aigrettes;
- il convient d'empêcher les décharges glissantes de surface comme indiqué au 6.3.4.3; et
- Il convient de veiller tout particulièrement à empêcher ou détecter des claquages susceptibles de conduire à l'isolation de parties conductrices, ce qui représente un danger électrostatique plus important qu'une surface isolante.

6.3.4 Revêtements isolants sur des surfaces conductrices mises à la terre

6.3.4.1 Généralités

Des revêtements de matériaux solides isolants appliqués sur des surfaces conductrices mises à la terre (en particulier les surfaces métalliques) peuvent générer des décharges aigrettes et/ou des décharges glissantes de surface selon de nombreux facteurs.

6.3.4.2 Evitement des décharges aigrettes

En ce qui concerne les décharges aigrettes, l'expérience pratique montre que ces décharges ne sont pas susceptibles d'être incendiaires si:

- a) des processus générateurs de charge électrostatique élevée sont évités (remplissage ou vidage répété d'un fût conducteur contenant un revêtement isolant, par exemple); et
- b) l'épaisseur de la couche ne dépasse pas une valeur de 2 mm dans le cas de gaz et vapeurs des Groupes I, IIA et IIB et une valeur de 0,2 mm dans le cas de gaz et vapeurs du Groupe IIC. Pour les poussières, il n'existe pas de limitation d'épaisseur sauf si la couche de poudre est susceptible de former un film continu de résistance élevée (par polymérisation automatique ou réaction à l'eau, par exemple).

NOTE 1 Le frottement manuel n'est généralement pas considéré comme un processus de forte charge.

NOTE 2 Plus le revêtement est fin, moins les décharges aigrettes créées par frottement manuel de la surface sont incendiaires et plus les décharges glissantes de surface créées par l'application de processus générateurs de charge électrostatique plus puissants sur la surface sont incendiaires.

Dans ces cas, aucune mesure de protection particulière n'est nécessaire en zones dangereuses. Dans le cas de polymères fluorés, il est néanmoins recommandé d'effectuer une évaluation expérimentale de la chargeabilité selon, par exemple, l'IEC 60079-0:2007, 26.14.

NOTE Il est prévu de réviser cette méthode et de la déplacer dans l'IEC 60079-32-2⁵.

6.3.4.3 Evitement des décharges glissantes de surface

Des décharges glissantes de surface peuvent se produire lorsque des processus générateurs de charge électrostatique élevée ou répétée sont réalisés sur des couches ou des revêtements isolants sur des surfaces conductrices. Ces décharges peuvent être empêchées en appliquant une ou plusieurs des mesures suivantes:

- a) éviter les revêtements isolants fins sur des métaux ou d'autres matériaux conducteurs. Les décharges glissantes de surface ont tendance à se produire avec des revêtements de faible épaisseur; elles peuvent normalement être empêchées en appliquant des épaisseurs de plus de 10 mm;
- b) réduire la résistivité superficielle ou volumique du revêtement. Les niveaux exigés pour empêcher l'occurrence de décharges glissantes de surface ne sont pas précisément connus, mais les valeurs pour les matériaux dissipatifs indiquées dans le Tableau 1 et une résistance de fuite inférieure à 100 GΩ sont considérées suffisamment basses;
- c) utiliser un revêtement possédant une faible résistance diélectrique (tension de claquage pour les matériaux homogènes solides inférieure à 4 kV, dans le cas de textiles tissés 6 kV, voir A.3.5). De tels revêtements subissent un claquage électrique avant qu'une décharge glissante de surface ne puisse se produire. Il convient de mesurer la rigidité diélectrique conformément à l'IEC 60243-2 conjointement avec l'IEC 60243-1, ou conformément à l'IEC 60079-32-2⁵.
- d) éviter les processus générateurs de charge électrostatique élevée ou répétée (ions d'air à proximité d'électrodes haute tension, liquides s'écoulant à grande vitesse et transfert

⁵ A publier.

pneumatique de poudres, transport de feuilles en papier ou en plastique par des machines, par exemple).

NOTE 1 Etant donné leur faible porosité, les couches de solvant ou de peinture aqueuse ou la poudre libre possèdent normalement une tension de claquage faible de sorte que les décharges glissantes de surface sont difficiles à obtenir avec de telles couches.

NOTE 2 Les revêtements obtenus par cuisson sur une poudre appliquée et l'émail possèdent généralement une tension de claquage trop élevée pour éviter les décharges glissantes de surface.

NOTE 3 Les revêtements polymères qui sont enroulés autour d'une bobine ou soulevés à partir d'une surface conductrice ou isolante peuvent accumuler des charges bipolaires, c'est-à-dire des charges égales et opposées sur les deux surfaces du revêtement. Cela peut provoquer des décharges aigrettes, voire des décharges glissantes de surface.

NOTE 4 Le frottement manuel n'est généralement pas considéré comme un processus de forte charge.

6.3.5 Revêtements conducteurs ou dissipatifs sur des matériaux isolants

Un soin particulier doit être apporté lors de l'application d'un revêtement conducteur ou dissipatif sur une surface isolante pour garantir une distribution uniforme des particules conductrices. Une distribution non uniforme peut entraîner la formation d'îlots conducteurs isolés qui peuvent s'électriser facilement par les surfaces isolées situées à proximité. De tels îlots conducteurs isolés présentent un danger électrostatique plus important qu'une surface isolante.

Il convient de mettre à la terre les revêtements conducteurs comme n'importe quel autre conducteur conformément à l'Article 13.

6.3.6 Agents électrostatiquement dissipatifs

Des agents antistatiques dissipatifs sont fréquemment utilisés sur les vêtements et les sols afin d'améliorer la conductivité des liquides et matériaux. Il convient de s'assurer de la présence d'une concentration suffisante de ces agents pour accomplir la fonction souhaitée. Par exemple, les agents dissipatifs peuvent se diluer ou passer au lavage. Par conséquent, leur efficacité doit être surveillée et maintenue. Des additifs polymères antistatiques permanents non migratoires ont récemment été développés pour surmonter ces limitations.

6.3.7 Humidification

La résistivité superficielle de certains matériaux solides isolants peut être réduite à des niveaux dissipatifs si l'humidité relative est maintenue au-dessus de 65 % environ. Même si l'air humide n'est pas conducteur, l'eau/l'humidité peut adsorber sur la surface de nombreux matériaux selon la nature hygroscopique du matériau. Cela peut être suffisant pour empêcher l'accumulation d'électricité statique, à condition qu'il existe un chemin électrique de mise à la terre adéquat.

Cependant, alors que la surface de certains matériaux (verre ou fibres naturelles, par exemple) peut adsorber assez d'humidité pour garantir une conductivité superficielle suffisante pour éviter l'accumulation d'électricité statique, d'autres matériaux ne le font pas (polytétrafluoroéthylène ou polyéthylène, par exemple) et sont capables d'accumuler une charge électrique statique même avec une humidité relative élevée. En outre, lorsque l'humidité tombe en dessous de 30 % environ, les matériaux qui sont sensibles à l'humidification retrouvent généralement des propriétés isolantes élevées. L'augmentation de l'humidité relative n'étant pas efficace dans tous les cas, il convient donc généralement de ne pas l'utiliser comme unique mesure de protection. Cela a d'autant plus d'importance dans la Zone 0.

6.3.8 Ionisation/Neutralisation de charges

6.3.8.1 Généralités

L'ionisation de l'air est une méthode qui enrichit localement l'air en ions de manière à pouvoir neutraliser les charges présentes sur les matériaux solides isolants. Elle joue un rôle particulièrement utile dans la neutralisation de charge sur des films ou des feuilles en plastique isolants. Les méthodes pouvant être utilisées comprennent entre autres celles données du 6.3.8.2 au 6.3.8.5. La neutralisation ne peut pas réussir si la vitesse à laquelle est générée la charge dépasse celle à laquelle les ions sont introduits dans l'air, ou peut migrer vers la surface électrisée, ou s'il n'y a pas suffisamment d'ions de la polarité souhaitée. Par conséquent, une installation correcte et une maintenance régulière de ces appareils sont essentielles en tenant compte des facteurs susceptibles d'influencer leur efficacité comme les conditions d'environnement (poussière et température, par exemple) et le positionnement de l'appareil par rapport au matériau traité, aux pièces de la machine et aux personnes.

La diminution de charge en tout point de l'opération n'empêche pas la génération de charge à des étapes ultérieures du processus, c'est pourquoi des ionisateurs peuvent être exigés dans certains emplacements. Le positionnement étant important, il convient de confirmer l'efficacité des différentes installations en effectuant une mesure de champ de la charge ou de la tension résiduelle. En particulier, pour les films et les feuilles, il est nécessaire de s'assurer que les ions sont dirigés du bon côté pour éviter la formation d'une couche bipolaire susceptible de générer des décharges glissantes de surface.

Les pointes couronnes restent fonctionnelles sous réserve qu'elles soient propres et pointues. Il convient de contrôler l'accumulation de contaminants (encre, solution de revêtement ou poussière de papier, par exemple) et de produits de corrosion dans le cadre d'un programme de maintenance efficace.

Il convient de choisir les ionisateurs en fonction de leur vitesse de génération de charges ou de leur temps de décroissance de la charge. Il convient de ne pas les utiliser dans la Zone 1, IIC à moins que les risques aient fait l'objet d'une évaluation par un expert. En outre, il convient de ne pas les utiliser dans la Zone 0 comme unique mesure de sécurité.

6.3.8.2 Ionisateurs passifs

Les électrodes à pointes (aiguilles pointues mises à la terre, fils fins ou fil rosette) produisent des décharges en couronne lorsqu'elles sont placées dans le champ électrique d'une surface fortement électrisée. Elles génèrent des ions qui neutralisent la charge présente sur le corps. Toutefois, cette méthode est limitée dans son efficacité et peut également produire des décharges si les ionisateurs passifs ne sont pas correctement mis à la terre.

6.3.8.3 Ionisateurs actifs

Les ionisateurs actifs génèrent des ions en appliquant une haute tension à un certain nombre de pointes couronnes. Les systèmes commerciaux utilisent généralement des tensions alternatives dans la plage 5 kV à 10 kV. L'utilisation d'une alimentation haute tension élimine la limitation des neutraliseurs passifs en ce qui concerne le contrôle des charges possédant des champs inférieurs au seuil de début de l'effet couronne. Les courants générés par les pointes couronnes sont limités par couplage de résistance élevée ou couplage capacitif.

Il convient de choisir des ionisateurs actifs adaptés pour l'emplacement dans lequel ils sont utilisés et qu'ils soient conçus et fabriqués pour ne pas constituer une source potentielle d'inflammation. Ils exigent une conception minutieuse pour s'assurer que la génération d'ions est en adéquation avec les exigences du processus.

6.3.8.4 Ionisateurs radioactifs/de rayons X doux

Les sources radioactives et de rayons X doux ionisent l'air ambiant et peuvent être utilisées pour dissiper les charges présentes dans un corps électrisé. Cette ionisation en soi ne présente pas de danger d'inflammation, mais est néanmoins limitée dans son efficacité (les performances se détériorent avec la décroissance des matériaux radioactifs).

6.3.8.5 Ventilateurs ionisés

Les ventilateurs ionisés utilisant des tensions élevées ou des sources radioactives sont principalement utilisés pour dissiper des charges sur des objets de forme inhabituelle. Néanmoins, la concentration en ions peut rapidement diminuer en aval en raison de la recombinaison ou de l'adsorption des ions par les parois. Par conséquent, il est difficile de transporter l'air ionisé sur de longues distances. Il convient de placer les éléments contenant les tensions élevées dans une zone non dangereuse à moins qu'ils aient fait l'objet d'une certification appropriée.

NOTE La fonction d'un ionisateur peut être soumise à essai selon la méthode décrite dans l'IEC 61340-4-7.

6.3.9 Méthodes de détermination de l'inflammabilité des décharges

Si les exigences fournies dans les paragraphes 6.3.2 à 6.3.8 ne s'appliquent pas, il peut être utile de procéder à une détermination expérimentale de la valeur d'inflammabilité des décharges potentielles.

Une méthode consiste à charger l'échantillon dans les conditions les plus défavorables jusqu'au niveau le plus élevé possible (au moins le niveau maximal susceptible de survenir en fonctionnement) afin de provoquer des décharges sur une sphère mise à la terre amenée à proximité et à transférer ces décharges dans des mélanges gazeux d'une valeur EMI connue. Cette méthode est décrite dans l'IEC 61340-4-4.

La charge maximale transférée par une décharge est souvent utilisée pour donner une indication de l'inflammabilité des décharges d'allumage et des décharges aigrettes plutôt que d'utiliser un mélange gazeux explosif. Cette méthode est décrite dans l'IEC 60079-0:2007, 26.14. Le Tableau 4 donne un récapitulatif de l'ensemble des limites de seuil applicables.

NOTE Il est prévu de réviser cette méthode et de la déplacer dans l'IEC 60079-32-2⁶.

Il convient de veiller tout particulièrement à ce que l'échantillon d'essai soit chargé jusqu'au plus haut niveau possible, que les charges induites soient compensées et que seule une décharge discrète soit enregistrée.

⁶ A publier.

Tableau 4 — Charge transférée acceptable maximale

Groupe d'explosion	EPL Ma EPL Mb Exploitation minière	EPL Ga Zone 0	EPL Gb Zone 1	EPL Gc Zone 2	EPL Da Zone 20	EPL Db Zone 21	EPL Dc Zone 22
I	60 nC	-	-	-	-	-	-
IIA	-	25 nC	60 nC	60 nC	-	-	-
IIB	-	10 nC	25 nC	25 nC	-	-	-
IIC	-	Aucune décharge mesurable	10 nC	10 nC	-	-	-
III	-	-	-	-	60 nC ^a	200 nC ^a	200 nC ^a

^a Valeurs applicables uniquement pour les décharges d'allumage générées par des parties conductrices ou dissipatives non mises à la terre

NOTE 1 Selon les limites pour les Zones 1 et 21, il convient qu'aucune décharge incendiaire ne se produise en fonctionnement normal. Les limites données pour les Zones 0 et 20 sont de nouveau réduites afin de prendre en compte les situations anormales et le haut niveau de sécurité exigé pour ces zones.

NOTE 2 Pour obtenir une explication des différents niveaux de protection du matériel (EPL), se reporter à l'IEC 60079-0 ou à l'Annexe E.

NOTE 3 Toutes les valeurs comportent une certaine marge de sécurité. Des travaux récents ont montré que la valeur jusqu'alors utilisée pour le Groupe IIB comportait une marge de sécurité moins importante par rapport aux autres valeurs. Pour égaliser toutes les marges de sécurité, les valeurs pour IIB ont été réduites de 30 nC à 25 nC.

6.4 Courroies transporteuses et courroies de transmission

6.4.1 Généralités

Les courroies utilisées pour la transmission de puissance ou le transport de matériaux solides peuvent générer une quantité importante de charge et constituer un danger d'inflammation en raison de la séparation continue des surfaces de contact (principalement un arbre moteur et une courroie). La quantité de charge acquise dépend du matériau de la courroie transporteuse, ainsi que des matériaux de l'arbre moteur et des galets; elle augmente avec la vitesse et la tension de la courroie, ainsi que la largeur de la zone de contact.

La charge acquise par la courroie peut être dissipée en toute sécurité vers la terre uniquement par l'intermédiaire des galets conducteurs mis à la terre si la courroie transporteuse est suffisamment dissipative. Les matériaux qui se déversent à l'extrémité d'une courroie transporteuse dans une trémie ou une goulotte peuvent porter une charge forte. Les courroies conductrices ou dissipatives ne peuvent pas éliminer la charge d'un produit transporté isolant.

6.4.2 Courroies transporteuses

Les courroies transporteuses sont des courroies sans fin qui sont entraînées par des galets (généralement métalliques) et transportent des matériaux. Une courroie transporteuse est considérée dissipative si:

- les résistances superficielles des deux côtés de la courroie sont inférieures à 300 MΩ, mesurées selon l'ISO 284 et l'EN 14973, ou
- les résistances superficielles des deux côtés de la courroie sont inférieures à 75 MΩ, mesurées avec la configuration d'électrodes donnée au 3.21, ou
- dans les cas où la courroie est constituée de couches de matériaux différents, la courroie est considérée dissipative si la résistance (mesurée à 23 °C et à une humidité relative de 50 %) entre les deux surfaces externes opposées est inférieure à 1 GΩ.

NOTE Les résistances superficielles mesurées selon l'ISO 284 et l'EN 14973 sont à une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 5) \%$ et ont la configuration d'électrodes suivante: électrode circulaire interne de diamètre 25 mm et électrode annulaire externe de diamètre intérieur 125 mm et de diamètre extérieur 150 mm. Les résistances superficielles mesurées avec la configuration d'électrodes donnée au 3.21 sont exactement quatre fois plus faibles.

Le Tableau 5 donne un récapitulatif de l'ensemble des mesures exigées pour des courroies transporteuses selon la classification de la zone dangereuse selon l'IEC 60079-10-1 et l'IEC 60079-10-2:

Tableau 5 — Exigences relatives aux courroies transporteuses

Vitesse de la courroie	Zone 0	Zone 1		Zone 2	Zone 20		Zone 21	Zone 22
		IIC	IIA & IIB		EMI <10 mJ	EMI >10 mJ		
≤0,5 m/s	Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, pas de connecteur de courroie		Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, connecteurs de courroie admis	Aucune exigence au-delà de celles définies au 6.4.1 sauf si l'expérience montre que des décharges incendiaires se produisent fréquemment	Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, connecteurs de courroie admis			Aucune exigence au-delà de celles définies au 6.4.1 sauf si l'expérience montre que des décharges incendiaires se produisent fréquemment
0,5 m/s – 5 m/s	Non admis							
5 m/s – 30 m/s			Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, pas de connecteur de courroie		Non admis	Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, pas de connecteur de courroie		
^a dissipative selon la définition donnée au 6.4.2								
NOTE Aucune information n'est disponible pour les vitesses de courroie > 30 m/s.								

Pour le Groupe d'explosion I, les exigences de la Zone 1 (IIA & IIB) s'appliquent. Néanmoins, des convoyeurs de poussières de charbon isolants transportant des poussières de charbon conductrices difficilement inflammables ainsi que des convoyeurs similaires peuvent être utilisés à condition qu'une appréciation du risque démontre un risque d'inflammation faible.

Le Tableau 5 et les exigences définies au 6.4.2 ne s'appliquent pas aux courroies qui dissipent la charge par effet couronne. De telles courroies doivent être soumises à essai par des experts, par exemple en mesurant leur chargeabilité dans les conditions les plus défavorables.

Une couche de cire ou de saleté sur la courroie peut augmenter la chargeabilité de la courroie et également sa résistance, ce qui peut entraîner une augmentation du danger d'électrification. Il convient de s'assurer que les réparations n'augmentent pas les valeurs fournies. Il est essentiel que les couches d'adhésifs isolants utilisés pour connecter la courroie n'interrompent pas le chemin conducteur.

Les courroies transporteuses légères telles que décrites dans l'ISO 21183-1 doivent fréquemment se conformer aux exigences de clients hautement spécialisés. Dans ces cas, les normes spécifiques ISO 21178 *Courroies transporteuses légères — Détermination des résistances électriques* et ISO 21179 *Courroies transporteuses légères — Détermination du champ électrostatique engendré par une courroie transporteuse légère en marche* existent et doivent être utilisées.

6.4.3 Courroies de transmission

Les courroies de transmission sont des courroies trapézoïdales et des courroies plates, qui entraînent des pièces rotatives ou des machines. La quantité de charge acquise par la courroie en raison de la séparation continue des surfaces de contact dépend du matériau de la courroie et des poulies; elle augmente avec la vitesse et la tension de la courroie, ainsi que la largeur de la zone de contact. D'après l'ISO 9563 et l'ISO 1813, le matériau d'une courroie de transmission est considéré dissipatif si:

$$R \times B / L \leq 600 \text{ k}\Omega$$

où L est la distance entre deux électrodes conductrices (en graphite, en métal ou peintes à l'argent, par exemple) sur une courroie de transmission, B est la largeur de la courroie plate ou le double de la largeur de la face latérale de la courroie trapézoïdale, et R est la résistance mesurée entre les électrodes à $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, sans condensation de l'humidité.

NOTE Dans les documents plus anciens (CENELEC TR 50404, par exemple), les critères d'acceptation étaient $R \times B \leq 100 \text{ k}\Omega \text{ m}$ (où R est la résistance mesurée sur le bord intérieur de la courroie de transmission montée entre une électrode située à mi-chemin entre les deux poulies et la terre, et B est la largeur de la courroie plate ou le double de la largeur de la face latérale de la courroie trapézoïdale. Etant donné que le respect de ce critère $R \times B$ dépend de la distance entre les deux poulies, un matériau de courroie ne peut pas être caractérisé comme étant dissipatif. C'est pourquoi l'ISO 9563 et l'ISO 1813 fournissent un critère dissipatif indépendant de la longueur de la courroie. Si la distance entre les deux poulies dépasse 0,67 m, les exigences des deux normes ISO sont automatiquement respectées par le critère $R \times B$ dans les documents plus anciens comme indiqué précédemment.

Le Tableau 6 donne un récapitulatif de l'ensemble des mesures exigées selon la classification de la zone dangereuse selon l'IEC 60079-10-1 et l'IEC 60079-10-2:

Tableau 6 — Exigences relatives aux courroies de transmission

Vitesse de la courroie	Zone 0	Zone 1		Zone 2	Zone 20		Zone 21	Zone 22
		IIC	IIA & IIB		EMI < 10 mJ	EMI > 10 mJ		
≤ 0,5 m/s	Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, pas de connecteur de courroie	Non admis	Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, connecteurs de courroie admis	Aucune mesure de protection au-delà de celles définies au 6.4.1 sauf si l'expérience montre que des décharges incendiaires se produisent fréquemment	Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, connecteurs de courroie admis			Aucune mesure de protection au-delà de celles définies au 6.4.1 sauf si l'expérience montre que des décharges incendiaires se produisent fréquemment
0,5 m/s – 5 m/s								
5 m/s – 30 m/s					Courroie dissipative ^a et poulies conductrices, pas de connecteur de courroie	Non admis		
^a dissipative selon la définition donnée au 6.4.3								
NOTE Aucune information n'est disponible pour les vitesses de courroie > 30 m/s.								

Pour le Groupe d'explosion I, les exigences de la Zone 1 (IIA & IIB) s'appliquent.

Le Tableau 6 et les exigences définies au 6.4.3 ne s'appliquent pas aux courroies qui dissipent la charge par effet couronne. De telles courroies doivent être soumises à essai par des experts, par exemple en mesurant leur chargeabilité dans les conditions les plus défavorables.

Dans les cas où la courroie est constituée de couches de matériaux différents, la courroie est considérée dissipative si la résistance qui la traverse ne dépasse pas 1 G Ω (résistance mesurée à 23 °C et à 50 % d'humidité relative).

Une couche de cire ou de saleté sur la courroie peut augmenter la chargeabilité de la courroie et également sa résistance, ce qui peut entraîner une augmentation du danger d'électrification. Il convient de s'assurer que les réparations n'augmentent pas les valeurs fournies. Il est essentiel que les couches d'adhésifs isolants utilisés pour connecter la courroie n'interrompent pas le chemin conducteur.

7 Electricité statique dans les liquides

7.1 Remarques d'ordre général

7.1.1 Occurrence des atmosphères inflammables

NOTE Des informations générales concernant l'inflammabilité et l'allumabilité des atmosphères constituées de gaz et de vapeur sont données dans l'Annexe C.

De nombreuses opérations impliquant des liquides inflammables produisent des atmosphères inflammables par évaporation du liquide manipulé. Le point d'éclair fournit une indication approximative concernant la température superficielle du liquide minimale exigée pour produire une atmosphère inflammable par ce processus. En raison des incertitudes impliquées dans la mesure du point d'éclair, des différences entre les conditions d'essai du point d'éclair et celles en situation industrielle réelle, ainsi que la difficulté d'établir la température superficielle (et non volumétrique) du liquide, il est néanmoins prudent de retenir l'hypothèse qu'une atmosphère inflammable peut exister même lorsque la température du liquide se situe au-dessous du point d'éclair avec une certaine marge de sécurité. La marge dépend du niveau d'incertitude par rapport à la température, la composition du liquide, etc. Pour des conditions parfaitement contrôlées, une marge de 5 °C pour les liquides purs et d'au moins 11 °C pour les mélanges est généralement nécessaire.

Lorsque des citernes sont exposées à la lumière directe du soleil et que les températures des liquides ne sont pas surveillées, il convient d'admettre par hypothèse qu'une atmosphère inflammable peut être présente lors de la manipulation de liquides possédant des points d'éclair de 60 °C maximum. Dans des zones où la température ambiante est élevée et où l'exposition solaire est forte, des atmosphères inflammables peuvent se produire même avec des liquides ayant des points d'éclair supérieurs à 60 °C.

En cas de manipulation d'un liquide à une température située bien au-dessus de son point d'éclair, la vapeur saturée peut produire une atmosphère trop riche (c'est-à-dire inflammable). Néanmoins, l'atmosphère réelle au-dessus du liquide peut ne pas être saturée (en raison de la ventilation, par exemple) et peut donc être inflammable. Il est donc nécessaire d'admettre par hypothèse que l'atmosphère peut être inflammable sauf s'il peut être démontré le contraire. Par conséquent, pour des liquides à point d'éclair faible, il convient généralement de ne pas se fonder sur la présence d'une atmosphère trop riche comme unique mesure de contrôle.

Dans certaines circonstances, l'atmosphère inflammable n'est pas due au liquide manipulé, mais aux résidus de liquide volatil ou de vapeur provenant d'opérations antérieures effectuées avec le même équipement ou provenant d'opérations voisines. Des vapeurs résiduelles peuvent se produire lors d'un chargement alterné lorsqu'un liquide possédant un point d'éclair élevé (diesel, par exemple) est chargé dans une citerne qui contenait auparavant un liquide possédant un point d'éclair faible (essence, par exemple). Un fort pourcentage d'incendies de camions-citernes a été rapporté avec les chargements alternés.

7.1.2 Sensibilité à l'inflammation et limitations concernant le domaine d'application des conseils fournis

La sensibilité d'une atmosphère inflammable à l'inflammation électrostatique dépend de la concentration et de l'énergie minimale d'inflammation (EMI – voir C.6) des matériaux inflammables. En règle générale, la concentration en vapeur la plus facilement inflammable est approximativement le double de la concentration à la limite inférieure d'explosivité (LIE). Etant donné l'incidence de la concentration, un mélange constitué d'un matériau à forte EMI dans sa concentration la plus facilement inflammable peut être plus sensible à l'inflammation qu'un mélange constitué d'un matériau à faible EMI dans une concentration en vapeur qui se situe aux limites de la plage inflammable.

Pour des mélanges de vapeur/air stables produits par des liquides inflammables, la concentration en vapeur la plus facilement inflammable est généralement atteinte à des températures d'environ 10 °C à 20 °C au-dessus du point d'éclair. Les liquides inflammables de volatilité intermédiaire ont tendance à produire leurs mélanges les plus facilement inflammables à des températures ambiantes communes: de tels liquides comprennent le toluène (point d'éclair à 6 °C), l'acétate de propyle (point d'éclair à 10 °C) et l'acétonitrile (point d'éclair à 2 °C).

Les précautions générales fournies dans le présent article sont conçues pour éviter l'inflammation de matériaux possédant des EMI de 0,20 mJ et plus, lorsqu'ils sont présents dans leur concentration en vapeur la plus facilement inflammable. Elles s'appliquent donc aux mélanges les plus facilement inflammables dans l'air des vapeurs dégagées par des liquides inflammables courants tels que les solvants paraffiniques et aromatiques, les hydrocarbures et de nombreux solvants organiques (voir liste des EMI dans le Tableau C.2). A des températures ambiantes types, les marges de sécurité sont minimales en cas de manipulation de liquides inflammables de volatilité intermédiaire tels que ceux cités précédemment. Dans de telles opérations, il convient de s'assurer avec soin que l'ensemble des précautions recommandées sont scrupuleusement suivies.

Bien que les groupes d'explosion ne soient pas affectés d'après la EMI (voir C.6), les précautions exigées à prendre en présence de la plupart des fumées du Groupe d'explosion IIA sont susceptibles d'être similaires à celles présentées ici pour des EMI de 0,20 mJ et plus. Néanmoins, des précautions supplémentaires sont susceptibles d'être exigées dans les zones, où l'atmosphère au-dessus du liquide est plus sensible à l'inflammation. Cette situation se produit, par exemple, avec les mélanges les plus facilement inflammables dans l'air de matériaux volatils possédant des EMI de moins de 0,20 mJ (la plupart des matériaux des groupes d'explosion IIB et IIC) ou avec des mélanges riches en oxygène. Même si aucun conseil général n'a été formulé pour ces atmosphères plus sensibles, des recommandations sont néanmoins fournies pour quelques activités spécifiques. Lorsqu'elles sont fournies, ces précautions supplémentaires pour les matériaux plus sensibles sont identifiées de manière explicite comme telles dans le texte.

7.1.3 Mécanismes d'électrification

Les liquides peuvent se charger en électricité statique lorsqu'ils sont en mouvement par rapport à des solides en contact ou qu'il existe deux phases liquides immiscibles ou plus et qu'ils sont en mouvement. La pulvérisation de liquides peut également créer un brouillard ou des pulvérisations fortement électrisés. Des informations complémentaires concernant la génération et l'accumulation de charges dans les liquides sont données du A.1.3 au A.1.7 (génération) et au A.2.2 (accumulation).

7.1.4 Accumulation de charges et classifications de conductivité

Le niveau d'accumulation de charges dans un liquide particulier, et par conséquent le danger électrostatique pouvant être créé, dépend fortement de sa conductivité électrique et de sa constante diélectrique (permittivité relative), ϵ_r . Pour décrire les dangers potentiels et les moyens de prévention associés, les conductivités des liquides ont été classées de la façon suivante:

conductivité élevée	$> 10\,000\text{ pS/m}$;
conductivité moyenne	entre $25 \times \epsilon_r\text{ pS/m}$ et $10\,000\text{ pS/m}$;
conductivité faible	$< 25 \times \epsilon_r\text{ pS/m}$.

Pour les liquides possédant une constante diélectrique proche de 2 (hydrocarbures, par exemple), ces classifications se résument à:

conductivité élevée	$> 10\,000\text{ pS/m}$;
conductivité moyenne	entre 50 pS/m et $10\,000\text{ pS/m}$;
conductivité faible	$< 50\text{ pS/m}$.

Pour les liquides possédant une constante diélectrique considérablement supérieure à 2 ou pour les liquides dont la constante diélectrique n'est pas connue, la limite frontière pour la conductivité faible est habituellement fixée à 100 pS/m . La limite frontière supérieure pour la conductivité moyenne reste à $10\,000\text{ pS/m}$.

NOTE La valeur 100 pS/m est considérée suffisante pour les cas inconnus, car peu de liquides de conductivité faible (voir aucun) ont une permittivité relative considérablement supérieure à 4.

Les niveaux dangereux d'accumulation de charges sont le plus souvent liés aux liquides de conductivité faible. Néanmoins, ils peuvent survenir avec des liquides de conductivité moyenne ou élevée dans les processus qui génèrent des brouillards ou des pulvérisations, lors du transport de liquides de conductivité moyenne dans des tuyaux isolants ou lors d'opérations de mixage en deux phases.

En règle générale, les solvants polaires tels que les alcools, les cétones et l'eau ont une conductivité élevée tandis que les hydrocarbures liquides saturés et les composés aromatiques purifiés ont une conductivité faible. Les conductivités et les temps de relaxation pour un certain nombre de liquides sont donnés dans le Tableau 7.

NOTE 1 Une liste plus complète incluant une plage plus large de liquides et de données de constante diélectrique est donnée dans la NFPA-77.

NOTE 2 Les biocarburants et les hydrocarbures mélangés avec des biocomposants peuvent avoir une plage de conductivité importante selon leur composition.

NOTE 3 Les méthodes d'essai pour la mesure de la conductivité d'un liquide sont données dans l'ASTM D4308-95, la DIN 51412-1, la DIN 51412-2 et l'ISO 6297 par exemple.

Tableau 7 — Conductivités et temps de relaxation de certains liquides

Liquide	Conductivité (pS/m)	Temps de relaxation (secondes)
Conductivité faible		
paraffines hautement purifiées	0,01	2 000
paraffines courantes	0,1 à 10	2 à 200
composés aromatiques purifiés (toluène, xylène, etc.)	0,1 à 10	2 à 200
composés aromatiques courants	5 à 50	0,4 à 4
essence	0,1 à 100	0,2 à 200
kérosène	0,1 à 50	0,4 à 200
gazole	1 à 100	0,2 à 20
huiles blanches	0,1 à 100	0,2 à 200
huiles lubrifiantes	0,01 à 100	0,02 à 2 000
éthers, hors glycols	0,1 à 100	0,2 à 200
mélanges de solvants aromatiques propriétaires	1 à 1 000	0,02 à 20
condensat de gaz naturel sans inhibiteur de corrosion	10 à 100	0,2 à 2
Conductivité moyenne		
essence contenant des additifs de performance ou 5 % d'éthanol	50 à 1 000	0,02 à 0,4
carburants et huiles contenant des additifs dissipatifs	50 à 1 000	0,02 à 0,4
mazout lourd (huiles noires)	50 à 10 000	2×10^{-4} à 0,4
esters	100 à 1 000 000	2×10^{-5} à 0,2
Conductivité élevée ($\mu\text{S/m}$)		
pétrole brut	$\geq 0,001$	$\leq 0,02$
essence contenant 10 % d'éthanol ou plus	$\geq 0,01$	$\leq 0,002$
condensat de gaz naturel avec inhibiteur de corrosion	$\geq 0,001$	$\leq 0,02$
glycols et éthers de glycol	1 à 100	2×10^{-7} à 2×10^{-5}
alcools	1 à 100	2×10^{-7} à 2×10^{-5}
cétones	0,1 à 100	2×10^{-7} à 2×10^{-4}
eau pure	5	10^{-6}
eau (non distillée)	≥ 100	$\leq 2 \times 10^{-7}$
NOTE Bien que les cétones et les esters aient habituellement une conductivité élevée, les cétones et esters à longue et moyenne chaînes sont souvent chargeables à un niveau élevé		

Il convient de considérer les liquides de conductivité moyenne ou élevée comme des éléments conducteurs ou dissipatifs nécessitant une mise à la terre.

7.1.5 Décharges incendiaires générées lors des opérations de manipulation de liquides

Lorsqu'une citerne est remplie d'un liquide chargé de conductivité faible, la charge qui s'accumule dans le liquide à l'intérieur de la citerne crée des champs et des potentiels électriques à la fois dans le liquide et dans la phase gazeuse de la citerne. Avec des potentiels de surface liquide élevés, des décharges aigrettes peuvent se produire entre la

surface du liquide électrisé et les parties métalliques de la structure de la citerne. Les résultats montrent que les hydrocarbures aliphatiques tels que le propane peuvent être enflammés par des décharges aigrettes sur une électrode mise à la terre si le potentiel de la surface liquide dépasse 25 kV.

Un danger d'inflammation peut survenir à des potentiels bien plus faibles (généralement 5 kV à 10 kV) si des conducteurs isolés tels que des boîtes métalliques flottantes ou des composants incorrectement mis au potentiel sont présents dans la citerne, ou si le conteneur possède un garnissage isolant, sans point de contact pour la mise à la terre du liquide, et est rempli en pluie avec un liquide qui est suffisamment conducteur pour produire des étincelles.

7.2 Récapitulatif des précautions à prendre contre les dangers d'inflammation lors des opérations de manipulation de liquides

7.2.1 Mise à la terre et évitement des conducteurs isolés

Les conducteurs isolés (tels que les citernes métalliques, les structures de citernes ou d'autres objets métalliques isolés) qui sont délibérément ou accidentellement associés à la manipulation de liquides peuvent être portés à des potentiels élevés à cause des charges présentes sur le liquide. Cela peut provoquer des décharges d'allumage. Ces décharges sont particulièrement dangereuses, car elles sont généralement capables d'enflammer les vapeurs inflammables à des potentiels bien plus faibles que les décharges aigrettes. Par conséquent, il convient de mettre à la terre l'ensemble des parties conductrices d'un système de manipulation de liquides (voir Article 13). Il convient également de relier à la terre les personnes qui manipulent des liquides inflammables (voir 11.1).

Il convient d'inspecter régulièrement les citernes afin de s'assurer de l'absence d'objets conducteurs errants non mis au potentiel (boîte qui flotte sur le liquide, par exemple).

7.2.2 Restriction de la génération de charges

La génération de charges peut être restreinte en contrôlant les paramètres de processus appropriés. Les mesures de contrôle applicables incluent:

1) opérations de remplissage de citernes:

- a) restreindre la vitesse d'écoulement linéaire dans la ligne d'alimentation de la citerne en limitant le débit de pompage ou en augmentant le diamètre de la ligne d'alimentation (voir 7.3.2.2.3 et 7.3.2.3.2 à 7.3.2.3.5);
- b) prévoir un temps de résidence suffisant pour la relaxation de la charge en aval des pompes et des filtres (voir 7.5 et A.2.2);
- c) éviter d'avoir une seconde phase immiscible dispersée dans le liquide; cela peut se produire si, par exemple, quelqu'un brasse l'eau présente au fond des réservoirs d'huile. Lorsqu'une seconde phase dispersée ne peut pas être évitée, restreindre la vitesse d'écoulement davantage (voir 7.3.2.2.2 et 7.3.2.3.5.3);
- d) éviter le remplissage en pluie en utilisant une entrée au fond ou en tirant un tuyau de remplissage presque jusqu'au fond de la citerne. Si un tuyau de remplissage court à alimentation par le haut doit être utilisé en présence d'une atmosphère inflammable, réduire la vitesse d'écoulement à 2 m/s et prendre les précautions supplémentaires données au 7.3.2.3.2 (diriger l'écoulement du liquide le long de la paroi du conteneur, par exemple). Dans le cas de liquides de conductivité élevée, il est suffisant de mettre à la terre une zone de contact au bas du conteneur.

2) opérations de brassage ou d'agitation (voir 7.9):

- a) limiter la puissance d'entrée ou la vitesse périphérique du brasseur (par exemple, dans la BS 5958, une puissance maximale de 0,37 kW/m³ était exigée pour une suspension ayant une conductivité de 1 000 pS/m);
- b) éviter la présence d'une seconde phase immiscible dans le liquide;

- c) utiliser une phase continue de conductivité élevée (conductivité supérieure à 10 000 pS/m).
- 3) opérations de nettoyage de citernes au moyen de jets liquides (voir 7.10):
- a) limiter la pression de liquide et le débit des machines de lavage aux valeurs recommandées au 7.10;
 - b) éviter la formation d'une seconde phase immiscible dans le liquide de lavage, en particulier si le liquide de lavage est recyclé;
 - c) éviter les jets ininterrompus qui peuvent engendrer des volumes de liquide isolés importants (voir 7.10).

7.2.3 Evitement d'une atmosphère inflammable

Pour éviter les dangers d'inflammation, le moyen le plus efficace consiste à empêcher l'occurrence d'une atmosphère inflammable, par exemple:

- a) éviter les phases gazeuses dans le système;
- b) inerte la phase gazeuse de la citerne en utilisant des gaz inertes tels que l'azote, le dioxyde de carbone ou des effluents gazeux purifiés (en prenant les précautions données au 8.4);
- c) éviter le chargement alterné et les systèmes collecteurs de vapeur courants qui laissent les mélanges vapeur/air inflammables pénétrer dans les citernes non conçues à cet effet;
- d) après manipulation des liquides volatils, nettoyer et ventiler les citernes afin d'éliminer les résidus de liquides inflammables, de gaz et de vapeurs;
- e) s'assurer qu'une quantité suffisante d'air neuf est introduite en continu dans le système. Des essais réguliers sur les gaz ainsi qu'une ventilation forcée peuvent être nécessaires;
- f) il convient de procéder à une purge de la citerne avec de l'air pour éviter la formation d'une atmosphère inflammable en prêtant une attention particulière aux citernes qui contiennent, ou ont contenu, un liquide inflammable à point d'éclair faible étant donné le risque de présence de liquide résiduel.

7.2.4 Amélioration de la dissipation des charges

Dans les situations où une atmosphère inflammable ne peut pas être évitée, le risque d'inflammation peut être contrôlé en limitant l'accumulation de charges. Pour les composants du système de manipulation, cela implique la mise au potentiel des conducteurs solides et des personnes et, si nécessaire, le remplacement des composants système isolants par des composants dissipatifs ou conducteurs mis à la terre. Pour les liquides eux-mêmes, le moyen le plus efficace d'améliorer la dissipation des charges consiste à augmenter la conductivité du liquide en utilisant des additifs électrostatiquement dissipatifs (SDA) disponibles dans le commerce. Lorsqu'ils sont ajoutés à un liquide dans des concentrations très faibles de l'ordre de parties par million, ces additifs peuvent facilement augmenter la conductivité à des niveaux qui empêchent l'accumulation dangereuse de charge (voir 7.1.4).

NOTE 1 Les SDA sont largement utilisés dans les carburants aviation et, aux concentrations normalement utilisées, les effets sur la performance du moteur d'avion et du filtre/séparateur d'eau sont acceptables.

NOTE 2 Certains SDA peuvent perdre en efficacité dans certaines situations (à basses températures, après être entrés en contact avec l'eau, après filtrage de l'argile ou en raison de l'interaction avec d'autres composants, par exemple).

D'autres méthodes d'amélioration de la dissipation des charges consistent à remplacer un solvant (de conductivité faible) isolant par un solvant (de conductivité moyenne ou élevée) plus conducteur, ou à ajouter un solvant conducteur miscible à un solvant isolant. La quantité de solvant conducteur nécessaire dépendra des liquides concernés et du niveau de conductivité exigé.

7.3 Citernes et conteneurs

7.3.1 Généralités

Les dangers potentiels et les moyens de protection associés sont divisés selon que les citernes, ou leurs revêtements et garnissages, sont classées conductrices, dissipatives ou isolantes (voir 3.2, 3.7 et 3.15). Les citernes entièrement conductrices ont une résistance de mise à la terre de 1 kΩ ou moins en tout point de la cuve; les citernes entièrement dissipatives ont une résistance de mise à la terre de 1 MΩ ou moins en tout point de la cuve.

Selon cette classification, le présent paragraphe a été divisé en plusieurs paragraphes:

Citernes et conteneurs conducteurs: 7.3.2

Citernes et conteneurs réalisés entièrement en matériau dissipatif: 7.3.3

Citernes et conteneurs munis de surfaces isolantes: 7.3.4

Utilisation de revêtements dans les conteneurs: 7.3.5

Les opérations qui engendrent des dangers électrostatiques à l'intérieur d'une citerne incluent le remplissage, le transport (de la citerne et de son contenu), la purge, le calibrage ainsi que l'échantillonnage. Si une atmosphère inflammable peut être présente à l'intérieur d'une citerne lors de ces opérations, il convient de prendre les précautions énoncées ci-après.

NOTE Si une atmosphère inflammable n'est pas susceptible de se produire (voir 7.1.1), les précautions données au 7.3 ne sont pas nécessaires.

D'autres opérations telles que la circulation du liquide, le brassage, le mixage, la cristallisation et le nettoyage sont traitées au 7.9 et au 7.10.

Les restrictions normalisées concernant les vitesses d'écoulement données au 7.3.2 s'appliquent principalement aux hydrocarbures. Néanmoins, elles peuvent s'appliquer avec précaution à d'autres solvants et combustibles possédant des viscosités cinématiques en dessous de 6 mm²/s à 20 °C, mais il peut être nécessaire de faire attention aux matériaux tels que les composants de biocarburants (voir C.8) ou les mélanges qui sont chimiquement différents des hydrocarbures et pour lesquels l'expérience acquise concernant la manipulation dans le cadre de systèmes haut débit est limitée. D'autres restrictions sont jugées nécessaires pour le contrôle de l'électrification dans les liquides à haute viscosité, tels que les huiles lubrifiantes (voir 7.4).

7.3.2 Citernes et conteneurs conducteurs

7.3.2.1 Généralités

Pour décrire les dangers potentiels et les moyens de prévention associés, les citernes conductrices ont été classées par taille de la façon suivante:

	Citernes cylindriques à axe vertical et citernes non cylindriques présentant une section transversale carrée ou quasiment carrée (voir NOTE 3)	Citernes cylindriques à axe horizontal ou citernes non cylindriques présentant une section transversale allongée (voir NOTE 3)
Citernes de grandes dimensions (7.3.2.2)	diamètre > 10 m	capacité > 500 m ³ (125 000 USG)
Citernes de moyennes dimensions (7.3.2.3)	1,3 m < diamètre effectif ≤ 10 m	2 m ³ (500 USG) < capacité capacité ≤ 500 m ³ (125 000 USG)
Citernes et conteneurs de faibles dimensions (7.3.2.4)	diamètre effectif ≤ 1,3 m	capacité ≤ 2 m ³ (500 USG).

NOTE 1 Dans les documents plus anciens (CENELEC TR 50404, par exemple), la limite inférieure était de 1 m³ et la limite supérieure était de 50 m³ pour les réservoirs de moyennes dimensions. Des travaux récents (voir A.2.2)

ont suggéré qu'il convient d'augmenter les limites inférieure et supérieure pour les citernes de moyennes dimensions et que les limites de diamètre sont meilleures que les limites de capacité pour les citernes à axe vertical (les tensions sont davantage fonction du diamètre que de la capacité). Les limites de capacité fournies ci-dessus pour les citernes à axe horizontal correspondent approximativement aux limites de diamètre pour les citernes à axe vertical combinées aux hauteurs types les plus faibles pour ces citernes.

NOTE 2 Les limites de capacité sont exprimées en m³ et en gallons US (USG). Elles ont été arrondies afin de fournir des nombres pratiques dans chaque ensemble d'unités. Par conséquent, les valeurs aux limites sont similaires mais ne correspondent pas exactement. L'une ou l'autre des valeurs peuvent être utilisées au choix de l'utilisateur.

NOTE 3 Les citernes "quasiment carrées" ont un rapport longueur/largeur inférieur à 1.5. Les citernes "allongées" ont un rapport longueur/largeur supérieur à 1.5. Les règles données pour les citernes carrées sont fiables pour les citernes allongées de section transversale identique, mais peuvent être conservatrices.

7.3.2.2 Citernes conductrices de grandes dimensions

7.3.2.2.1 Généralités

Quelle que soit la conductivité du liquide ou la structure de la citerne, il convient de prendre les précautions générales suivantes:

- a) mettre à la terre la citerne ainsi que l'ensemble des structures associées telles que les tuyaux, les pompes, les boîtiers de filtre, etc. (voir Article 13);
- b) s'assurer que les personnes qui pénètrent ou travaillent à proximité d'une ouverture de la citerne sont mises à la terre (voir Article 11);
- c) éviter le remplissage en pluie en utilisant une entrée latérale proche du fond, une entrée au fond ou en tirant un tuyau de remplissage presque jusqu'au fond de la citerne.

7.3.2.2.2 Citernes à toit fixe

Pour les liquides de conductivité faible ou moyenne, inspecter régulièrement la citerne, en particulier après chaque ouverture du trou de visite, pour vérifier l'absence d'objets métalliques errants (canettes, par exemple) susceptibles d'agir comme des conducteurs isolés flottants.

Pour les liquides de conductivité faible, les précautions supplémentaires suivantes sont nécessaires:

- 1) Emplacement des pompes et des filtres. Placer les pompes, les filtres et autres éléments générateurs de forte charge à un temps de résidence adéquat en amont de l'entrée de la citerne pour permettre une relaxation des charges supplémentaires avant que le liquide pénètre dans la citerne (voir 7.5 et A.2.2).
- 2) Restriction de la vitesse d'écoulement. Pour un flux entrant de liquide monophasique non contaminé, il convient de restreindre la vitesse d'écoulement à 1 m/s pendant une période de remplissage initiale qui dure aussi longtemps que:
 - a) le tuyau de remplissage et toute autre structure sur la base de la citerne aient été immergés jusqu'à deux fois le diamètre du tuyau de remplissage;
 - b) l'eau qui s'est éventuellement accumulée dans la tuyauterie ait été éliminée.

NOTE 1 La restriction a) est conçue de manière à empêcher que des décharges ne se produisent sur le tuyau de remplissage ou la structure, mais aussi pour réduire les perturbations sur l'eau ou les sédiments.

NOTE 2 Pour la restriction b), il est nécessaire d'attendre soit une demi-heure, soit que deux volumes de tuyau aient été chargés dans la citerne, en choisissant la durée la plus courte.

Après cette période de remplissage initiale, la vitesse d'un liquide monophasique non contaminé peut dépasser 1 m/s. La vitesse maximale de sécurité n'a pas été déterminée avec exactitude, mais de nombreuses expériences ont montré que les potentiels dangereux ne se produisent pas si la vitesse est inférieure à 7 m/s.

En raison de la génération de charges élevées qui survient dans les écoulements biphasiques (voir A.1.4), il convient de restreindre la vitesse d'écoulement pour un liquide biphasique ou contaminé entrant (voir 3.6) à 1 m/s pendant toute la période de remplissage.

- 3) Conception de l'entrée. Il convient que le liquide entre dans la citerne à l'horizontale afin de réduire le plus possible les perturbations possibles sur l'eau de fond ou les sédiments, ainsi que les jets de liquide entrant fortement électrisé à la surface. Un bon compromis à ce sujet consiste à utiliser un té horizontal ou une tige cruciforme pour diriger le liquide à l'horizontale autour des parois.
- 4) Contrôle de l'eau de fond. Si de l'eau de fond ou des sédiments sont présents dans la citerne, il convient de contrôler soigneusement la couche inférieure en surveillant et en procédant à une vidange pour qu'il se situe à au moins deux diamètres de tuyau en dessous de l'entrée. Concernant les exigences de conception de l'entrée décrites en 3, il convient de s'assurer que l'eau de fond ou les sédiments ne sont pas perturbés de manière excessive par le liquide entrant lors du remplissage.
- 5) Si une atmosphère inflammable est présente et qu'aucun élément ne permet de garantir que l'eau de fond ou les sédiments ne sont pas perturbés, il convient de restreindre la vitesse d'écoulement à 1 m/s lors du remplissage.

NOTE Il n'est généralement pas nécessaire de diminuer les vitesses d'écoulement à 1 m/s pendant toute la durée du remplissage, car une seconde phase est présente sous la forme d'eau de fond ou de sédiments dans la citerne. Les risques associés à l'eau de fond peuvent normalement être traités avec les précautions 3 et 4.

- 6) Si cela peut être évité, il convient de ne pas charger le liquide de densité faible dans une citerne contenant un liquide de densité considérablement supérieure, car l'effet de poussée d'Archimède engendré est susceptible de pousser le liquide fortement électrisé à la surface du liquide, ce qui produit un potentiel superficiel supérieur. Pour la même raison, il convient d'éviter dans la mesure du possible le chargement de liquides plus chauds dans des citernes partiellement remplies de liquides plus froids ainsi que l'entraînement d'air ou d'autres gaz dans le liquide entrant. Si de telles opérations ne peuvent pas être évitées, il convient de diminuer la vitesse d'écoulement en entrée à 1 m/s pour réduire le plus possible la génération de charges.

7.3.2.2.3 Citernes à toit flottant ou à couvercle flottant interne

Dans une citerne équipée d'un toit flottant ou d'un couvercle flottant interne, l'atmosphère inflammable est protégée des potentiels qui se créent pendant le remplissage par le toit ou le couvercle flottant. Par conséquent, après la période de remplissage initiale et lorsque le toit ou le couvercle flotte, il n'est pas nécessaire de restreindre la vitesse d'écoulement. Néanmoins, il convient de restreindre la vitesse d'écoulement à 1 m/s jusqu'à ce que le toit flotte. Pour garantir l'effet de protection recherché, il est essentiel que le toit flottant ou le couvercle flottant interne soit réalisé en matériau conducteur et qu'il soit correctement mis à la terre (voir Article 13).

Parfois, des flotteurs ronds ou sphériques sont utilisés dans les citernes afin de réduire le plus possible l'évaporation. Il est essentiel qu'elles soient réalisées en matériau dissipatif ou conducteur. Il convient d'utiliser ces sphères uniquement sur des liquides de conductivité élevée car, sur un liquide de conductivité faible ou moyenne, des boules ou groupes de boules peuvent s'isoler de la terre, ce qui peut entraîner des étincelles.

7.3.2.2.4 Récapitulatif des précautions à prendre pour les citernes conductrices de grandes dimensions

Le Tableau 8 résume les précautions nécessaires à prendre lors du remplissage de citernes conductrices de grandes dimensions avec des liquides de conductivité faible. Si la conductivité électrique augmente au-delà de la plage de conductivité faible par l'utilisation d'un additif électrostatiquement dissipatif (SDA, voir 7.1.4 et 7.2.4) par exemple, ces précautions ne sont pas nécessaires. Néanmoins, dans ce cas, il est essentiel de s'assurer que le SDA est bel et bien ajouté étant donné le risque d'incendie ou d'explosion susceptible de se produire en cas de non-incorporation de l'additif dans le liquide. Il convient de retenir les précautions à prendre à l'égard des liquides de conductivité faible en cas de doute concernant la fiabilité de l'ajout d'additifs.

Tableau 8 — Précautions à prendre lors du remplissage de citernes conductrices de grandes dimensions avec des liquides de conductivité faible

Précautions	Applicabilité selon la citerne	
	A toit flottant ou à couvercle flottant interne	A toit fixe, sans couvercle flottant
Maintenir les vitesses d'écoulement en dessous de 1 m/s	Essentielle jusqu'à ce que le toit ou le couvercle flotte	Essentielle pendant la période de remplissage initiale et lors du chargement d'un liquide contaminé ou biphasique ou d'un liquide de densité considérablement inférieure au liquide figurant déjà dans la citerne
Maintenir les vitesses d'écoulement en dessous de 7 m/s	Inutile lorsque le toit ou le couvercle flotte NOTE Une limite de débit est souvent nécessaire pour éviter que le toit ne soit endommagé par un mouvement trop rapide.	Recommandée dans tous les cas, où la limite de 1 m/s ne s'applique pas
Garantir un temps de résidence adéquat entre les générateurs de forte charge (microfiltres, par exemple) et la citerne	Essentielle jusqu'à ce que le toit ou le couvercle flotte NOTE Le temps de résidence peut être calculé en utilisant une vitesse d'écoulement de 1 m/s dans ce cas	Essentielle
Eviter de toucher l'eau de fond avec le produit entrant, l'air occlus ou en purgeant les conduites avec du gaz	Essentielle jusqu'à ce que le toit ou le couvercle flotte	Essentielle
Eviter de charger des liquides de faible densité dans des citernes contenant des liquides de densité considérablement supérieure (voir 7.3.2.2.1)	Inutile	Recommandée dans la mesure du possible. Si cela est inévitable, maintenir la vitesse d'écoulement en dessous de 1 m/s (voir ligne 1 de ce tableau)

7.3.2.3 Citernes conductrices de moyennes dimensions

7.3.2.3.1 Domaine d'application

Les citernes conductrices de moyennes dimensions (voir 7.3.2.1 pour la définition des dimensions) comprennent les citernes de stockage fixes et les citernes mobiles telles que les camions-citernes et les wagons-citernes. Même si les réservoirs de carburant d'avion appartiennent généralement à la catégorie de moyennes dimensions, le chargement des réservoirs d'avions est traité séparément au 7.8.1.

7.3.2.3.2 Précautions pour les citernes fixes

7.3.2.3.2.1 Précautions pour tous les types de liquides

- Mise à la terre: il convient d'adopter les exigences de mise à la terre données au 7.2.1 et au 7.3.2.2, a).
- Tuyaux et flexibles: il convient que les tuyaux et flexibles soient conformes aux exigences données au 7.7.2 et au 7.7.3 respectivement.
- Personnes: il convient d'éviter les dangers liés à l'électrisation des personnes en satisfaisant aux exigences données à l'Article 11.
- Vitesse de remplissage: il convient de maintenir les vitesses d'écoulement dans les limites données au 7.3.2.3.5.2.

NOTE Les limites de débit varient selon la conception de la citerne, le diamètre du tuyau et la nature du liquide.

- Air et gaz: ne pas purger les conduites avec de l'air ou tout autre gaz à moins d'être certain que l'opération n'entraîne pas une surpression de l'équipement. Il convient

d'envisager l'azote ou un "mélange de gaz" azote/air plutôt que l'air comprimé pour la purge des conduites. Pour éviter des vitesses d'écoulement excessives (par rapport aux limites données au 7.3.2.3.5.2), utiliser la pression de source la plus faible qui réussira à purger la conduite. Réduire le plus possible le volume de gaz occlus sous la surface dans le réservoir de réception.

- f) Calibrage et échantillonnage: le calibrage et l'échantillonnage peuvent introduire des dangers supplémentaires. Il convient de traiter ces opérations conformément au 7.6.

7.3.2.3.2.2 Précautions supplémentaires pour les liquides de conductivité faible

- a) Filtres et autres équipements de forte charge: les filtres fins, les pompes et autres équipements de forte charge installés dans la tuyauterie en amont d'une citerne peuvent produire des niveaux élevés de charge. Pour cela, suivre les conseils donnés au 7.5.3.
- b) Purge de citernes: si le produit n'est pas entièrement miscible avec l'eau et que de l'eau de fond peut se former (si le produit entrant contient de l'eau ou qu'il y a de l'eau dissoute ou qu'il existe un contact avec de l'air humide et une solubilité aqueuse variable due au cycle thermique, par exemple), il convient d'équiper la citerne d'un drain de niveau bas pour éliminer l'eau de fond. Il convient de surveiller le niveau de l'eau de fond et de le contrôler de façon à ce qu'il reste à au moins deux diamètres de tuyau en dessous de l'entrée du produit.
- c) Entrée de la citerne: il convient de placer l'entrée au bas de la citerne, mais au-dessus du niveau auquel de l'eau de fond peut s'accumuler. Cela peut être réalisé via un remplissage par le haut en tirant un tuyau de remplissage presque jusqu'au fond de la citerne ou via un remplissage par le bas (incluant également un remplissage latéral proche du fond). Il convient de concevoir l'entrée de manière à apporter le liquide entrant à l'horizontale dans la citerne afin de réduire le plus possible les jets de produit fortement électrisé à la surface, ainsi que les perturbations sur l'eau de fond ou les sédiments. A cet égard, une entrée en forme de T qui dirige le liquide parallèlement aux parois latérales est idéale.

NOTE Dans le cas des citernes fixes munies d'entrées latérales, l'utilisation d'un té est plus pratique que le déflecteur, car il permet de conserver le liquide fortement électrisé à proximité de la base de la citerne et de réduire le plus possible la suspension de l'eau et des sédiments éventuellement présents au fond de la citerne.

- d) Remplissage en pluie:

- Pour la plupart des applications, il convient d'éviter le remplissage en pluie en utilisant une entrée de niveau bas, où le flux entrant est dirigé à l'horizontale comme décrit à l'alinéa précédent (voir aussi 7.2.2).
- Le remplissage en pluie par le haut est parfois essentiel pour des raisons de procédé (pour éviter des interférences avec les brasseurs dans les réservoirs de réaction chimique, par exemple). Dans ce cas:
 - i) Il convient que le tuyau de remplissage entre dans le réservoir à proximité d'une paroi latérale et que le liquide entrant soit dirigé vers le bas et légèrement vers la paroi (à un angle de 15° à 30° à la verticale).
 - ii) Il convient d'évaluer en détail l'opération afin de déterminer une vitesse de chargement acceptable. Il convient de ne pas dépasser 50 % de la vitesse d'écoulement dérivée des limites de vitesse normale ou v_d (voir 7.3.2.3.5) et que la valeur ne soit pas supérieure à 2 m/s.
 - iii) Il convient que la distance entre la fin du tuyau de remplissage (et toute autre saillie) et le niveau de liquide maximal soit d'au moins 200 mm de sorte qu'il soit peu probable que la surface liquide produise des décharges.

Les liquides inflammables de faible volatilité (huiles lubrifiantes, par exemple) qui sont incapables de produire une atmosphère de vapeur inflammable à la température de manipulation maximale peuvent être versés en pluie sans les restrictions de charge supplémentaires mentionnées ci-dessus (qui s'appliquent aux cas pouvant constituer une atmosphère inflammable). Avec cette approche, il est néanmoins essentiel de s'assurer qu'il n'existe pas d'autre source de vapeur inflammable et que le processus de chargement ne produit pas suffisamment de brouillard ou de gouttelettes en suspension pour rendre l'atmosphère inflammable.

7.3.2.3.3 Précautions pour les camions-citernes

Les précautions à prendre concernant les camions-citernes sont identiques à celles qui s'appliquent aux citernes fixes (voir 7.3.2.3.2), à l'exception de l'utilisation de différentes limites de vitesse telles que décrites au 7.3.2.3.5.4 et des exigences supplémentaires suivantes:

1) Mise à la terre et mise au potentiel

- a) Il convient que la résistance de liaison entre le châssis, la citerne et les tuyaux et raccords associés sur le camion soit inférieure à 1 M Ω . Pour les systèmes entièrement métalliques, il convient que la résistance soit de 10 Ω ou moins et, si une valeur supérieure est constatée, il convient d'effectuer des recherches complémentaires afin de vérifier l'existence de problèmes éventuels (corrosion ou connexion desserrée, par exemple).
- b) Il convient de connecter un câble de mise à la terre au camion avant d'effectuer toute opération (ouverture des trous de visite, raccordement des tuyaux, par exemple). Il convient de fournir une résistance inférieure à 10 Ω entre le camion et le point de mise à la terre désigné sur le pont roulant, et il convient de ne pas la retirer tant que l'ensemble des opérations n'est pas terminé.
- c) Il est recommandé d'intégrer le câble de mise à la terre exigé en b) dans un système de surveillance de mise à la terre statique qui surveille en continu la résistance entre le camion et un point de mise à la terre désigné sur le pont roulant, et qui active les verrouillages pour empêcher le chargement lorsque cette résistance dépasse 10 Ω . Il est également recommandé que le système de surveillance de mise à la terre statique soit capable de faire la distinction entre la connexion à la citerne du camion (ou point de connexion de mise à la terre) et d'autres objets métalliques. Ce type de système empêche les opérateurs de raccorder le système de mise à la terre à des objets (garde-boue, par exemple) pouvant être électriquement isolés du conteneur du camion.

2) Chargement par le haut

- a) Il convient d'insérer le bras de chargement (tube plongeur ou tuyau de descente) au bas de la citerne avant de commencer le déversement du liquide.
- b) Il convient que le tuyau de descente:
 - i) soit positionné verticalement;
 - ii) atteigne le fond du compartiment;
 - iii) possède une pièce en té ou un déflecteur similaire sur la partie inférieure afin de dévier le flux le long de la base du compartiment.

3) Foudre

Lorsque la foudre est susceptible de frapper, il convient de ne pas charger les camions-citernes en plein air avec un liquide capable d'engendrer une atmosphère inflammable en dehors du compartiment de la citerne. Il est permis de procéder au chargement sous des auvents ou à des endroits munis d'un cône de protection parafoudre adéquat.

7.3.2.3.4 Précautions pour les wagons-citernes

Les précautions à prendre concernant les wagons-citernes sont identiques à celles qui s'appliquent aux citernes fixes (voir 7.3.2.3.2), à l'exception de l'utilisation de différentes limites de vitesse (voir 7.3.2.3.5.5) et des exigences supplémentaires suivantes:

1) Mise au potentiel

- a) Il convient de mettre les rails de la voie ferrée ainsi que le pont roulant au même potentiel avec une résistance de liaison inférieure à 1 M Ω .
- b) Il convient que la résistance de liaison entre les roues, la citerne et le reste du véhicule soit inférieure à 1 M Ω . Il n'est pas nécessaire d'établir une mise au potentiel distincte pour le wagon-citerne, car elle est assurée par les rails.

2) Courants de circulation/Courants vagabonds

- a) Une bride isolante peut être installée dans la conduite de remplissage pour éviter les courants vagabonds. Dans ce cas, il convient de mettre la buse de remplissage au même potentiel que le wagon avant le début du remplissage.
- b) Il convient d'isoler la voie de service utilisée pour le remplissage du wagon-citerne du reste de la voie ferrée afin d'éviter des courants vagabonds. Il convient que cette isolation ne soit pas court-circuitée par les équipements ferroviaires ou les wagons.

3) Chargement par le haut

Il convient d'insérer le bras de chargement (tuyau de descente) au fond de la citerne avant de commencer le déversement du liquide. Il convient que le tuyau de descente:

- a) soit positionné verticalement (les systèmes automatisés de chargement par le haut peuvent insérer la lance de manière légèrement inclinée);
- b) atteigne le fond du compartiment;
- c) possède une pièce en té ou un déflecteur similaire sur la partie inférieure afin de dévier le flux le long de la base du compartiment.

4) Foudre

Lorsque la foudre est susceptible de frapper, il convient de ne pas charger les wagons-citernes en plein air avec un liquide capable d'engendrer une atmosphère inflammable en dehors du compartiment de la citerne. Il est permis de procéder au chargement sous des auvents ou à des endroits munis d'un cône de protection parafoudre adéquat.

7.3.2.3.5 Limites de vitesse d'écoulement et v_d

7.3.2.3.5.1 Notes explicatives générales

Les limites de débit sont exprimées soit directement en vitesse d'écoulement, soit indirectement en limites par rapport au produit de la vitesse d'écoulement et du diamètre de tuyau (v_d). Les facteurs clés qui influencent ces limites sont:

- a) La taille et la forme de la citerne: la taille la plus critique tend à se situer dans la plage comprise entre 3 m³ et 10 m³; les citernes hautes et étroites fournissent les tensions les plus élevées. Les potentiels sont généralement plus faibles dans les citernes de taille inférieure ou supérieure, les citernes allongées horizontalement ou les citernes pour lesquelles la longueur et la largeur (ou le diamètre) sont supérieures à la hauteur.

NOTE Les citernes très étroites donnent également des tensions faibles, mais les rapports hauteur/largeur nécessaires à la réalisation de ce cas se situent en dehors de la plage pratique normale.

- b) La présence d'un conducteur central: dans une citerne quasiment cubique (c'est-à-dire que toutes les dimensions principales sont de grandeur similaire), la présence d'un conducteur substantiel fonctionnant à la verticale au centre réduit le potentiel maximal d'un facteur de 2 environ. En raison du potentiel réduit, il peut être admis d'utiliser une vitesse de remplissage maximale supérieure. Un conducteur central est beaucoup moins efficace pour réduire les potentiels dans des citernes horizontales de forme allongée ou des citernes ayant un faible rapport hauteur/largeur. Des exemples d'opérations pouvant bénéficier de la présence d'un conducteur central sont le chargement par le haut des camions-citernes (le bras de remplissage constitue un conducteur) et le chargement par le bas des camions-citernes dans des compartiments au moyen de tubes plongeurs.
- c) La nature du liquide: la conductivité est importante de même que la présence ou l'absence de phases multiples. En outre, l'industrie pétrolière a constaté un risque d'inflammation électrostatique plus important lors du chargement de véhicules avec des carburants de distillat moyen possédant une faible teneur en soufre (< 50 ppm).

NOTE Le risque majoré avec le diesel à faible teneur en soufre est considéré provenir essentiellement de facteurs associés à la manipulation du gazole et il n'existe, jusqu'à présent, aucune preuve que d'autres liquides à faible teneur en soufre sont affectés de manière similaire (par exemple, les essences, les solvants ou produits chimiques purs peuvent avoir une faible teneur en soufre, mais il n'y a aucune preuve qu'ils comportent un risque plus important d'inflammation électrostatique).

- d) Le type de citerne fixe ou mobile: les stations de remplissage pour les citernes fixes peuvent être conçues pour une opération spécifique tandis que celles pour les citernes mobiles doivent gérer de nombreuses dimensions et formes de citernes. Dans le cas des

citernes mobiles, il convient que la vitesse ou la limite vd soit adéquate pour le cas le plus défavorable susceptible d'être rencontré. En outre, les citernes mobiles tendent à être de forme horizontale allongée pour une meilleure stabilité pendant le transport (compartiments de wagons-citernes, par exemple) tandis que les citernes fixes sont souvent hautes et étroites (rapport hauteur/diamètre > 1).

En raison de ces différences pratiques, il existe donc des limites de vitesse d'écoulement ou vd distinctes pour les citernes fixes, les camions-citernes et les wagons-citernes. En outre, pour les camions-citernes et les wagons-citernes, il existe des limites distinctes pour les hydrocarbures de distillat moyen et d'autres liquides.

7.3.2.3.5.2 Zone au-delà de laquelle des limites de débit s'appliquent

Lorsque les limites de vitesse d'écoulement ou vd sont spécifiées, il convient qu'elles soient respectées sur l'ensemble d'une "zone de relaxation" en amont de la citerne. La zone de relaxation se compose de la tuyauterie située dans un temps de résidence de 30 s ou 3 temps de relaxation en amont de la citerne, selon la valeur la plus faible. Lorsque le temps de relaxation est utilisé pour calculer le temps de résidence, il convient de le déterminer à partir de la conductivité possible la plus basse pouvant être traitée. Si la conductivité la plus basse n'est pas connue, il convient d'adopter le critère de 30 s.

Pour garantir le respect des limites de vitesse ou vd sur l'ensemble de la zone de relaxation, il est uniquement nécessaire de s'assurer qu'elles sont respectées au-delà de la section la plus critique dans la zone.

Pour un système de tuyauterie non ramifié, la section critique correspond à la section qui possède le plus petit diamètre de tuyau sauf si la section comportant le plus petit diamètre mesure moins de 5 m de longueur et ne représente qu'une taille de tuyau nominale inférieure à la section possédant le plus petit diamètre suivant, cette section pouvant être prise comme section critique.

Pour un système de tuyauterie ramifié (par exemple, une grande conduite d'alimentation qui se divise en plusieurs lignes plus petites de sorte que les segments de tuyau en amont alimentent plusieurs citernes tandis que ceux en aval n'alimentent qu'une citerne chacun), la section critique correspond à la section possédant la plus grande valeur F_s/d_s^m où F_s représente le débit maximal possible dans le segment, où d_s représente le diamètre du tuyau dans le segment et où $m=2$ sert à l'évaluation des limites vd ou $m=3$ à l'évaluation des limites de vitesse d'écoulement (voir A.1.4).

Le courant maximal acceptable dans un segment critique qui effectue le remplissage de plusieurs réservoirs simultanément est N_s fois supérieur à celui présent dans chaque citerne où:

$$N_s = F_s/F_T$$

F_s représente le débit maximal possible dans le segment et F_T représente le débit volumétrique dans la citerne. Le courant plus élevé est acceptable dans le segment, car il est divisé entre les citernes. Etant donné que le courant dynamique varie en fonction du carré de la vitesse, la limite de vitesse d'écoulement ou vd admise pour le segment est donc $N_s^{1/2}$ plus grande que la limite pour la citerne (voir A.1.4).

7.3.2.3.5.3 Limites pour les citernes fixes

Différentes limites s'appliquent, comme indiqué ci-dessous, pendant une période de démarrage lent initiale et la période d'écoulement principale:

Démarrage lent: pour les liquides de conductivité faible et moyenne où de l'eau de fond ou des sédiments peuvent être présents dans la citerne, il convient que la vitesse d'écoulement initiale ne dépasse pas 1 m/s jusqu'à ce que la sortie du tuyau de remplissage soit immergée jusqu'à deux diamètres de tuyau. Ce démarrage lent est exigé pour contrôler les dangers

associés à la perturbation des sédiments. Les opinions diffèrent pour savoir si un démarrage lent est nécessaire dans les cas, où de l'eau de fond ou des sédiments ne sont pas susceptibles d'être présents. Des mesures ont suggéré que, dans ce cas, les démarrages lents ne réduisent pas de manière significative la tension maximale. Néanmoins, elles peuvent être conseillées pour éviter la survenue de problèmes potentiels liés au déplacement de l'eau provenant des canalisations.

Si une citerne est remplie selon une série d'étapes distinctes, il est recommandé d'effectuer un démarrage lent de 1 m/s pour chacune des étapes.

Débit maximal: les limites de vitesse d'écoulement et vd pour la période de débit maximal dépendent, comme indiqué ci-après, de la nature du liquide et de la citerne:

- 1) Tous les liquides de conductivité élevée et les liquides monophasiques de conductivité moyenne: il n'existe pas de restriction obligatoire concernant la vitesse d'écoulement, mais il est recommandé d'appliquer une limite de précaution générale de 7 m/s. Si une vitesse élevée est admise uniquement parce que la conductivité a été augmentée par l'emploi d'un additif électrostatiquement dissipatif (SDA), il est essentiel de s'assurer que le SDA soit bel et bien ajouté étant donné le risque d'incendie ou d'explosion susceptible de se produire en cas de non-incorporation de l'additif dans le liquide. Il convient d'utiliser les limites de vitesse à l'égard des liquides de conductivité faible en cas de doute concernant la fiabilité de l'ajout de SDA.
- 2) Liquide contaminé ou biphasique de conductivité faible ou moyenne: lors du remplissage de citernes avec un mélange biphasique (liquides contaminés, liquides possédant des matières liquides ou solides en suspension, par exemple) pour lequel la phase continue a une conductivité faible ou moyenne, la limite de vitesse fixe est de 1 m/s. Il convient également d'appliquer cette limite si de l'eau de fond ou des sédiments ont pu être remués dans une citerne contenant un liquide de conductivité faible ou moyenne, par exemple si de l'eau s'est accumulée jusqu'à ce que l'interface produit/eau atteigne (dans un diamètre de tuyau) ou dépasse le niveau de l'entrée. Il convient que les vitesses ne soient pas inférieures à 1 m/s, auquel cas l'eau peut s'accumuler aux points bas des tuyaux.
- 3) Liquides de conductivité faible non contaminés: pour les liquides de conductivité faible monophasiques non contaminés (propres), les restrictions de vitesse sont exprimées soit directement en vitesse soit dérivées à partir des limites vd , où v représente la vitesse d'écoulement moyenne dans le tuyau en mètres par seconde et d le diamètre du tuyau en mètres. Comme indiqué ci-après, différentes limites s'appliquent aux citernes à axe vertical et à axe horizontal.
 - a) Citernes cylindriques à axe vertical ou réservoirs présentant des parois verticales et une section transversale carrée ou quasiment carrée:

NOTE Les citernes quasiment carrées sont des citernes ayant un rapport longueur/largeur inférieur à 1.5.

Lors du remplissage avec un système de tuyauterie non ramifié, il convient de restreindre la vitesse de remplissage v dans la section critique de la zone de relaxation (voir 7.3.2.3.5.2) à:

$$v \leq K(D/d)^{1/2} \text{ m/s}$$

avec une vitesse d'écoulement maximale de 7 m/s.

Ici, D représente le diamètre de la citerne ou, pour les réservoirs quasiment carrés de longueur L et largeur W , un diamètre efficace égal à $D=2(LW/\pi)^{1/2}$ ($L=W$ pour les réservoirs de section transversale carrée), d est le diamètre du tuyau (D et d doivent être exprimés dans les mêmes unités) et K est une constante qui dépend un peu de la constante diélectrique du liquide et qui possède des dimensions de vitesse. Il est démontré au B.2.2 que $K = 0,7 \text{ m/s}$ pour $\epsilon = 2$ et que le départ maximal à partir de cette valeur est inférieur à 6,3 % pour la plage de constantes diélectriques associées aux liquides de conductivité faible (jusqu'à $\epsilon \sim 5$). Cette légère différence se situant dans la plage d'incertitude et les marges de sécurité de l'analyse, la valeur 0,7 m/s est universellement adoptée.

Lors du remplissage de plusieurs citernes avec un système de tuyauterie ramifié, la section critique peut se trouver à un endroit qui alimente plus d'une citerne. Dans ce cas,

la vitesse maximale dans la section critique peut être multipliée par un facteur de $N_s^{1/2}$ par rapport à la valeur fournie ci-dessus, où N_s représente le rapport entre le débit maximal dans le segment critique et le débit dans la citerne (voir 7.3.2.3.5.2 et A.1.4).

Les débits dérivés de l'expression ci-dessus pour le remplissage de citernes avec des systèmes de tuyauterie non ramifiés avec des épaisseurs de paroi de nomenclature 40 sont fournis dans le Tableau 9a (en m³/min) et dans le Tableau 9b (en USG/min).

NOTE En Amérique du Nord, les tuyaux sont définis par leur NPS (Nominal Pipe Size, taille de tuyau nominale, c'est-à-dire le diamètre extérieur en pouces) et par une nomenclature pour leur épaisseur de paroi. En Europe, les tuyaux sont définis par leur DN (diamètre nominal, c'est-à-dire le diamètre extérieur en millimètres) et leur DNI (diamètre nominal intérieur en millimètres).

Tableau 9 — Limites de débit de remplissage pour le remplissage de citernes de moyennes dimensions à axe vertical avec des tuyaux de nomenclature 40

a) Débits en m³/min

Taille du tuyau			Diamètre de la citerne, m									
NPS	DN	ID, mm	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10
1	25	26,6	0,14	0,18	0,20	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
1,5	40	40,9	0,27	0,33	0,39	0,43	0,47	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
2	50	52,5	0,40	0,49	0,56	0,63	0,69	0,79	0,89	0,91	0,91	0,91
2,5	65	62,7	0,52	0,63	0,73	0,82	0,90	1,04	1,16	1,27	1,30	1,30
3	80	77,9	0,72	0,88	1,01	1,13	1,24	1,44	1,60	1,76	2,00	2,00
4	100	102	1,08	1,32	1,53	1,71	1,87	2,16	2,41	2,64	3,05	3,41
5	125	128	1,51	1,85	2,14	2,39	2,62	3,03	3,39	3,71	4,28	4,79
6	150	154	1,99	2,44	2,82	3,15	3,45	3,99	4,46	4,89	5,64	6,31
8	200	203	3,01	3,69	4,26	4,76	5,21	6,02	6,73	7,38	8,52	9,52
10	250	254	4,24	5,19	5,99	6,70	7,34	8,47	9,47	10,4	12,0	13,4
12	300	305	5,51	6,75	7,79	8,71	9,54	11,0	12,3	13,5	15,6	17,4

b) Débits en USG/min

Taille du tuyau			Diamètre de la citerne, ft									
NPS	DN	ID, mm	4	5	6	8	10	12	16	20	26	33
1	25	26,6	42	47	51	59	62	62	62	62	62	62
1,5	40	40,9	80	89	97	113	126	138	146	146	146	146
2	50	52,5	116	129	142	164	183	201	232	240	240	240
2,5	65	62,7	151	169	185	214	239	262	302	338	343	343
3	80	77,9	209	234	256	296	331	363	419	468	529	529
4	100	102	315	352	385	445	497	545	629	704	802	904
5	125	128	442	494	541	625	698	765	883	988	1 130	1 270
6	150	154	582	650	713	823	920	1 010	1 160	1 300	1 480	1 670
8	200	203	878	982	1 080	1 240	1 390	1 520	1 760	1 960	2 240	2 520
10	250	255	1 240	1 380	1 510	1 750	1 950	2 140	2 470	2 760	3 150	3 550
12	300	305	1 610	1 800	1 970	2 270	2 540	2 780	3 210	3 590	4 100	4 620

b) Limites v_d pour les autres citernes de moyennes dimensions (citerne à axe horizontal ou réservoirs à parois verticales présentant des sections transversales non carrées allongées, par exemple):

$vd \leq N \times 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$ pour le chargement par le haut ou par le bas avec un conducteur central;

$vd \leq N \times 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ pour le chargement par le bas sans conducteur central;

avec une vitesse d'écoulement maximale de 7 m/s.

Dans ces expressions de limite, N représente un facteur qui décrit l'influence de la longueur de la citerne, L , qui correspond à la dimension horizontale la plus grande. L étant exprimé en mètres: $N = 1$ pour $L < 2$, $N = \sqrt{L/2}$ pour $2 \leq L \leq 4,6$ et $N = 1,5$ pour $L > 4,6$. Il n'est pas nécessaire de tenir compte des structures internes telles que les déflecteurs lors de la détermination de la longueur de la citerne, mais, si la citerne est subdivisée en compartiments totalement distincts, il convient de traiter chacun des compartiments comme des citernes à part entière.

Ces limites s'appliquent à la section critique de la tuyauterie dans la zone de relaxation en amont de la citerne (voir 7.3.2.3.5.2). Lors du remplissage de plusieurs citernes avec un système de tuyauterie ramifié, la section critique peut se trouver à un endroit qui alimente plus d'une citerne. Dans ce cas, la vitesse maximale dans la section critique peut être multipliée par un facteur de $N_s^{1/2}$ par rapport à la valeur fournie ci-dessus, où N_s représente le rapport entre le débit maximal dans le segment critique et le débit dans la citerne (voir 7.3.2.3.5.2 et A.1.4).

Les limites de vitesse d'écoulement et de débit volumétrique concernant le remplissage de citernes à axe horizontal avec des systèmes de tuyauterie non ramifiés avec une plage de tailles de tuyaux peuvent être obtenues en combinant les limites de vitesse et vd (voir Tableau 10).

Tableau 10 — Limites de vitesse d'écoulement et de débit de remplissage pour le chargement de liquides de conductivité faible dans des citernes à axe horizontal fixes courtes (N=1) avec des tuyaux de nomenclature 40

Taille du tuyau ^a			Chargement par le bas ou chargement sans conducteur central		Chargement par le haut ou chargement avec un conducteur central	
			vd = 0,38 m²/s		vd = 0,50 m²/s	
NPS	DN	ID, mm	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m³/min	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m³/min
1	25	26,6	7,0	0,23	7,0	0,23
1,5	40	40,9	7,0	0,55	7,0	0,55
2	50	52,5	7,0	0,91	7,0	0,91
2,5	65	62,7	6,1	1,12	7,0	1,30
3	80	77,9	4,9	1,40	6,4	1,84
4	100	102	3,7	1,83	4,9	2,41
6	150	154	2,5	2,76	3,2	3,63
8	200	203	1,9	3,63	2,5	4,78
12	300	305	1,2	5,46	1,6	7,18

^a basé sur le diamètre de la section de tuyau critique (voir 7.3.2.3.5.2).

^a basé sur le diamètre de la section de tuyau critique (voir 7.3.2.3.5.2).

La vitesse, vd , et les limites de débit données dans le présent paragraphe reposent sur l'hypothèse que toutes les exigences spécifiées au 7.3.2.3.2 sont respectées. Parfois, il est difficile de le garantir (il n'est pas toujours certain que le chargement en pluie peut être évité, par exemple). En cas de doute, il convient d'effectuer une appréciation du risque et de mettre en place des mesures de contrôle supplémentaires le cas échéant. Les mesures complémentaires peuvent inclure:

- a) réduction de la vitesse d'écoulement en dessous du niveau exigé par les limites données dans le Tableau 10;
- b) augmentation de la conductivité au moyen de SDA (voir 7.2.4).

7.3.2.3.5.4 Limites pour les camions-citernes

Le présent paragraphe décrit comment les limites de vitesse ou vd pour le chargement de liquides de conductivité faible monophasiques non contaminés dans des camions-citernes diffèrent des limites applicables aux citernes fixes (voir 7.3.2.3.5.3). Toute limite de vitesse ou vd qui n'est pas mentionnée de façon explicite dans le présent paragraphe (limites concernant les démarrages lents et les liquides contaminés, par exemple) demeure tel qu'indiqué au 7.3.2.3.5.3 pour les citernes fixes:

Liquides autres que les carburants pétroliers: utiliser les limites de vitesse applicables aux citernes fixes données au 7.3.2.3.5.3, excepté que si des compartiments de longueur différente doivent être remplis au même point de chargement, comme cela est généralement le cas, il convient de calculer la vitesse d'écoulement et la limite vd en utilisant la valeur N pour le compartiment le plus court qui est rempli. Si la longueur du compartiment le plus court n'est pas connue, il convient d'utiliser la valeur $N = 1$. Cela permet de s'assurer que la vitesse d'écoulement maximale est acceptable pour les longueurs de compartiment les plus défavorables ($L \leq 2$ m). Les vitesses d'écoulement et les débits pour ce cas sont fournis dans le Tableau 10.

Carburants pétroliers de distillat moyen: pour gérer les différences de conception des véhicules, l'industrie pétrolière a commencé à classer les camions-citernes pour lesquels une vitesse d'écoulement supérieure peut être tolérée dans tous les compartiments en tant que "véhicules adaptés au chargement ultrarapide". Ces véhicules ont les caractéristiques identifiées dans le Tableau 11 qui permettent des potentiels réduits et peuvent être chargés jusqu'à 33 % plus rapidement que les véhicules normalisés si la réglementation locale l'autorise. Il convient qu'une station définie pour effectuer des chargements à la limite de vitesse maximale spécifie que seuls les véhicules adaptés au chargement ultrarapide soient remplis.

Le Tableau 11 donne une définition des véhicules qui peuvent être considérés comme étant adaptés au chargement ultrarapide. En utilisant cette définition pour classer les véhicules, il convient de définir les vitesses d'écoulement de telle sorte que vd ne dépasse pas la limite appropriée donnée dans le Tableau 12. Les limites vd répertoriées dans le Tableau 12 dépendent du type de produit (produit à faible teneur en soufre (< 50 ppm) ou autre produit de distillat moyen), de la nature du compartiment (adapté ou non au chargement ultrarapide) et de la conductivité du produit.

Essences: les essences finies peuvent être chargées à des débits déterminés à partir d'une limite universelle de $vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ (selon une vitesse d'écoulement $v \leq 7 \text{ m/s}$), quel que soit le type du véhicule, la conductivité ou la teneur en soufre de l'essence. Ce débit est basé sur le degré de protection conféré par la volatilité élevée associée au risque limité de pénétration d'air dans les véhicules chargés par le bas, et son utilisation est soutenue par l'expérience opérationnelle. Il convient de ne pas l'appliquer au chargement de composants d'essence individuels tels que le naphta, ce qui peut conduire à une volatilité considérablement inférieure à celle des essences finies. Il convient de charger ces composants en respectant les règles de remplissage applicables aux distillats moyens.

Les vitesses d'écoulement et les débits volumétriques dérivés des limites vd données dans le Tableau 12 et soumis à la vitesse d'écoulement maximale de 7 m/s sont donnés dans le Tableau 13 pour une plage de tailles de tuyaux.

**Tableau 11 — Véhicules et compartiments adaptés
au chargement ultrarapide pour les véhicules agréés ADR**

Véhicule	Si un véhicule/camion-citerne doit être classé comme étant adapté au chargement ultrarapide, tous les compartiments figurant sur le véhicule doivent être des compartiments pour chargement ultrarapide.
Compartiment	Un compartiment pour chargement ultrarapide est un compartiment ou une chambre d'une capacité de 2 000 l à 15 000 l équipé(e) d'un conducteur qui est: a) un déflecteur ou une plaque de salves pleine hauteur; ou b) un tube interne; ou c) un fil conducteur central; de sorte qu'aucune partie du liquide, en vue plane, n'ait une distance supérieure à 0,8 m de toute surface du conducteur. Des dimensions de compartiments plus importantes n'exigent pas qu'un tel conducteur soit classé comme compartiment pour chargement ultrarapide. Lorsqu'un compartiment est équipé d'une sonde de débordement ou autre, à au moins 0,5 m d'un "conducteur", comme défini ci-dessus, il convient que la sonde soit équipée d'une "sonde à extension" à fixer à la sonde et placée sur le sol du compartiment.
Conducteur central	Un câble/fil/tube électriquement continu avec un diamètre d'au moins 2 mm, fixé au toit du compartiment ou de la chambre et situé au sol. Il convient que le câble/fil/tube soit conçu dans un métal résistant à la corrosion et qu'il présente une intégrité mécanique suffisante pour résister à l'usure normale.
Tube interne	Tout tube pour récupération de trempage, de service ou de vapeur qui est électriquement continu avec la cloison d'un compartiment ou d'une chambre.
Chambre	Une chambre est un espace créé dans un compartiment de plus de 7 500 l lorsque ce compartiment est divisé par des déflecteurs ou des plaques de salves, conformément à l'ADR, en espaces d'une capacité plus faible.
NOTE L'ADR est l'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route.	

Tableau 12 — Influence de la teneur en soufre sur les limites
vd de distillat moyen pour les camions-citernes

Classe du produit	Conductivité, pS/m		
	> 50	> 10	< 10 ou inconnu
Diesel ou gazole avec teneur en soufre > 50 ppm et tous les autres carburants de distillat moyen	$vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$vd \leq 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ ($vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$)
Diesel ou gazole avec ≤ 50 ppm de soufre	$vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	$vd \leq 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ ($vd \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$)	$vd \leq 0,25 \text{ m}^2/\text{s}$ ($vd \leq 0,35 \text{ m}^2/\text{s}$)

NOTE Les valeurs entre parenthèses s'appliquent au chargement ultrarapide (voir Tableau 10).

Tableau 13 — Limites de vitesse et de taux de remplissage pour les camions-citernes basées sur les tuyaux de nomenclature 40; le débit pour les flexibles est similaire

Taille du tuyau ^a			vd = 0,25 m ² /s		vd = 0,35 m ² /s		vd = 0,38 m ² /s		vd = 0,50 m ² /s	
NPS	DN	ID, mm	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m ³ /min	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m ³ /min	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m ³ /min	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m ³ /min
2,5	65	62,7	4,0	0,74	5,6	1,03	6,1	1,1	7,0	1,3
3	80	77,9	3,2	0,92	4,5	1,3	4,9	1,4	6,4	1,8
4	100	102	2,4	1,20	3,4	1,7	3,7	1,8	4,9	2,4
6	150	154	1,6	1,81	2,3	2,5	2,5	2,7	3,2	3,6

^a Basé sur le diamètre de la section de tuyau critique (voir 7.3.2.3.5.2).

Si un véhicule n'est pas conforme à l'accord ADR, il convient d'effectuer une appréciation approfondie avant de pouvoir le classer comme étant adapté au chargement ultrarapide.

Les limites vd données dans le Tableau 12 ainsi que les vitesses et les débits de remplissage donnés dans le Tableau 13 reposent sur l'hypothèse que les exigences spécifiées au 7.3.2.3.3 sont respectées. Parfois, il est difficile de le garantir (il n'est pas toujours certain que le chargement en pluie peut être évité, par exemple). En cas de doute, il convient d'effectuer une appréciation du risque et de mettre en place des mesures de contrôle supplémentaires le cas échéant. Les mesures complémentaires peuvent inclure:

- a) réduction de la vitesse d'écoulement au-dessous des valeurs exigées par les valeurs vd données dans le Tableau 12;
- b) utilisation de SDA (voir 7.2.4) dans les produits dont la conductivité est faible.

7.3.2.3.5.5 Limites pour les wagons-citernes

Le présent paragraphe décrit comment les limites de vitesse ou vd pour le chargement de liquides de conductivité faible monophasiques non contaminés dans des wagons-citernes diffèrent des limites applicables aux citernes fixes (voir 7.3.2.3.5.3). Toute limite de vitesse ou vd qui n'est pas mentionnée de façon explicite dans le présent paragraphe (limites concernant les démarrages lents et les liquides contaminés, par exemple) demeure tel qu'indiqué au 7.3.2.3.5.3 pour les citernes fixes:

Les limites données reposent sur l'hypothèse que les compartiments de wagons-citernes normalisés utilisés sont considérablement plus grands que les compartiments de camions-citernes. Si cela n'est pas le cas, il convient de procéder à une analyse du risque afin de déterminer s'il convient d'adopter les limites vd (inférieures) pour les camions-citernes.

NOTE Il n'existe pas de distinction concernant le chargement par le haut/chargement par le bas/avec un conducteur central pour les compartiments de wagons-citernes normalisés, car ils sont généralement longs et un conducteur central n'est par conséquent pas efficace pour diminuer la tension superficielle maximale.

- a) limite vd pour les carburants pétroliers de distillat moyen (< 50 ppm) (diesel, etc.):

$$vd \leq 0,53 \text{ m}^2/\text{s}$$

- b) limite vd pour tous les autres liquides:

$$vd \leq 0,75 \text{ m}^2/\text{s}$$

En cas de doute concernant la classification du produit, il convient d'utiliser une limite vd de 0,53 m²/s.

Les vitesses d'écoulement et les débits volumétriques correspondant à ces limites vd et soumis à la vitesse d'écoulement maximale de 7 m/s sont donnés dans le Tableau 14 pour une plage de dimensions de tuyaux.

Tableau 14 — Limites de vitesse et de taux de remplissage pour le chargement des wagons-citernes

Taille du tuyau ^a			Diesel à faible teneur en soufre		Produits normalisés	
			vd = 0,53 m ² /s		vd = 0,75 m ² /s	
NPS	DN	ID	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m ³ /min	Vitesse d'écoulement, m/s	Débit de remplissage, m ³ /min
2	50	52,5	7,0	0,91	7,0	0,91
2,5	65	62,7	7,0	1,30	7,0	1,30
3	80	77,9	6,8	1,95	7,0	2,00
4	100	102	5,2	2,55	7,0	3,45
6	150	154	3,4	3,85	4,9	5,44
8	200	203	2,6	5,06	3,7	7,16
12	300	305	1,7	7,61	2,5	10,77

^a Basé sur le diamètre de la section de tuyau critique (voir 7.3.2.3.5.2).

Les limites *vd* et les limites de débit données dans le Tableau 14 suffisent uniquement si l'ensemble des conditions définies au 7.3.2.3.4 sont respectées. Parfois, il est difficile de le garantir (il n'est pas toujours certain que le chargement en pluie peut être évité, par exemple). En cas de doute, il convient d'effectuer une appréciation du risque et de mettre en place des mesures de contrôle supplémentaires le cas échéant. Les mesures complémentaires peuvent inclure:

- réduction de la vitesse de chargement au-dessous des valeurs exigées données dans le Tableau 14;
- utilisation de SDA (voir 7.2.4) dans les produits dont la conductivité est faible.

7.3.2.4 Citernes et conteneurs conducteurs de faibles dimensions

Les seaux, fûts, bidons d'essence et grands récipients pour vrac (GRV) en métal sont des exemples de conteneurs conducteurs de faibles dimensions (voir définitions au 7.3.2). Il convient de s'assurer que les conteneurs et fûts métalliques ne sont pas revêtus d'un revêtement isolant, auquel cas ces conteneurs doivent être utilisés conformément au 7.3.4.

NOTE Certaines formes de revêtements peuvent être transparentes et, par conséquent, être difficiles à identifier visuellement.

Des dangers existent, car les charges générées par l'écoulement du liquide peuvent provoquer des décharges aigrettes provenant de la surface des liquides de conductivité faible ou des étincelles provenant de conteneurs ou composants métalliques isolés tels que les pompes vide-fûts. Il convient de relier à la terre les personnes situées à proximité afin qu'elles ne se chargent pas dangereusement en électricité (voir Article 11).

Il convient de prendre les précautions suivantes chaque fois qu'une atmosphère inflammable est susceptible de se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur du conteneur (lorsqu'il contient des liquides inflammables, qu'il est rempli en zones dangereuses ou en présence de vapeurs inflammables résiduelles provenant de chargements antérieurs, par exemple).

- Pendant le remplissage et le vidage du conteneur, il convient que l'ensemble des parties conductrices et dissipatives du système (entonnoirs et buses, par exemple) soient mises à la terre et au même potentiel.
- Il convient qu'un entonnoir métallique soit mis à la terre de façon sûre et qu'il ne soit pas, par exemple, isolé accidentellement du récipient avec un isolateur de traversée.
- Il convient de ne pas utiliser d'entonnoirs en plastique à moins que le matériau ne soit dissipatif et mis à la terre.

NOTE L'utilisation de cols de remplissage en plastique dans les wagons est actuellement considérée sûre en raison de l'essence trop riche et des vapeurs diesel trop faibles. Cet énoncé peut ne pas être démontré pour certains biocarburants.

- d) Pour les liquides monophasiques, il convient en principe de ne pas dépasser les limites de vitesse et v_d définies pour les citernes de moyennes dimensions. En pratique, ces limites permettent habituellement d'obtenir des débits bien au-dessus des limitations ci-dessus concernant les équipements de remplissage pour les citernes de faibles dimensions. Par conséquent, il n'existe généralement pas de restriction à l'égard du débit de remplissage. Si une limite de débit explicite est souhaitée, il convient que la vitesse de remplissage ne dépasse pas 2 m/s.
- e) Lors du remplissage d'un conteneur avec un liquide biphasique ou contaminé, il convient que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 1 m/s lorsque la phase continue a une conductivité faible ou moyenne.
- f) Pour les liquides sensibles à l'inflammation possédant des EMI de moins de 0,20 mJ (voir C.6 pour la liste des EMI), il convient que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 1 m/s.
- g) Si des filtres fins (microfiltres, par exemple) sont utilisés dans le système de remplissage en amont du conteneur, il convient de respecter les précautions données au 7.5.

Le seul type de grand récipient pour vrac acceptable pour une utilisation avec des liquides du Groupe d'explosion IIC (voir également 7.3.4.5) est celui réalisé en matériau conducteur ou dissipatif. Des quantités limitées de matériau isolant peuvent être admises (bouton de remplissage ou zones autour du bouchon de remplissage, par exemple), mais il convient que les zones électrisables ne dépassent pas les valeurs limites données au 6.3.2.

7.3.3 Citernes et conteneurs réalisés entièrement en matériau dissipatif

Ces citernes peuvent être traitées exactement comme les citernes conductrices équivalentes étant donné qu'elles n'engendrent pas de dangers supplémentaires. Il convient d'apposer clairement la mention "électrostatiquement dissipatif" sur les citernes et que ces dernières soient équipées d'appareils de mise à la terre.

Les citernes réalisées partiellement en matériau dissipatif et isolant peuvent être traitées comme des citernes entièrement dissipatives à condition que la surface de chaque matériau isolant soit inférieure à la surface maximale admissible applicable spécifiée dans le Tableau 3. Sinon, il convient de les traiter comme des citernes munies de surfaces isolantes.

7.3.4 Citernes et conteneurs munis de surfaces isolantes

7.3.4.1 Généralités

Pour les citernes munies de surfaces isolantes (y compris les citernes métalliques possédant des revêtements isolants), les précautions données dans les paragraphes 7.3.4.2 à 7.3.4.6 s'appliquent en plus des exigences déjà fournies pour les citernes métalliques équivalentes.

7.3.4.2 Citernes et conteneurs en matériau conducteur ou dissipatif possédant des revêtements internes isolants

Des dangers supplémentaires existent du fait que le revêtement interne peut être électrisé par frottement (lors du nettoyage, par exemple) ou par contact avec le liquide électrisé.

Lorsque l'épaisseur du revêtement est inférieure à 50 μm (peinture, phénoliques ou époxy, par exemple), il n'existe aucun danger supplémentaire (voir 6.3.4.2) sauf en cas de remplissages répétés rapides. L'épaisseur du revêtement peut être portée à 2 mm maximum s'il existe un point de contact à la terre pour le liquide au fond du conteneur.

Dans tous les autres cas, il convient de prendre les précautions supplémentaires suivantes:

- a) il convient que le contact entre le revêtement et la paroi soit de bonne qualité (c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de séparation ni de déstratification);
- b) quelle que soit la conductivité (faible, moyenne ou élevée) du liquide chargé dans la citerne ou le conteneur, il convient de fournir un chemin conducteur entre le liquide et la terre. Il peut s'agir d'un tube plongeur conducteur mis à la terre projetant jusqu'au point le plus bas de la citerne, d'un clapet de pied ou d'une plaque conductrice à la base de la citerne;
- c) si une personne peut entrer dans la citerne (pour le nettoyage, par exemple), il convient de prendre des précautions pour empêcher que les personnes et les outils à main ne soient électrisés. Cela peut être accompli en s'assurant que la personne est reliée à la terre en portant des chaussures dissipatives et en installant une passerelle conductrice ou dissipative mise à la terre au fond du réservoir (en plaçant des revêtements dissipatifs dans la zone pouvant être empruntée par les personnes, par exemple), ou par d'autres moyens;
- d) il convient d'éviter les remplissages répétés rapides, car ils peuvent provoquer des décharges glissantes de surface incendiaires. Ils peuvent être évités si la tension de claquage du revêtement est inférieure à 4 kV (voir A.3.5) ou que l'épaisseur du revêtement dépasse 10 mm.

Les citernes isolantes souterraines sont généralement de moyennes dimensions et sont électriquement similaires à celles abordées dans le présent article. Elles sont toutefois traitées au 7.3.4.6.

7.3.4.3 Citernes et conteneurs en matériau conducteur ou dissipatif possédant des revêtements externes isolants

Ces citernes comportent les dangers supplémentaires que le revêtement externe puisse se charger en électricité ou isoler les objets conducteurs. Avec des revêtements mesurant moins de 2 mm d'épaisseur, il est peu probable que des décharges aigrettes capables d'enflammer des atmosphères constituées d'air et d'hydrocarbures se produisent. Les décharges glissantes de surface sont également improbables, sous réserve qu'il n'existe pas de source d'électrisation externe importante (projection électrostatique, par exemple). Néanmoins, il convient de mettre à la terre tous les objets métalliques ou dissipatifs susceptibles d'être isolés par le revêtement. En particulier, il convient de mettre la citerne ou le conteneur à la terre de façon sûre. Il convient d'installer des passerelles conductrices ou dissipatives mises à la terre pour empêcher que les personnes n'accumulent des charges.

7.3.4.4 Citernes et conteneurs comportant des couches conductrices intégrées dans les parois

Ces citernes sont effectivement des citernes conductrices munies de revêtements isolants internes et externes. Par conséquent, il convient de prendre les précautions données au 7.3.4.2 et au 7.3.4.3 en plus des points suivants:

- a) il convient que la couche conductrice soit solide et mise à la terre de façon sûre;
- b) si le liquide n'est pas en contact avec la couche conductrice, il convient de fournir un chemin de mise à la terre en provenance du liquide via un objet métallique mis à la terre dans la base de la citerne. Il peut s'agir d'une plaque métallique, d'un clapet de pied ou d'un tuyau de remplissage tiré presque jusqu'au fond de la citerne;
- c) si la couche conductrice est sous la forme d'un filet ou grillage conducteur, il convient que la zone de chaque maille (c'est-à-dire la zone contenue par les fils) ne dépasse pas la valeur de zone donnée au 6.3.3 pour la Zone 0.

En cas de remplissages répétés rapides, le revêtement interne est susceptible de se charger fortement, ce qui peut provoquer des décharges glissantes de surface. Cela peut être évité si la tension de claquage du revêtement est inférieure à 4 kV (voir A.3.5).

7.3.4.5 Conteneurs et grands récipients pour vrac en matériau isolant entouré d'une enveloppe ou d'un revêtement conducteur

Cette forme de construction est généralement utilisée pour les citernes ou les conteneurs de faibles dimensions, d'une capacité d'environ 1 m³. D'un point de vue électrostatique, elle est similaire à celle présentée au 7.3.4.2, mais la couverture fournie par l'enveloppe conductrice peut être incomplète et des espaces peuvent exister entre l'enveloppe et la paroi du conteneur. Des exemples sont les conteneurs en plastique, tels que les grands récipients pour vrac (GRV), entourés d'un blindage, d'une grille, d'un treillis ou d'un revêtement conducteur. Les conseils du présent article portent sur l'application des grands récipients pour vrac et s'appliquent principalement aux conteneurs d'une capacité de 1 m³ environ. Les enveloppes conductrices ne sont normalement pas fournies pour les conteneurs en plastique en dessous de cette dimension. Même si des conseils spécifiques n'ont pas été formulés pour les réservoirs de plus faibles dimensions, les conseils donnés dans le présent article assurent un fonctionnement en toute sécurité. Sinon, les dispositions données au 7.3.4.6 peuvent être utilisées pour les réservoirs de ce type d'une capacité maximale de 5 l.

Des conseils d'experts sont recommandés si l'utilisation de citernes de moyennes ou grandes dimensions possédant des enveloppes conductrices est envisagée dans d'autres contextes.

NOTE 1 Les citernes isolantes souterraines peuvent être de moyennes ou grandes dimensions et sont électriquement similaires à celles abordées dans le présent paragraphe. Elles sont toutefois traitées au 7.3.4.6.

L'utilisation de grands récipients pour vrac est une activité pour laquelle des exigences spécifiques concernant les matériaux plus sensibles à l'inflammation sont données. Concernant les grands récipients pour vrac et les citernes similaires, une enveloppe, un revêtement ou une grille à mailles ouvertes (avec des espaces ouverts ne dépassant pas 10 000 mm²) entièrement conducteurs empêche la surface externe du plastique de s'électriser à un niveau dangereux (selon les dispositions énoncées ci-dessous concernant le contact entre l'enveloppe et le plastique) et permet de lier les charges éventuellement présentes sur la surface interne afin de réduire le risque de décharges glissantes de surface incendiaires à l'intérieur du conteneur. Il convient d'accorder le plus grand soin pour éviter la formation d'îlots conducteurs causés par des revêtements conducteurs non homogènes sur des réceptacles isolants.

NOTE 2 Le revêtement externe peut être une couche non électrisable coextrudée avec le réceptacle interne du grand récipient pour vrac. Le réceptacle peut comporter plusieurs autres couches.

Pour garantir que les parois internes et externes du conteneur, ainsi que le liquide qu'il contient, ne puissent être électrisés à un niveau dangereux, il convient de prendre toutes les précautions suivantes:

- 1) Exigences concernant les conteneurs qui sont exclusivement utilisés avec les liquides du Groupe d'explosion IIA ainsi que l'éthanol, le propanol, le butanol, l'hexanol, l'heptanol, l'éthylène glycol et l'ester éthylique de l'acide acétoacétique.

NOTE Seuls quelques groupes de liquides ne sont pas classés dans le Groupe d'explosion IIA. Pour plus d'informations, se référer à l'IEC 60079-20-1. Un récapitulatif est donné à l'Article C.6.

- a) Il convient que le conteneur soit entièrement entouré d'un blindage, d'une grille, d'un treillis ou d'un revêtement conducteur à l'exception des zones limitées relatives à la conception (c'est-à-dire les zones pour lesquelles les conséquences d'une couverture incomplète ont été étudiées lors du processus de conception et démontrées comme n'étant pas dangereuses). Si l'enveloppe est une grille, il convient que la surface de maillage ouverte de chaque unité de maille ouverte soit inférieure à 10 000 mm².
- b) Il convient que toutes les zones limitées non entourées par le blindage, la grille, le treillis ou le revêtement conducteur (bouton de remplissage ou zones autour du bouchon de remplissage, par exemple) soient dissipatives et mises à la terre ou qu'elles soient protégées par d'autres mesures de manière à éviter les dangers d'inflammation concernant le Groupe d'explosion IIA en Zone 1 à l'extérieur et en Zone 0 à l'intérieur du conteneur (en limitant la zone électrisable aux valeurs données au 6.3.2 ou en appliquant un traitement de surface, par exemple). L'efficacité et la durabilité du traitement de surface (profilage, application homogène avec couches

dissipatives, etc.) doivent être contrôlées expérimentalement dans les conditions d'électrification, d'humidité et de contamination les plus défavorables (voir 6.3.9).

- c) Il convient que le blindage, la grille, le treillis ou le revêtement ait un contact étroit et de bonne qualité avec le réceptacle interne sur toutes les faces du conteneur, à l'exception des zones limitées relatives à la conception. Pour une grille comportant des surfaces de maillage ouvertes de plus de 3 000 mm², il convient de ne pas dépasser une distance locale maximale de 20 mm entre la grille et le réceptacle interne sur les zones relatives à la conception, par exemple la zone de la vanne de vidange. Uniquement aux bords et aux coins des conteneurs, une distance maximale locale de 40 mm peut être tolérée. Dans le cas d'un blindage, d'une grille, d'un treillis ou d'un revêtement solide ou d'une grille comportant des maillages de moins de 3 000 mm², une distance maximale locale de 40 mm est admise dans les zones relatives à la conception, ainsi que les bords et les coins.

NOTE Il est généralement difficile d'obtenir des distances plus faibles. Les zones électrisées résultantes sont de faibles dimensions et présentent généralement un risque très faible.

- d) Il convient de mettre à la terre et au même potentiel tous les éléments conducteurs et dissipatifs.
 - e) Il convient de fournir un chemin conducteur d'une résistance maximale de 1 MΩ entre le liquide et la terre, en tirant par exemple un tuyau de remplissage conducteur mis à la terre presque jusqu'au fond du conteneur ou un clapet de pied conducteur mis à la terre ou encore une plaque conductrice suffisamment grande à la base de la citerne. Il convient que même les faibles quantités de liquide restant (1 l, par exemple) soient en contact permanent avec le point de mise à la terre intérieur afin d'empêcher le liquide de devenir un conducteur isolé électrisé.
 - f) Il convient que le conteneur soit équipé d'une plaque d'avertissement jaune concernant la sécurité d'utilisation (voir h) à m)).
 - g) Avant de procéder à un nouveau remplissage, il convient de vérifier que le conteneur satisfait toujours aux exigences a) à f).
 - h) Il convient de ne pas remplir le conteneur avec tout autre liquide.
 - i) Il convient de ne pas utiliser le conteneur dans les endroits, où une Zone 0 est présente à l'extérieur du conteneur.
 - j) Il convient d'ajouter des liquides isolants (toluène, par exemple) via un tuyau plongeur conducteur mis à la terre. Il convient de faire passer ce tuyau plongeur à quelques centimètres du plancher afin d'éviter tout risque de décharges aigrettes provenant des liquides isolants.
 - k) Il convient de restreindre la vitesse de remplissage à 400 l/min et que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 2 m/s.
- NOTE Les deux valeurs sont généralement respectées lors d'un remplissage par gravité.
- l) Il convient d'éviter les remplissages répétés rapides, ainsi que tout autre processus de forte charge. Ces autres processus générateurs de forte charge sont traités aux 7.5, 7.9 et 7.10.
 - m) Il convient de ne pas remplir le conteneur immédiatement après le nettoyage, la fabrication, etc. lorsqu'il peut être chargé dangereusement en électricité.
- 2) Exigences concernant les conteneurs pouvant être utilisés avec tous les liquides produisant des fumées des groupes d'explosion IIB:
- a) Il convient d'entourer le conteneur dans une surface de paroi externe dissipative ou conductrice mise à la terre continue, par application d'un revêtement ou par coextrusion par exemple.
 - b) Il convient de mettre à la terre les grilles ou les blindages métalliques distincts qui ne sont pas physiquement fixés à la paroi.
 - c) Il convient que les zones limitées non entourées par la surface de paroi externe conductrice (bouton de remplissage ou zones autour du bouchon de remplissage, par exemple) soient dissipatives et mises à la terre ou protégées en limitant la zone électrisable aux valeurs données au 6.3.2.

- d) Il convient de fournir un chemin conducteur d'une résistance maximale de 1 MΩ entre le liquide et la terre.
 - e) Il convient que le conteneur soit équipé d'une plaque d'avertissement verte concernant la sécurité d'utilisation (voir f)).
 - f) Suivre les précautions h) à m) de la section 1.
- 3) Les liquides produisant des vapeurs du Groupe d'explosion IIC peuvent uniquement être utilisés avec des conteneurs conducteurs ou dissipatifs (voir 7.3.3).
- 4) Bien que les grands récipients pour vrac (GRV) ne soient pas construits pour servir de réservoirs de mixage ou de réaction, il peut être nécessaire d'homogénéiser le contenu en procédant à un brassage avant le remplissage ou le vidage du grand récipient pour vrac. Ces processus étant susceptibles de provoquer une électrisation puissante, il convient de prendre les précautions suivantes:
- a) Utiliser uniquement des appareils de brassage antidéflagrants.
 - b) Utiliser des appareils de brassage comportant une surface métallique importante immergée dans le liquide.
 - c) Mettre à la terre le grand récipient pour vrac ainsi que l'appareil de brassage, y compris le brasseur métallique immergé dans un liquide.
 - d) Ne pas activer l'appareil de brassage tant qu'il n'est pas entièrement immergé.
 - e) Il convient que la conductivité de la phase liquide continue soit supérieure à 1 000 pS/m.
- NOTE Les phases liquides hydrosolubles satisfont généralement à cette exigence.
- f) Réduire la vitesse périphérique du brasseur à 7 m/s pour les liquides monophasiques et à 1 m/s pour les liquides polyphasiques.
 - g) Si des liquides de forte charge (voir A.13) sont utilisés, une génération de charges élevées est attendue, ce qui rend nécessaires des mesures complémentaires, telles que l'inertage.
 - h) D'autres mesures sont également nécessaires dans le cadre du mixage à grande vitesse (utilisation de surfactants, par exemple).

7.3.4.6 Citernes et conteneurs réalisés entièrement en matériau isolant

Les citernes souterraines sont électriquement similaires aux citernes conductrices recouvertes d'un revêtement interne isolant (voir 7.3.4.2) ou aux citernes entourées d'une enveloppe conductrice (voir 7.3.4.5). Dans ces circonstances, il est permis d'utiliser les citernes pour des liquides inflammables sous réserve qu'un objet métallique mis à la terre (tuyau de remplissage ou clapet de pied, par exemple) soit en contact avec le liquide et que les remplissages répétés rapides soient évités. Lorsque l'épaisseur de la paroi de la citerne dépasse 2 mm, la surface interne peut produire des décharges aigrettes pendant les opérations de nettoyage. Il convient de prendre les précautions données au 7.10 pour éviter ce danger.

Dans les autres cas, les citernes et conteneurs ne comportant pas de couche conductrice ou dissipative présentent un risque plus important par rapport à ceux décrits du 7.3.4.2 au 7.3.4.5 pour les raisons suivantes:

- a) Ils peuvent isoler les objets conducteurs et dissipatifs (entonnoirs métalliques, outils, couvercles, voire flacons de liquide, par exemple) de la terre;
- b) Les potentiels sont plus élevés par rapport aux conteneurs métalliques équivalents;
- c) La paroi isolante peut s'électriser par frottement ou par contact avec le liquide électrisé;
- d) La relaxation de la charge provenant du liquide est généralement empêchée par la paroi isolante;
- e) La charge retenue sur le liquide ou la paroi du conteneur produit un champ électrique externe. Cela peut provoquer des décharges aigrettes ou des étincelles provenant de conducteurs externes électrisés par induction;

- f) Dans le cas de remplissages répétés rapides, de fortes décharges aigrettes peuvent se produire.

Pour ces raisons, il convient généralement de ne pas utiliser de citernes isolantes hors sol si une atmosphère inflammable est susceptible de se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur de la citerne. Lorsque les exigences de pureté du produit ou d'autres problèmes de traitement imposent l'utilisation d'une citerne ou d'un conteneur isolant, il convient de prendre les précautions suivantes ou de faire procéder à une évaluation des dangers par un expert:

Dans la Zone 2 externe, il convient de ne pas utiliser de récipients isolants d'une capacité nominale de plus de 5 l pour les liquides inflammables et il convient de les utiliser uniquement pour des liquides non inflammables dans les conditions suivantes:

- Il convient de mettre à la terre tous les composants conducteurs et dissipatifs (en particulier les entonnoirs métalliques);
- Pendant les opérations de remplissage, il convient de ne pas mettre le liquide en contact avec la terre (en tirant un tuyau de remplissage métallique mis à la terre jusqu'au fond du conteneur, par exemple). Pendant les opérations de vidage, il convient également de prendre les précautions appropriées concernant le réservoir de réception;
- Il convient que le débit du liquide pendant les opérations de remplissage ne dépasse pas la valeur recommandée pour les conteneurs métalliques de taille similaire;
- Ne pas effectuer d'opérations (mixage rapide, brassage, essuyage de la surface, par exemple) pouvant générer des charges électrostatiques dangereuses.

Dans la Zone 1, il convient de ne pas utiliser de conteneurs en matériau isolant d'une capacité de plus de 5 l. Les conteneurs d'une capacité nominale de plus de 5 l peuvent être utilisés avec des liquides inflammables et non inflammables sous réserve que la vitesse d'écoulement soit limitée à 1 m/s et que les précautions applicables à la Zone 2 soient prises.

Dans la Zone 0, les conteneurs isolants sont strictement interdits, à l'exception des modèles de faibles dimensions (≤ 1 l) servant à l'échantillonnage des réservoirs internes (voir 7.6).

NOTE Des conteneurs coextrudés de faibles dimensions > 5 l possédant une couche externe dissipative et une couche interne isolante sont disponibles sur le marché, ce qui est préférable.

7.3.5 Utilisation de revêtements dans les conteneurs

Les estimations suivantes sont fondées sur l'hypothèse que la manipulation des revêtements et conteneurs a lieu dans une zone dangereuse (généralement en Zone 0, 1 ou 2 avec des substances appartenant aux groupes d'explosion IIA et IIB).

Il est permis d'utiliser des revêtements conducteurs ou dissipatifs dans des conteneurs, sous réserve qu'ils soient mis à la terre de façon sûre et permanente. Le retrait des revêtements conducteurs ou dissipatifs dans des conteneurs n'est admis que si le revêtement reste mis à la terre de façon sûre.

Lorsque des revêtements amovibles conducteurs non mis à la terre ou électrostatiquement dissipatifs sont utilisés dans des conteneurs métalliques comportant des revêtements peints, il convient que le revêtement ait une résistance superficielle maximale de $1 \text{ G}\Omega$ et il convient de prendre les précautions adéquates pour limiter le courant de charge à moins de $1 \mu\text{A}$, en plaçant par exemple des filtres à une distance sûre en amont (voir 7.5 et A.2.2). Sinon, il convient de prendre des mesures de manière à garantir une mise à la terre fiable du revêtement en fixant par exemple une partie de celui-ci à une section non revêtue du fût.

Il convient d'utiliser les revêtements isolants uniquement dans des conteneurs conducteurs ou des conteneurs conducteurs munis de revêtements isolants, à condition qu'ils soient en permanence en contact étroit avec la paroi du conteneur et, dans le cas d'un liquide conducteur, que le liquide soit correctement mis à la terre (via un tuyau plongeur mis à la terre, un piquet de terre, etc.). Outre l'épaisseur du revêtement, il convient de ne pas

dépasser 2 mm au total. Il convient d'éviter le retrait de revêtements isolants en atmosphère explosive (retrait de revêtements imprégnés de solvant, par exemple).

Il convient que les revêtements conducteurs ou dissipatifs imprégnés de solvant soient manipulés par une personne correctement mise à la terre portant des gants électrostatiquement dissipatifs (voir 11.6) et qu'ils soient stockés dans un endroit bien ventilé situé en dehors de la zone d'exploitation. Il convient d'empiler les revêtements sur une surface conductrice ou dissipative mise à la terre (béton, par exemple) et qu'ils soient placés dans des sacs électrostatiquement dissipatifs jusqu'à leur mise au rebut.

Il convient que les utilisateurs de revêtements de conteneurs conducteurs ou dissipatifs effectuent un essai de qualification simple afin de vérifier l'absence de défauts de lots. Une telle procédure peut impliquer un essai de résistance utilisant une série de mesures au téraohmmètre entre le dessus et le dessous du revêtement, ou des essais similaires. Il convient que le fournisseur du revêtement fournisse la norme de performance spécifique.

7.4 Liquides à haute viscosité

Les liquides à haute viscosité (viscosité cinématique d'environ $100 \text{ mm}^2/\text{s}$) ont tendance à se charger plus rapidement que les liquides à faible viscosité tels que les carburants ou les solvants comme l'hexane (environ $1 \text{ mm}^2/\text{s}$) lorsqu'ils traversent les tuyaux, en particulier les filtres. Ils peuvent également avoir une conductivité électrique faible pouvant aller jusqu'à $0,01 \text{ pS/m}$, ce qui leur permet de retenir leur charge pendant plus de 1 h. C'est pourquoi les restrictions concernant la vitesse d'écoulement recommandée pour les liquides à faible viscosité dans plusieurs parties du 7.3 ne sont pas adéquates si une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente.

Heureusement, la plupart des liquides à haute viscosité ont soit une conductivité élevée (pétrole brut, par exemple), soit ils ne sont pas suffisamment volatils pour produire une atmosphère inflammable (comme la plupart des huiles lubrifiantes, par exemple). Par conséquent, ils n'entraînent généralement pas de danger d'inflammation. Dans certains cas, il existe néanmoins un risque élevé d'inflammation (par exemple, lorsqu'une huile lubrifiante de conductivité faible est chargée en alterné dans un wagon-citerne qui contenait auparavant un liquide inflammable volatil). Étant donné que les limites de débit fiables pour les liquides à haute viscosité ne sont pas connues, la précaution recommandée à prendre lorsque des liquides à haute viscosité et de conductivité élevée sont manipulés est d'éviter une atmosphère inflammable (par inertage, par exemple).

7.5 Equipements de forte charge

7.5.1 Filtres, séparateurs d'eau et tamis

Les débits qui traversent les filtres fins (y compris les séparateurs d'eau) et les tamis peuvent produire des densités de charge considérablement supérieures par rapport aux débits qui traversent les tuyaux.

Les treillis ou tamis métalliques à grosses mailles (taille de pore $< 150 \mu\text{m}$) ne sont normalement pas considérés comme ayant une forte charge même si, partiellement colmatés, ils peuvent produire des densités de charge qui dépassent considérablement celles des débits traversant les tuyaux. Les colmatages partiels peuvent être détectés en contrôlant la chute de pression.

Les microfiltres (taille de pore $< 30 \mu\text{m}$) génèrent souvent des niveaux de charge très élevés: par exemple, des densités de charge supérieures à $5\,000 \mu\text{C}/\text{m}^3$ ont été signalées dans des systèmes qui fournissaient environ $10 \mu\text{C}/\text{m}^3$ du débit du tuyau. Les filtres moyennement fins ($30 \mu\text{m} \leq \text{taille de pore} \leq 150 \mu\text{m}$) génèrent des niveaux de charge intermédiaires.

Les limites de débit sont basées sur l'électrification liée au débit du tuyau. Par conséquent, si une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente dans la phase gazeuse d'une

citerne située en aval d'un microfiltre, d'un filtre/tamis moyennement fin ou d'un tamis à grosses mailles colmaté, il est essentiel qu'il y ait un temps de résidence suffisant entre le filtre et la citerne pour permettre la relaxation de la charge excessive à un niveau sûr avant que le liquide n'entre dans la citerne. Le temps de résidence peut être assuré par des tuyauteries conductrices placées en aval du filtre ou, si nécessaire, via une chambre de relaxation conductrice supplémentaire.

Les exigences en matière de temps de résidence ainsi que les précautions supplémentaires à prendre concernant les filtres et les tamis sont les suivantes:

- 1) Exigences de temps de résidence entre le filtre et la citerne concernant les microfiltres, les filtres/tamis possédant une taille de pore inférieure à 150 μm ainsi que les tamis à grosses mailles pouvant être sujets au colmatage:
 - a) Liquides de conductivité minimale connue (de manière fiable): il convient que le temps de résidence soit au moins trois fois égal au temps de relaxation en fonction de la conductivité minimale (voir Tableau 7 et A.2.2), bien qu'il n'est pas nécessaire de fournir plus que les valeurs maximales définies à l'alinéa suivant pour les liquides de conductivité inconnue.
 - b) Limites supérieures pour les liquides de conductivité inconnue: les temps de résidence maximaux exigés lorsque la conductivité du liquide est inconnue ou très basse sont les suivants:
 - i) Pour les microfiltres (taille de pore < 30 μm) et les filtres moyennement fins (30 μm $\leq$ taille de pore/maillage $\leq$ 150 μm) avec une tendance au colmatage partiel: 100 s;
 - ii) Pour les filtres moyennement fins (30 μm $\leq$ taille de pore/maillage $\leq$ 150 μm) sans tendance au colmatage partiel et les filtres à grosses mailles avec une tendance au colmatage: 30 s.

NOTE Ces temps de résidence sont adéquats pour toutes les conductivités sauf dans le cas des liquides à haute viscosité (voir 7.4).

2) Autres précautions:

- a) S'assurer que l'ensemble des parties conductrices sur les filtres et dans les boîtiers de filtre sont mises à la terre et au même potentiel;
- b) S'assurer que le boîtier de filtre et la chambre de relaxation, si utilisée, sont toujours remplis de liquide en fonctionnement normal afin d'éviter la formation d'une atmosphère inflammable.

Si la disposition du temps de résidence exigé est difficilement réalisable, envisager l'utilisation de SDA de manière à augmenter la conductivité du liquide ou le remplacement du liquide par un liquide de conductivité supérieure. Si cela ne peut être fait, il convient d'inertiser la phase gazeuse.

L'utilisation d'un temps de résidence inférieur à la valeur de limite supérieure nécessite une connaissance fiable ou le contrôle de la conductivité de liquide minimale susceptible d'être générée. Dans la plupart des cas pratiques, cette conductivité minimale n'est pas connue et il est nécessaire de procurer un temps de résidence égal à la limite supérieure.

Dans le cas de liquides à haute viscosité et de conductivité faible tels que les huiles lubrifiantes (voir 7.4), les temps de résidence maximaux habituels ne sont pas adéquats. Lorsque les temps de résidence exigés sont inconnus ou trop longs pour être réalisables, il est essentiel d'éviter une atmosphère inflammable dans le réservoir de réception.

Pour les citernes à toit flottant ou à couvercle flottant interne, le temps de résidence peut être calculé à partir de la vitesse d'écoulement initiale réduite de 1 m/s qui s'applique jusqu'à ce que le toit ou le couvercle interne flotte (voir 7.3.2.2.3). Cela s'explique par le fait qu'il n'existe plus de danger d'inflammation lorsque le toit ou le couvercle flotte.

Pour les sacs filtrants suspendus (également appelés filtres extrafins de fin de ligne), il convient de ne pas les utiliser dans des atmosphères explosives. Même si le liquide est

conducteur, il convient de ne pas placer de tels filtres en amont de sorte que le tissu ne soit pas en contact avec des mélanges vapeur/air. Avec des liquides de conductivité faible, il convient de placer le filtre à un temps de résidence adéquat en amont de l'extrémité du tuyau (voir ci-dessus).

7.5.2 Pompes et autres équipements

D'autres équipements (tels que les pompes et les vannes fermées partiellement) peuvent également donner une génération de charges plus élevées. Néanmoins, ces éléments ne génèrent habituellement pas autant de charge qu'un microfiltre. Par conséquent, si une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente dans la phase gazeuse d'une citerne placée en aval d'un tel équipement, il convient d'appliquer les exigences de temps de résidence pour les filtres moyennement fins (voir 7.5.1, c'est-à-dire un temps de résidence au moins 3 fois égal au temps de relaxation (3τ) jusqu'à un maximum de 30 s entre l'équipement et la citerne).

7.6 Calibrage et échantillonnage dans les citernes

7.6.1 Généralités

Le calibrage et l'échantillonnage peuvent causer une inflammation électrostatique, quelles que soient les dimensions de la citerne, si une atmosphère inflammable est présente et que l'équipement de calibrage et d'échantillonnage ou si les personnes utilisant l'équipement sont susceptibles de se charger en électricité. En outre, dans le cas de citernes de moyennes et grandes dimensions, le risque d'inflammation est élevé si le liquide dans la citerne est fortement électrisé par des processus de remplissage ou par agitation, comme c'est le cas dans une opération de mixage par exemple (voir 7.9). Néanmoins, les derniers risques sont éliminés si l'opération de calibrage ou d'échantillonnage s'effectue dans un tuyau plongeur fixe et mis à la terre s'étendant jusqu'au fond de la citerne (puits de mesure).

Une décharge incendiaire peut se produire entre le liquide et l'équipement de calibrage et d'échantillonnage lorsqu'ils s'approchent l'un de l'autre, ou entre l'équipement (ou la personne qui le manipule) et le rebord du trou de visite ou l'entrée du tuyau à travers lequel l'opération s'effectue. Pour éviter ces dangers, il convient de suivre les recommandations données au 7.6.2.

7.6.2 Précautions à prendre lors des opérations de calibrage et d'échantillonnage

Il convient de prendre les précautions suivantes:

- Il convient de mettre à la terre l'ensemble des parties conductrices et dissipatives de l'équipement de calibrage et d'échantillonnage en les reliant à la citerne, ou si la citerne est construite en matériau isolant, en les mettant directement à la terre. Il convient que les connexions soient réalisées en matériau conducteur ou dissipatif. Il convient de ne pas utiliser de chaînes métalliques.
- Lorsque la mise à la terre de l'équipement de calibrage et d'échantillonnage conducteur pour des liquides de conductivité faible ou moyenne ne peut pas être assurée, il convient d'utiliser des conteneurs en verre ou des conteneurs en verre de faibles dimensions (≤ 1 l), de préférence revêtus d'un revêtement électrostatiquement dissipatif, ainsi que des jauges en bois. Il convient également d'utiliser cet équipement dans le cas de liquides de conductivité élevée non mis à la terre.
- S'assurer que les personnes participant aux opérations de calibrage et d'échantillonnage ne présentent pas de risque d'inflammation et qu'elles sont reliées à la terre (voir Article 11).

A moins qu'un équipement de calibrage fixe ne soit utilisé ou que l'opération de calibrage s'effectue dans un tuyau plongeur fixe et mis à la terre s'étendant jusqu'au fond de la citerne, il convient également d'appliquer les mesures suivantes:

- a) Il convient de ne pas procéder à des opérations de calibrage et d'échantillonnage au-dessus de la surface du fluide dans une citerne contenant une atmosphère inflammable pendant qu'une opération génératrice de charge est en cours. Les opérations génératrices de charge incluent le pompage ou la circulation de liquides monophasiques de conductivité faible, le pompage ou la circulation de liquides polyphasiques de conductivité faible ou moyenne, ainsi que de nombreuses procédures de nettoyage.
- b) Il convient de ne pas procéder à des opérations de calibrage et d'échantillonnage pendant la décantation des composants d'un mélange de conductivité faible. Par conséquent, il convient de respecter un délai d'au moins 30 min après la réalisation de l'opération avant de procéder au calibrage ou à l'échantillonnage si un liquide de conductivité faible contenant une seconde phase a été pompé dans une citerne ou impliqué dans une opération de mixage dans une citerne. Exemples: eau remuée ou particules solides non dissoutes.
- c) Il convient de ne pas procéder à des opérations de calibrage et d'échantillonnage à travers le trou de visite ouvert d'un conteneur inerté. Dans ce cas, l'inertage est détruit la même si le trou de visite n'est ouvert que pendant quelques secondes.

Il convient de ne pas procéder au calibrage et à l'échantillonnage de liquides inflammables en extérieur si des orages, tempêtes de neige, averses de grêle ou d'autres conditions électriques atmosphériques perturbées sont susceptibles de se produire.

7.7 Tuyaux et flexibles pour les liquides

7.7.1 Généralités

Lorsqu'un liquide s'écoule dans un tuyau ou un flexible, la séparation de charge produit des charges électrostatiques de polarité opposée sur le liquide ainsi que sur la paroi intérieure du tuyau. Si le tuyau est entièrement conducteur ou dissipatif et qu'il est mis à la terre, les charges ne peuvent pas s'accumuler sur la paroi et les dangers électrostatiques sont confinés aux citernes où les charges du liquide peuvent s'accumuler. Les dangers liés aux citernes sont traités au 7.3.

Si le tuyau ou le flexible contient des matériaux isolants, une accumulation de charges est susceptible de se produire sur la paroi du tuyau et des dangers peuvent également être associés au tuyau ou au flexible lui-même. Ainsi, la paroi peut être électrisée par l'écoulement du liquide ou par frottement tandis que les composants métalliques peuvent être isolés et accumuler de la charge. Les dangers liés à l'accumulation de charges sur les tuyaux ou flexibles entièrement ou partiellement réalisés en matériau isolant sont traités dans le présent article. Le degré d'accumulation dépend de la résistivité du matériau du tuyau, de la conductivité du liquide et de la géométrie physique du système. Il peut atteindre des niveaux qui produisent des décharges incendiaires.

Des dangers d'inflammation peuvent se produire à l'intérieur du tuyau s'il est partiellement rempli avec un liquide inflammable à point d'éclair faible et/ou à l'extérieur si l'atmosphère environnante est inflammable. Des décharges peuvent également perforer les parois des tuyaux isolants et ainsi être à l'origine de fuite. Une fuite peut générer une atmosphère inflammable externe susceptible d'être enflammée par des décharges ultérieures ou d'entraîner un danger toxique (si le tuyau transportait un liquide toxique, par exemple) ou un dommage environnemental. Des exigences supplémentaires pour les tuyaux de distribution des zones de service des stations-service sont définies dans l'EN 14125.

7.7.2 Canalisations

7.7.2.1 Classification des tuyaux

Les tuyaux sont classés en différentes catégories; ils peuvent être conducteurs (résistance $< 1 \text{ k}\Omega/\text{m}$), dissipatifs (résistance comprise entre $1 \text{ k}\Omega/\text{m}$ et $< 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$) ou isolants (résistance $\geq 1 \text{ M}\Omega/\text{m}$) conformément aux définitions données à l'article Termes et définitions (3.2, 3.7 et 3.15) et aux indications du Tableau 1.

7.7.2.2 Tuyaux conducteurs ou dissipatifs

Il convient que toutes les sections des tuyaux conducteurs ou dissipatifs soient mises à la terre et au même potentiel de façon adéquate (voir 7.7.1). A moins que le tuyau ne soit entièrement réalisé en matériau conducteur ou dissipatif, une perforation des revêtements isolants est susceptible de se produire (voir 7.7.2.3 et 7.7.2.4).

7.7.2.3 Tuyaux conducteurs ou dissipatifs avec doublure interne isolante

Lorsqu'un tuyau conducteur ou dissipatif comportant une doublure interne isolante est utilisé pour transporter un liquide de conductivité faible ou moyenne, des charges électrostatiques sont susceptibles de s'accumuler sur la surface interne de la doublure et de produire des décharges sur la paroi extérieure du tuyau en traversant la doublure. La théorie indique que le potentiel à la surface d'un revêtement augmente souvent proportionnellement à l'épaisseur du revêtement. Des décharges dangereuses sont donc plus susceptibles de se produire avec des revêtements plus épais (tels que les gaines en plastique) plutôt qu'avec des revêtements fins (style époxy). Même dans des conditions défavorables (densité de charge élevée dans le liquide, tuyau de grand diamètre, garnissage épais), il est peu probable que des décharges se produisent lorsque la résistivité volumique du garnissage est inférieure à environ 100 MΩ m. Dans des conditions normales (densité de charge < 1 000 μC/m³, diamètre du tuyau d'environ 100 mm, épaisseur du garnissage < 5 mm), des décharges ne se produisent pas à moins que la résistivité volumique ne dépasse 100 GΩ m.

NOTE Plus le revêtement isolant est épais, plus la probabilité de décharges aigrettes augmente et plus la probabilité de décharges glissantes de surface diminue. Voir A.3.4 et A.3.5.

L'utilisation de tuyaux conducteurs ou dissipatifs comportant des revêtements plus épais et/ou moins conducteurs peut demeurer acceptable pour bon nombre d'applications de manipulation de liquides. Dans ce cas, il est nécessaire que toutes les sections conductrices du tuyau soient mises à la terre de manière fiable et que le tuyau soit constamment rempli de liquide tout au long des opérations. La dernière exigence permet de s'assurer de l'absence d'atmosphère inflammable à l'intérieur du tuyau.

Dans le cas d'un tuyau comportant un revêtement épais et moins conducteur, il convient de le remplir et de le vider lentement si une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente. En général, il convient de ne pas laisser la vitesse de l'interface liquide/air dépasser 1 m/s. Des vitesses inférieures peuvent être nécessaires en aval des microfiltres.

Bien qu'il n'existe pas de danger d'inflammation électrostatique si le tuyau est constamment rempli de liquide, un claquage électrique peut perforer un revêtement aux propriétés isolantes élevées. Lorsque cela est essentiel (pour empêcher la corrosion, par exemple), ce risque peut généralement être évité par l'emploi d'un revêtement possédant une résistivité volumique faible. Une valeur inférieure à 100 GΩ m est généralement adéquate même si, en présence de niveaux élevés de génération de charges, moins de 100 MΩ m peut être nécessaire.

7.7.2.4 Tuyaux isolants

7.7.2.4.1 Généralités

Le débit des liquides de conductivité faible, moyenne et élevée dans des tuyaux isolants peut engendrer des densités de charge superficielle, des champs électriques ainsi que des potentiels élevés sur les parois du tuyau. Ce qui peut donner lieu aux dangers suivants:

- a) les champs et les potentiels élevés peuvent entraîner directement des décharges incendiaires à l'intérieur ou à l'extérieur du tuyau;
- b) les champs élevés se prolongent au-delà du tuyau et, par conséquent, des étincelles peuvent se produire par induction électrostatique en provenance d'objets conducteurs ou de personnes situé(e)s à proximité qui ne sont pas mis(es) à la terre;
- c) des densités de charge forte sur la surface interne du tuyau peuvent provoquer un claquage électrique et la perforation de la paroi du tuyau;

- d) de l'air humide peut pénétrer dans le tuyau et se condenser sur les parois à l'intérieur, créant ainsi des flaques conductrices susceptibles de transmettre des décharges d'allumage aux objets mis à la terre.

7.7.2.4.2 Tuyaux isolants hors sol

Hors sol, des dangers peuvent être engendrés par des décharges internes ou externes, des étincelles inductives ou des perforations de paroi. Les exigences suivantes s'appliquent si une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente à l'intérieur ou à l'extérieur du tuyau (en zones dangereuses ou en cas de manipulation de liquides inflammables dans des tuyaux partiellement remplis, par exemple):

- 1) Pour les liquides de conductivité faible ou moyenne, il convient soit de:
 - a) s'assurer que la résistance entre extrémités du tuyau se situe dans les limites de sécurité établies spécifiquement pour l'application en utilisant une analyse approfondie des dangers; ou
 - b) ajuster de façon empirique les résistances ainsi que les conditions d'exploitation du tuyau jusqu'à ce que des évaluations de dangers expérimentales puissent démontrer que l'opération suggérée ne produira aucune décharge incendiaire même dans les conditions les plus défavorables.

NOTE Ces deux approches sont utilisées, par exemple, dans la SAE J1645 pour la conception de systèmes de manipulation de carburant en plastique sur des véhicules à moteur.

- 2) Pour les liquides de conductivité élevée, il convient soit de suivre les précautions applicables aux liquides de conductivité faible et moyenne soit de:
 - a) s'assurer que le liquide est en contact direct avec un composant conducteur mis à la terre tel qu'une vanne ou une citerne à l'extrémité en amont du tuyau; et
 - b) s'assurer la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 1 m/s.
- 3) Suivre les précautions données à l'Article 6 pour s'assurer que la paroi externe du tuyau ne peut pas être chargée dangereusement en électricité par des sources externes (application de vapeur ou frottement, par exemple).
- 4) Pour éviter des étincelles causées par l'électrification par induction, relier à la terre tous les composants conducteurs fixés au tuyau (brides, vannes, sphères de vannes ou couches conductrices à l'intérieur du tuyau, par exemple), ainsi que tous les éléments de ce type situés à proximité du tuyau, sauf si leur capacité électrique installée est inférieure à 3 pF.

NOTE 1 La capacité installée désigne la capacité du composant lorsqu'il est installé dans l'ensemble de travail. Elle peut être considérablement supérieure à la capacité du composant isolé si le composant est monté à proximité d'une surface mise à la terre.

NOTE 2 Dans certaines circonstances, les décharges électrostatiques provenant d'éléments conducteurs peuvent être évitées par d'autres moyens que la mise à la terre (en les enveloppant dans un matériau isolant hermétique possédant une tension de claquage suffisamment élevée, par exemple).

- 5) Utiliser les procédures données au point 1a ou 1b, selon le cas, pour établir les conditions et les limites de résistance de manière à empêcher également les décharges incendiaires à l'intérieur du tuyau ou éliminer l'atmosphère inflammable interne:
 - a) en s'assurant que le tuyau est constamment rempli de liquide; ou
 - b) en procédant à un inertage.
- 6) Empêcher les perforations en utilisant une paroi présentant une rigidité diélectrique élevée, en limitant la vitesse d'écoulement ou en adoptant les critères de résistivité volumique donnés au 7.7.2.3 pour les revêtements intérieurs de tuyaux isolants.

La dernière précaution peut être utilisée toute seule lorsque l'objet est uniquement d'empêcher les perforations.

Si le tuyau traverse une zone dangereuse délimitée, il convient que le tuyau respecte les exigences données au 6.3.

7.7.2.4.3 Tuyaux isolants enterrés

Lorsqu'un tuyau isolant est enterré, sa surface externe entière est en contact avec la terre et généralement aucune autre précaution n'est nécessaire pour éviter les décharges incendiaires externes. Le contact de terre extérieur réduit le risque de décharge aigrette interne, mais ne l'élimine pas complètement si la paroi du tuyau possède une résistivité très élevée. Par conséquent, les mesures supplémentaires suivantes sont nécessaires:

Liquides de conductivité élevée:

- a) S'assurer que le liquide est, à un endroit ou à un autre, en contact avec un objet métallique mis à la terre (vanne, par exemple); et
- b) Empêcher les perforations de la paroi causées par les décharges (en utilisant une paroi présentant une rigidité diélectrique élevée, en limitant la vitesse d'écoulement, en choisissant un matériau de paroi avec une résistivité faible ou en adoptant les critères donnés au 7.7.2.3 pour les revêtements intérieurs de tuyaux isolants, par exemple); et
- c) Mettre à la terre les éléments conducteurs isolés ou les envelopper dans un matériau isolant hermétique possédant une tension de claquage suffisamment élevée pour empêcher les décharges (en plaçant des capuchons isolants sur les connecteurs des prises électriques, par exemple).

Liquides de conductivité faible ou moyenne:

Il est permis d'utiliser des tuyaux isolants enterrés pour le passage des liquides de conductivité faible ou moyenne, mais des mesures plus rigoureuses (par exemple, vitesse d'écoulement faible, rigidité diélectrique supérieure du matériau de paroi, réduction de la résistivité de la paroi, évitement d'atmosphère explosive à l'intérieur du tuyau) sont nécessaires pour empêcher la perforation ou l'explosion du tuyau. Il convient de s'appuyer sur une évaluation approfondie des dangers spécifiques au cas.

La profondeur d'une section d'un tuyau enterré peut augmenter les tensions provenant du flux de liquide et exposer les composants conducteurs ou dissipatifs. Par conséquent, il convient de ne pas procéder à des excavations tant que le tuyau est en service. Si une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente, il convient également de mettre à la terre tous les objets conducteurs situés sur ou à proximité du tuyau pouvant être électrisés par induction électrostatique. Néanmoins, il peut être dangereux de procéder à la connexion de mise à la terre dans une atmosphère potentiellement inflammable.

NOTE Les exigences concernant les tuyaux enterrés dans les stations-service sont définies au 7.8.4.

7.7.3 Tuyaux et flexibles

7.7.3.1 Généralités

Le 7.7.3 porte sur les tuyaux utilisés pour le transfert d'huile chimique et minérale. Les tuyaux à peinture sont traités dans l'ISO 8028.

7.7.3.2 Objectifs de conception pour la sécurité électrostatique des tuyaux

- 1) Mise au potentiel de l'équipement: les tuyaux sont souvent utilisés pour mettre l'équipement au même potentiel électrique et peuvent également constituer une seconde couche de protection lors de la mise au potentiel d'éléments comme les buses et les lances. Il convient que la résistance du tuyau entre les raccords d'extrémité ne dépasse pas une limite spécifiée et que les raccords assurent un contact électrique fiable avec l'équipement raccordé.
- 2) Évitement des décharges incendiaires: lorsque des mélanges inflammables peuvent être présents à l'intérieur ou à l'extérieur d'un flexible, il convient d'éviter l'accumulation de charges dangereuses en adoptant une conception qui:
 - a) Évite l'isolation des composants conducteurs tels que les connecteurs de tuyaux, les hélices de renfort et les électrovannes. Pour les flexibles comportant une hélice à l'intérieur et à l'extérieur, il doit être garanti que les deux hélices, en particulier celle à

l'intérieur, soient reliées de façon fiable aux raccords d'extrémité. Cela est d'autant plus important pour les tuyaux qui comportent des hélices chimiquement protégées par des revêtements isolants.

NOTE Dans le cas de tuyaux fabriqués en matériaux conducteurs ou dissipatifs, un contact direct des hélices métalliques et des raccords d'extrémité sans revêtement peut ne pas être nécessaire.

- b) Limite l'accumulation de charges sur les surfaces isolantes en plaçant les conducteurs ou en utilisant des surfaces externes et/ou internes dissipatives selon le cas.
- c) Evite la formation de masses de liquides isolées électrisées dans le tuyau.
- 3) Evitement des dommages aux tuyaux: il convient que les décharges électrostatiques n'endommagent pas le tuyau d'une façon qui compromet les performances. En particulier, il convient d'éviter les décharges qui engendrent des perforations dans la paroi du tuyau.
- 4) Evitement des courants vagabonds: il est parfois nécessaire d'éviter la circulation de niveaux importants de courants vagabonds le long du tuyau tout en s'assurant constamment que les charges électrostatiques peuvent être dissipées. Dans ce document, les tuyaux conçus à cette fin appartiennent à la catégorie dissipatifs, les tuyaux pouvant conduire des courants vagabonds importants appartiennent à la catégorie conducteurs et ceux possédant une résistance trop élevée pour dissiper un courant de charge électrostatique sans danger appartiennent à la catégorie isolants.

Bien que ces définitions soient légèrement différentes de celles utilisées pour définir les classes de tuyaux selon l'ISO 8031 et l'EN 12115, elles permettent d'identifier les tuyaux qui ne présentent aucun danger électrostatique, car la classification selon la résistance mesurée entre les raccords d'extrémité de l'ISO 8031 n'implique pas nécessairement la sécurité électrostatique. Ces classifications pour le contrôle des dangers dus aux décharges électrostatiques et aux courants vagabonds sont récapitulées dans le Tableau 15 et comparées aux classes de tuyaux de l'ISO 8031 dans le Tableau 16.

Tableau 15 — Classification des résistances de tuyau entre extrémités pour le contrôle des dangers liés à l'électricité statique et aux courants vagabonds

Classification	Limites de résistance R entre extrémités	Commentaires
Conducteur	$R < 1 \text{ k}\Omega$	Contrôle la plupart des dangers liés à l'électricité statique, mais peut nécessiter des mesures supplémentaires en raison des couvercles ou revêtements dont la résistance est élevée. Ne limite pas les courants vagabonds provenant de défauts dans le réseau d'énergie, de systèmes de protection cathodique ou de boucles de terre.
Dissipatif	$1 \text{ k}\Omega \leq R < 1 \text{ M}\Omega$	Contrôle la plupart des dangers liés à l'électricité statique, mais peut nécessiter des mesures supplémentaires en raison des couvercles ou revêtements dont la résistance est élevée. Limite les courants vagabonds à des niveaux sûrs.
Isolant	$1 \text{ M}\Omega \leq R$	Ne peut pas être utilisé pour contrôler les dangers liés à l'électricité statique. Limite les courants vagabonds à des niveaux sûrs.

En satisfaisant aux critères ci-dessus dans le cadre du contrôle de l'inflammation, différentes caractéristiques de conception peuvent être nécessaires selon la conductivité du liquide, les exigences de processus et la sensibilité de l'atmosphère à l'inflammation.

7.7.3.3 Application des principes de conception pour éviter l'inflammation dans des atmosphères inflammables possédant une EMI < 0,20 mJ

7.7.3.3.1 Mise au potentiel électrique entre extrémités (continuité)

La mise au potentiel électrique entre extrémités est généralement assurée par des hélices de renfort, des fils incorporés dans la paroi du tuyau ou des gaines métalliques tressées reliées

aux raccords d'extrémité conducteurs. Il est important que chaque fil de liaison ou hélice de renfort soit solidement connecté aux raccords d'extrémité. Il convient que les connexions entre les fils de liaison et les raccords soient robustes et que la résistance entre les raccords d'extrémité soit soumise à des essais périodiques. La fréquence et le type d'essai dépendent de l'application et il convient de les déterminer en concertation avec le fabricant.

7.7.3.3.2 Elimination des éléments conducteurs isolés électriquement

Les éléments de tuyaux conducteurs incluent généralement des raccords d'extrémité, des colliers de serrage (serre-câbles), des hélices de renfort, des fils incorporés et des gaines tressées.

- a) Raccords d'extrémité: les raccords sont reliés par un élément de flexible (antistatique) conducteur ou dissipatif afin de satisfaire aux exigences de résistance entre extrémités.
- b) Colliers de serrage: il convient d'éviter l'utilisation de colliers de serrage métalliques isolés pour les systèmes transportant des liquides inflammables, car ils peuvent être portés à un potentiel élevé en raison des courants de charge présents dans le tuyau et ainsi constituer une source d'inflammation potentielle.
- c) Hélices de renfort, fils de liaison et gaines tressées: en l'absence de doublure interne conductrice ou dissipative, ces objets peuvent se charger en raison de l'écoulement du liquide. La capacité de ces composants étant généralement élevée, il peut se produire des énergies de décharge significatives lorsqu'ils sont isolés. Etant donné que la seule disposition généralement prise pour la mise à la terre/mise au potentiel s'effectue via les raccords d'extrémité, il est particulièrement important de s'assurer que chaque composant est solidement relié aux raccords situés aux deux extrémités du tuyau. Il convient de vérifier régulièrement la résistance entre extrémités pour s'assurer que cette liaison demeure intacte. S'il existe plusieurs conducteurs d'extrémité (deux hélices de renfort ou deux fils de liaison souples, par exemple) un contrôle de continuité entre extrémités n'indique pas si tous les conducteurs sont correctement mis au potentiel et le contrôle de continuité doit être complété par un contrôle qualité minutieux au cours de la construction ainsi que d'une inspection visuelle régulière pour s'assurer de l'absence de dommage susceptible de compromettre l'intégrité d'un conducteur. Au cas où un tuyau de cette catégorie présente des signes de détérioration mécanique, il convient de le jeter ou de le reléguer aux applications de manipulation de liquides non inflammables.

7.7.3.3.3 Evitement des décharges aigrettes incendiaires provenant de surfaces isolantes

Cela peut être accompli en utilisant l'une des mesures suivantes:

- a) Utiliser une doublure externe dissipative ou conductrice et/ou une doublure interne reliée aux raccords d'extrémité afin d'éliminer la ou les surfaces isolantes électrisables.
- b) Limiter l'étendue des surfaces isolantes électrisables en maintenant un diamètre de tuyau faible (voir Tableau 3) ou en limitant l'espace entre les spires des hélices de renfort conformément au 6.3.2. Ces limites peuvent ne pas empêcher l'érosion des perforations, en particulier pour les revêtements intérieurs à forte résistivité (en fluoropolymère, par exemple) et/ou épais.

7.7.3.3.4 Evitement des décharges glissantes de surface

Des décharges glissantes de surface peuvent se produire lorsqu'une couche mince de matériau isolant avec un support conducteur est présente et que la tension de claquage de la couche isolante dépasse 4 kV (voir 6.3.4.2). Cette situation peut survenir s'il existe des spires rapprochées d'une hélice de renfort qui ne sont pas en contact direct avec le liquide ou s'il existe une paroi mince avec une gaine tressée externe, mais cela exige l'accumulation d'une densité surfacique de charge importante. Généralement, le matériau de paroi du tuyau est suffisamment conducteur pour que la charge se dissipe à travers la paroi jusqu'à l'hélice de renfort ou la gaine avant que la densité de charge n'atteigne le niveau exigé. Toutefois, cela peut ne pas être le cas avec des flexibles chemisés en fluoropolymère à moins d'utiliser des matériaux en fluoropolymère dissipatifs (chargés de carbone, par exemple) ou lorsque le revêtement possède une tension de claquage qui ne dépasse pas 4 kV.

NOTE Bien qu'une tension de claquage de moins de 4 kV empêche les décharges glissantes de surface, elle peut favoriser des décharges à l'origine de perforations.

7.7.3.3.5 Evitement des décharges provenant de masses isolées de liquide conducteur

Une masse de liquide conducteur peut se charger en électricité à cause du débit si elle est isolée des extrémités mises à la terre du tuyau par des phases gazeuses et que le tuyau possède une surface interne isolante. Une masse de liquide électrisée est susceptible de créer une étincelle incendiaire lorsqu'elle s'approche d'un raccord d'extrémité mis à la terre. Ce scénario peut être évité en utilisant un revêtement de flexible intérieur conducteur ou dissipatif relié à des raccords d'extrémité ou, pour les tuyaux jusqu'à environ 200 mm (8 pouces) de diamètre, en utilisant un tuyau avec un garnissage de faible épaisseur (≤ 1 mm) et une hélice de renfort avec un pas de 10 mm ou moins.

7.7.3.4 Classifications pratiques de tuyaux

Il convient que les tuyaux portent un marquage clair afin d'éviter l'utilisation d'un type de tuyau inadéquat. L'ISO 8031 définit six classes pratiques de tuyaux avec trois subdivisions parmi les classes conductrices et antistatiques. Les limites de nomenclature et de résistance pour les classes de tuyaux, qui diffèrent de celles figurant dans les éditions antérieures de l'ISO 8031, sont récapitulées dans le Tableau 16.

NOTE Les tuyaux sont généralement fournis complets avec des raccords d'extrémité qui constituent une partie critique du chemin de dissipation statique. Pour ces raisons, la classification des classes de tuyaux donnée dans l'ISO 8031 couvre uniquement les ensembles complets équipés de raccords d'extrémité.

Dans l'ISO 8031, les limites frontières de résistance données pour chaque classe de tuyau s'appliquent à une variété de mesures de résistance comme cela est décrit dans le présent document pour les différents types. Lorsqu'elles s'appliquent à la résistance entre extrémités, ces limites peuvent être utilisées pour rapporter chaque classe aux catégories de dissipation données dans le Tableau 15. Le Tableau 16 contient une liste de catégories de dissipation pour chaque classe de tuyau.

Tableau 16 — Classification ISO 8031 des classes de tuyaux

Classes ISO 8031			Catégorie de dissipation statique IEC 60079-32-1
ID classe	Nom/description	Résistance R par ensemble entre les raccords d'extrémité ¹⁾	
M	<u>Mise au potentiel électrique</u> Au moins deux fils de liaison métalliques souples avec ou sans hélice métallique.	$R < 100 \Omega$	Conducteur
-	<u>Mise au potentiel électrique continue</u> Une ou plusieurs hélices métalliques reliées électriquement aux deux raccords d'extrémité.	$R < 100 \Omega$	Conducteur
Ω	<u>Conducteur</u> Incorporation de couche(s) en caoutchouc ou en plastique conductrice(s).	$R < 1 \text{ M}\Omega$	Conducteur
Ω-L	Conducteur uniquement sur la doublure interne.		ou
Ω-C	Conducteur seulement sur la doublure externe.		Dissipatif
Ω-CL	Revêtements externe et interne conducteurs.		
Ω	<u>Antistatique</u>	$1 \text{ k}\Omega \leq R \leq 100 \text{ M}\Omega$	Dissipatif

Classes ISO 8031			Catégorie de dissipation statique IEC 60079-32-1
ID classe	Nom/description	Résistance R par ensemble entre les raccords d'extrémité ¹⁾	
Ω-L	Incorporation de couche(s) en caoutchouc ou en plastique antistatique(s). Antistatique uniquement sur la doublure interne.		ou Isolant
Ω-C	Antistatique seulement sur la doublure externe.		
Ω-CL	Revêtements externe et interne antistatiques.		
-	<u>Isolant</u>	100 MΩ < R	Isolant
-	<u>Discontinué</u>	10 kΩ < R	Dissipatif ou Isolant
NOTE Des informations plus complètes concernant la classification et les méthodes d'essai appropriées pour les différents types de tuyaux spécifiés dans ce tableau sont données dans l'ISO 8031.			

Les flexibles antistatiques (classe Ω) sont habituellement utilisés dans les applications automobiles, ainsi que dans les flexibles chemisés en fluoropolymère. Dans ces applications ainsi que dans celles qui ne produisent pas de niveaux très élevés de charge électrostatique, la limite de 100 MΩ constitue une borne supérieure adéquate pour la plage dissipative. Cependant, lorsque les niveaux de génération de charges peuvent dépasser 10 μA, les tuyaux avec des résistances allant jusqu'à 100 MΩ peuvent ne pas être capables de dissiper les charges de manière sûre (voir 7.7.3.5, c)).

Outre la résistance entre extrémités, d'autres exigences sont nécessaires pour éviter les décharges aigrettes dangereuses et les décharges glissantes de surface (voir 7.7.3.3.3 et 7.7.3.3.4). La résistance entre extrémités n'est donc pas toujours le seul critère d'adaptabilité des tuyaux.

Certaines méthodes de construction de tuyaux hybrides fournissent une mise au potentiel électrique ainsi que des revêtements internes ou externes conducteurs ou (dissipatifs) statiques. Cette combinaison est utilisée, par exemple, dans le cas où les exigences de mise à la terre de l'équipement nécessitent une mise au potentiel électrique, mais que le processus nécessite une doublure interne épaisse qui, si elle était en matériau isolant, est susceptible d'entraîner des décharges internes. Ces conceptions hybrides ne sont pas adaptées aux classes définies dans l'ISO 8031 et le Tableau 16, mais peuvent être décrites par les classes hybrides définies dans le Tableau 17 qui fournissent des informations utiles pour le choix ou la spécification des tuyaux dans le cadre d'applications spécifiques.

Tableau 17 — Classes hybrides de tuyaux et flexibles

Classification hybride selon l'ISO 8031			IEC 60079-32-1
Classe hybride	Nom	Résistance R par ensemble entre les raccords d'extrémité	Catégorie de dissipation statique
M/Ω-L	Mise au potentiel avec doublure interne conductrice/antistatique.	$R < 100 \, \Omega$	Conducteur
M/Ω-C	Mise au potentiel avec doublure externe conductrice/antistatique.	$R < 100 \, \Omega$	Conducteur
M/Ω-CL	Mise au potentiel avec revêtements externe et interne conducteurs/antistatiques.	$R < 100 \, \Omega$	Conducteur

La sécurité des classes de tuyaux hybrides ne peut pas être prédite en se fondant uniquement sur les mesures de résistance entre extrémités. Il convient également de prendre en compte d'autres mesures telles que la résistance entre la doublure interne et les raccords d'extrémité (voir ISO 8031).

7.7.3.5 Propriétés et utilisation des classes de flexibles ISO 8031

- a) Mise au potentiel électrique (classe M), flexibles avec mise au potentiel électrique continue: les flexibles avec mise au potentiel électrique (classe M) et les flexibles avec mise au potentiel électrique continue comportent une mise au potentiel entre extrémités métalliques. Il convient de procéder à des contrôles de continuité ainsi qu'à des inspections visuelles périodiques conformément au 7.7.3.3.2 pour éviter qu'un ou que plusieurs composants de mise au potentiel (c'est-à-dire un fil de liaison, une hélice de renfort ou une gaine) ne puissent être isolés électriquement.

Généralement, ces classes de tuyaux empêchent les décharges aigrettes incendiaires décrites au 7.7.3.3.3 et un flexible bien entretenu ne présente dans ce cas aucun danger d'inflammation électrostatique. Toutefois, dans certains types de flexibles mis au potentiel (flexibles chemisés en fluoropolymère [PTFE] ou flexibles possédant des revêtements internes inhabituellement épais ou espaces importants situés entre des éléments conducteurs, par exemple), la mise au potentiel électrique à elle seule n'est pas suffisante pour empêcher l'apparition de tensions dangereuses ou nuisibles sur l'une des surfaces isolantes. Dans ce cas, il convient d'utiliser des tuyaux de classe hybride M/Ω-L ou M/Ω-CL avec doublures internes dissipatives plutôt que des tuyaux de classe M pure. La mise au potentiel électrique du flexible assure la continuité électrique entre les parties de l'équipement auquel il est raccordé, tandis que la propriété dissipative de la doublure empêche l'accumulation de charges dangereuses sur les surfaces du flexible.

En raison de leur faible résistance entre extrémités, les flexibles de classe M, M/Ω-L ou M/Ω-CL peuvent conduire des courants vagabonds et engendrer un danger d'inflammation si les courants vagabonds sont interrompus (lorsque le flexible est déconnecté, par exemple). Lorsque des courants vagabonds peuvent être à l'origine de problèmes, il convient d'utiliser ces flexibles en conjonction avec une bride isolante.

- b) Classe Ω, flexibles conducteurs: les flexibles de classe Ω (conducteurs) comportent des couches conductrices ou dissipatives sur une ou plusieurs des surfaces de flexibles. La classe Ω-L possède une doublure interne conductrice ou dissipative, la classe Ω-C possède une doublure externe conductrice ou dissipative tandis que la classe Ω-CL possède les deux. Il convient que les flexibles conducteurs soient construits de manière à ce que tous les composants conducteurs soient reliés aux raccords d'extrémité avec une résistance par ensemble telle que spécifiée dans le Tableau 16.

La construction des flexibles conducteurs est souvent telle que la continuité électrique ne peut pas être perdue tant que le flexible reste utilisable. La réalisation de contrôles de continuité réguliers est inutile lorsque la continuité électrique est inhérente à la construction du flexible de cette façon.

Comme décrit au 7.7.3.4, il est permis de combiner des revêtements externes ou internes conducteurs/dissipatifs avec la mise au potentiel électrique pour fournir la classification hybride M/ Ω -L, M/ Ω -C et M/ Ω -CL.

- c) Classe Ω , flexibles antistatiques: les flexibles de classe Ω (antistatiques) possèdent une résistance intermédiaire (voir Tableau 16) qui est suffisamment basse pour dissiper les charges électrostatiques en toute sécurité dans la plupart des cas, mais aussi suffisamment élevée pour limiter les courants vagabonds à des niveaux sûrs. Ils diffèrent des flexibles de classe Ω (conducteurs) uniquement dans les limites frontières de résistance même s'il existe un chevauchement considérable entre les plages de résistance et la classe Ω . Les flexibles antistatiques peuvent également appartenir à la classe Ω (conducteurs).

Les courants de charge circulant dans les tuyaux ou les flexibles uniquement peuvent être estimés à partir des correspondances données au A.1.4 (voir aussi NFPA 77) et sont généralement inférieurs à 10 μ A. Lorsque les niveaux de génération de charges peuvent dépasser 10 μ A, les flexibles antistatiques avec des résistances pouvant aller jusqu'à 100 M Ω peuvent ne pas être capables de dissiper les charges de manière sûre. En particulier, les courants de charge immédiatement en aval des éléments de forte charge (tels que les filtres fins haut débit) peuvent être plus importants. Immédiatement en aval de tels appareils et à une distance qui permet de satisfaire aux exigences de temps de résidence données au 7.5, il est préférable d'utiliser des tuyaux conducteurs fixes plutôt que des flexibles. Si un flexible doit être utilisé dans un tel emplacement, les résistances aux limites supérieures de la classe Ω (flexibles antistatiques) peuvent être trop élevées pour dissiper les charges de manière sûre et il convient de les éviter. Dans ce cas, il convient d'utiliser un flexible de classe Ω -L ou Ω -CL (flexibles conducteurs) si les courants vagabonds ne constituent pas un problème ou un flexible satisfaisant aux exigences de la classe Ω -L ou Ω -CL (flexibles conducteurs) et de la classe Ω -L ou Ω -CL (flexibles antistatiques) si les courants vagabonds constituent un problème.

Il convient de limiter le nombre de flexibles interconnectés de classe Ω (antistatiques) dans une chaîne de flexibles pour s'assurer que la résistance de mise à la terre donnée dans le Tableau 16 ne soit pas dépassée à un point de la chaîne, auquel cas il convient de prévoir des points de mise à la terre supplémentaires.

- d) Discontinu: un flexible qui ne possède pas de mise au potentiel entre extrémités conductrices. Généralement, ce type de flexible est constitué de matériau isolant. Il peut comporter des fils métalliques ou des hélices de renfort, mais ces éléments ne sont pas connectés aux raccords d'extrémité.

Lorsque des courants vagabonds peuvent se produire, les flexibles de classe Ω (antistatiques) avec des résistances entre extrémités appartenant à la plage dissipative (voir Tableau 15) sont préférentiels, si disponibles, pour la mise au potentiel électrique étant donné qu'ils assurent une protection contre les étincelles inductives consécutives à l'interruption des courants vagabonds ainsi qu'une protection contre les décharges électrostatiques. Il est permis d'utiliser des flexibles mis au potentiel (classe M ou hybride) lorsque des flexibles antistatiques ne sont pas disponibles. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'insérer une pièce isolante (bride, couplage ou section de tuyau) pour assurer une protection contre les étincelles inductives liées aux courants vagabonds. Après avoir effectué cette opération, il convient de mettre séparément à la terre la chaîne de flexibles d'un côté de la pièce isolante.

Il convient de ne pas utiliser les flexibles isolants lorsqu'une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente.

Le Tableau 18 récapitule les applications pour lesquelles chaque type de flexible peut être utilisé.

Tableau 18 — Tableau de choix des flexibles pour les applications de manipulation de liquides inflammables

Classe	Construction	Liquides de conductivité élevée ($> 10\,000\text{ pS/m}$)	Liquides de conductivité faible et moyenne ($< 10\,000\text{ pS/m}$)
-	Métal souple	Acceptable	Acceptable
M	Mise au potentiel électrique	Généralement acceptable ^a	Généralement acceptable ^{d,e}
-	Mise au potentiel électrique continue	Généralement acceptable ^a	Généralement acceptable ^{d,e}
Ω-L	Doublure interne conductrice	Acceptable	Acceptable
Ω-C	Doublure externe conductrice	Revoir chaque application ^a	Revoir chaque application ^d
Ω-CL	Doublures interne et externe conductrices	Acceptable	Acceptable
Ω-L	Doublure interne antistatique	Acceptable	Généralement acceptable ^f
Ω-C	Doublure externe antistatique	Revoir chaque application ^a	Revoir chaque application ^{d,f}
Ω-CL	Doublures interne et externe antistatiques	Acceptable	Généralement acceptable ^f
M/Ω-L	Hybride avec doublure interne conductrice et mise au potentiel	Acceptable	Acceptable
M/Ω-C	Hybride avec revêtement externe conducteur et mis au potentiel	Revoir chaque application ^a	Généralement acceptable ^d
M/Ω-CL	Hybride avec doublures interne et externe conductrices et mises au potentiel	Acceptable	Acceptable
M/Ω-L	Hybride avec doublure interne antistatique et mise au potentiel	Généralement acceptable	Généralement acceptable ^{d,f}
M/Ω-C	Hybride avec revêtement externe antistatique et mis au potentiel	Généralement acceptable	Généralement acceptable ^d
M/Ω-CL	Hybride avec revêtements intérieur et extérieur antistatiques et mis au potentiel	Généralement acceptable	Généralement acceptable ^{d,f}
-	Isolant	Interdit	Interdit
-	Discontinu	Généralement interdit ^{b,c}	Généralement interdit ^{b,c}

Classe	Construction	Liquides de conductivité élevée ($> 10\,000\text{ pS/m}$)	Liquides de conductivité faible et moyenne ($< 10\,000\text{ pS/m}$)
a	Acceptable uniquement si une colonne continue de liquide de conductivité élevée circule dans le flexible. Des dangers peuvent survenir si la colonne est divisée en segments isolés par des phases gazeuses isolantes, si la résistance de la paroi est très élevée (revêtements intérieurs épais ou en fluoropolymère, par exemple) et si la capacité au conducteur incorporé est faible (revêtement intérieur épais, grands espaces entre les conducteurs de mise au potentiel). Il est permis de diminuer les dangers survenant dans ces conditions en utilisant un débit lent (1 m/s) jusqu'à ce que la colonne liquide soit continue ou en utilisant un revêtement intérieur plus conducteur.		
b	La sécurité des flexibles discontinus ne peut pas être assurée en se basant sur les données de résistance seules. Les détails de la construction de tuyau doivent être pris en compte. Dans des cas particuliers, un fonctionnement en toute sécurité peut être possible.		
c	Pour les applications marines, des longueurs simples de flexible marin isolant (ce qui correspond à la classe ISO 8031 pour les flexibles continus) sont acceptables en lieu et place d'une bride isolante selon les spécifications de l'ISGOTT.		
d	Des dangers peuvent survenir si la résistance du revêtement intérieur est très élevée (revêtements intérieurs épais ou en fluoropolymère, par exemple) et si la capacité au conducteur incorporé ou au revêtement extérieur conducteur est faible (revêtement intérieur épais, grands espaces entre les conducteurs de mise au potentiel). Il est permis de diminuer les dangers en utilisant un revêtement intérieur plus conducteur ou une classe hybride (M/ Ω -L ou M/ Ω -CL, par exemple).		
e	Les tuyaux comportant des fils incorporés ou des hélices de renfort externes sont utilisés dans les applications pétrolières (livraisons par camions, par exemple) depuis plusieurs années sans que des problèmes aient été reportés. Cependant, des problèmes se sont produits avec les revêtements internes à très forte résistivité tels que les revêtements en PTFE. Il est donc recommandé d'utiliser les matériaux de revêtements internes possédant une résistance très élevée uniquement après avoir effectué une évaluation approfondie des risques.		
f	Les flexibles antistatiques de classes Ω -L et Ω -CL sont acceptables dans la plupart des cas, mais il convient de les éviter immédiatement en aval des appareils de forte charge (tels que les filtres fins haut débit) qui peuvent générer des courants de plus de $10\text{ }\mu\text{A}$. En cas de doute, il convient de spécifier une résistance d'essai satisfaisant à la norme de la classe Ω (flexibles conducteurs) ou aux normes des classes conductrices et antistatiques.		

7.8 Procédures de remplissage particulières

7.8.1 Avitaillement d'avions

7.8.1.1 Généralités

Les avions sont le plus souvent avitaillés en carburant au moyen de systèmes d'avitaillement mobiles ou d'oléoréseaux via des distributeurs mobiles. Les aéroports de faibles dimensions utilisent généralement des systèmes de pompes (semblables à celles des stations-service) tandis que les aéroports éloignés peuvent avitailler les avions par fûts. Les transferts de carburant sont effectués via les flexibles en caoutchouc et les dangers d'inflammation liés à l'électricité statique peuvent survenir pendant ces opérations. La charge peut être générée sur le carburant dans le circuit d'alimentation ou le réservoir de l'avion, qui est normalement de construction métallique même si les avions futurs utilisent des matériaux composites pour les réservoirs de carburant, les composants des ailes, etc. Les circuits d'avitaillement d'avion comportent toujours soit un filtre moniteur, soit (moins répandu) un filtre séparateur d'eau.

NOTE Les exigences complètes concernant l'avitaillement d'avions sont fournies dans l'API/IP RP 1540.

Bien qu'elles ne constituent pas un danger électrostatique, des étincelles dues à des courants vagabonds provenant, par exemple, d'installations électriques ou de systèmes de protection cathodique, sont susceptibles de se produire lors du montage/démontage de raccords du flexible. Il convient que les précautions prises contre les inflammations liées à l'électricité statique soient cohérentes avec les précautions prises pour éviter ces étincelles. Les conceptions de flexibles sont données dans l'EN 1361.

7.8.1.2 Flexibles

Il convient que les flexibles utilisés pour l'avitaillement d'avions soient normalement du type dissipatif (voir 7.7.3.2) pour dissiper les charges électrostatiques tout en limitant les courants vagabonds. Les flexibles (conducteurs) avec mise au potentiel électrique peuvent être utilisés, cependant, dans quelques applications spécifiques (côté aspiration d'une pompe où la présence d'une hélice métallique peut résister à la destruction du flexible, par exemple). Pour les systèmes d'avitaillement, il convient que le flexible qui connecte le coupleur d'entrée au distributeur de la citerne soit dissipatif; il convient que les flexibles avec mise au potentiel ne soient pas admis.

7.8.1.3 Mise à la terre et mise au potentiel

7.8.1.3.1 Généralités

Il convient que tous les composants d'avitaillement métalliques du véhicule d'avitaillement (châssis, citerne, filtre, compteur, canalisations, équipement d'échantillonnage, bobine de mise au potentiel, par exemple) aient un bon contact électrique entre eux. Il convient que la continuité électrique soit bonne dans le système d'avitaillement.

Il convient d'établir constamment une connexion de mise au potentiel entre l'avion et le véhicule d'avitaillement avant de raccorder les tuyaux de remplissage. Conformément aux règles de l'aviation, il convient que la résistance globale du câble de liaison soit inférieure à 25 Ω . Il convient qu'il reste en place jusqu'à ce que l'avitaillement soit terminé et que les tuyaux soient déconnectés. Il convient que les cosses de mise au potentiel de l'avion soient toujours utilisées. L'utilisation d'autres parties métalliques de l'avion (tubes de Pitot, trappes de train d'atterrissage, etc.) est strictement interdite par les lignes directrices du secteur de l'aviation (à l'exception de l'avitaillement par l'extrados – voir ci-dessous).

Il convient qu'il existe une liaison directe entre l'orifice de ravitaillement de l'avion et l'extrémité métallique du flexible d'avitaillement. Pour l'avitaillement par l'intrados, cette connexion est fournie par le contact métal sur métal entre le raccord d'extrémité du flexible et la prise d'avitaillement de l'avion. Pour l'avitaillement par l'extrados, cette connexion est établie en maintenant la buse de ravitaillement en contact avec l'orifice métallique pendant l'avitaillement. Il est permis d'utiliser un fil de liaison distinct entre la buse et l'orifice même si cette disposition n'est pas toujours possible compte tenu de l'absence de point de connexion adapté. Lorsqu'un fil de liaison de buse n'est pas utilisé, il convient d'appliquer le débit de remplissage maximal de 200 l/min.

D'après les lignes directrices du secteur de l'aviation, l'utilisation d'un entonnoir est strictement interdite pour l'avitaillement par l'extrados, car l'entonnoir compromet la sélectivité de classe de la buse de ravitaillement.

Dans certains cas, la mise à la terre est exigée par l'autorité aéroportuaire. Lorsque cela est possible, la mise à la terre n'est pas recommandée étant donné les problèmes potentiels causés par la présence de plusieurs points de mise à la terre, boucles de terre et courants de circulation. Lorsque la mise à la terre doit être employée, il convient de mettre à la terre le véhicule d'avitaillement soit avec un câble groupé au câble de liaison soit avec un câble de mise à la terre distinct relié à la bobine de mise au potentiel du véhicule.

Pour l'avitaillement par fûts, il convient de suivre les mêmes procédures que pour les autres modes d'avitaillement par l'extrados. En particulier, il est nécessaire de relier la pompe vide-fût à l'avion et au fût. L'utilisation de conteneurs de dimensions inférieures à des fûts d'une capacité nominale de 200 l n'est pas permise avec des carburants aviation.

7.8.1.3.2 Vitesses d'écoulement

Il convient que la vitesse d'écoulement maximale dans les flexibles d'avitaillement de l'avion ne dépasse pas 7 m/s pour les carburants ayant une conductivité supérieure ou égale à 50 pS/m ou 5 m/s pour les carburants ayant une conductivité inférieure à 50 pS/m. Le plus

grand soin doit être pris afin de s'assurer qu'il existe un temps de résidence suffisant en aval des filtres (voir 7.5.1).

7.8.2 Livraisons par camions-citernes

Les livraisons par camions-citernes se font via un dévidoir ou des flexibles qui utilisent la gravité ou des pompes sur le véhicule. Les dangers d'inflammation électrostatique peuvent être la conséquence d'étincelles provenant de conducteurs isolés (raccords de flexibles ou camion-citerne entier, par exemple), de décharges aigrettes provenant de flexibles non conducteurs ou de décharges aigrettes au sein du réservoir de réception.

Les précautions suivantes sont recommandées:

- a) Il convient d'utiliser des flexibles conducteurs ou mis au potentiel correctement conçus (voir 7.7.3);
- b) S'assurer que le camion ainsi que tous les raccords métalliques sont reliés à la citerne remplie. Les flexibles recommandés assurent la mise au potentiel exigée, ce qui rend inutile toute mise au potentiel supplémentaire distincte. Si les normes de la société exigent une mise au potentiel distincte, il convient de les connecter avant le raccordement des flexibles (voir 7.3.2.3.3 1b);
- c) Pour les livraisons par tuyaux mobiles, lors du branchement du camion au réservoir de réception, commencer par relier le tuyau mobile au tuyau de remplissage de la citerne et, avant de procéder au raccordement du tuyau mobile au camion, égaliser les potentiels en mettant le raccord d'extrémité du tuyau mobile en contact avec une partie métallique du camion;
- d) Pour les livraisons par dévidoir, mettre le raccord d'extrémité ou la buse du flexible en contact avec une partie métallique du réservoir de réception, des conduites ou des raccords avant d'introduire la buse ou de procéder à un raccordement. Il convient de procéder à ce contact initial à distance de toute région, telle que la proximité immédiate de l'orifice de refoulement de la citerne, où des traces résiduelles de vapeur inflammable peuvent être présentes;
- e) Sous réserve que les vitesses d'écoulement sûres maximales pour les citernes de moyennes dimensions ne soient pas dépassées (voir 7.3.2.3.3), il est peu probable qu'il existe un danger d'inflammation dans la citerne. Si le liquide contient une seconde phase, il convient de restreindre la vitesse d'écoulement à 1 m/s;
- f) Il convient de vérifier régulièrement la continuité et l'état mécanique des tuyaux mis au potentiel (voir 7.7.3.3).

7.8.3 Stations-service

7.8.3.1 Généralités

Les opérations de manipulation de carburant dans les stations-service impliquent la livraison de carburant dans des réservoirs souterrains à la borne (généralement par camions-citernes), ainsi que la distribution de carburant dans les véhicules des clients à partir des réservoirs souterrains. Des feux instantanés déclenchés par l'électricité statique se sont produits pendant les opérations de livraison de carburant dans les réservoirs souterrains et de distribution dans les véhicules clients.

La production d'atmosphères explosives pendant les opérations de livraison et de distribution dépend du type de carburant. Comme le point d'éclair du carburant diesel est d'au moins 58 °C, les vapeurs de diesel sont habituellement trop faibles pour s'enflammer à des températures ambiantes même si les lignes de retour de diesel chaud du véhicule peuvent parfois générer une atmosphère explosive dans la citerne du véhicule. Cependant, certains pays autorisent le carburant diesel possédant un point d'éclair considérablement inférieur. Dans ces pays, les vapeurs diesel peuvent produire des mélanges inflammables à des températures ambiantes élevées.

En revanche, les mélanges de vapeur d'essence sont généralement trop riches pour s'enflammer dans des endroits clos comme les réservoirs de carburant mais peuvent passer dans la plage explosive lorsque le mixage à l'air neuf est possible (par exemple, lors du ravitaillement en essence d'un véhicule, il existe toujours un endroit près de l'orifice de remplissage où la richesse du mélange est à son point d'inflammabilité optimale et une décharge électrostatique à proximité de l'orifice de remplissage peut alors déclencher un incendie voire brûler la personne qui fait le plein du véhicule). Les mélanges éthanol-essence à des concentrations élevées d'éthanol peuvent produire des atmosphères explosives en réservoirs fermés à des températures ambiantes normalisées même si ces carburants sont moins susceptibles de se charger en électricité statique du fait de leur conductivité élevée.

Sur la base des renseignements ci-dessus, des atmosphères explosives peuvent se produire dans les situations suivantes:

- à l'intérieur des tuyaux vidangés ou des réservoirs d'essence-éthanol (par exemple, E85);
- à l'intérieur des tuyaux d'essence lorsque de l'air s'introduit dans les tuyaux au moment où ils sont déconnectés après une livraison;
- autour des orifices de remplissage d'essence pendant le ravitaillement;
- à l'extérieur des tuyaux d'essence ou d'essence-éthanol du fait de fuites ou de débordements, en particulier dans les "puisards" ou les "caissons de remplissage" souterrains fermés où les tuyaux souterrains sont raccordés aux citernes ou aux tuyaux des camions. Les tuyaux d'essence et de diesel sont souvent abrités dans le même caisson de remplissage, où une fuite de la canalisation d'essence est à même de produire une atmosphère explosive pouvant être enflammée pendant un avitaillement en diesel.

Le carburant dans les stations-service va des mélanges d'hydrocarbures de conductivité faible sans additif électrostatiquement dissipatif (SDA) aux mélanges de conductivité élevée constitués de biocomposants oxygénés (éthanol, par exemple) et d'hydrocarbures. Même avec les carburants de conductivité faible, les débits sont suffisamment faibles pour empêcher la génération de potentiels dangereux par l'accumulation de charges sur le liquide dans les réservoirs de stockage souterrains ou dans les réservoirs de carburant des véhicules clients.

Cependant, si certains conducteurs associés aux opérations (par exemple, buse de remplissage, raccords de tuyaux, véhicule avitaillé, col de remplissage ou personne) sont isolés électriquement, l'accumulation de charges sur l'élément isolé peut ensuite donner lieu à des décharges d'allumage incendiaires. En outre, les charges qui s'accumulent sur les tuyaux isolants ou d'autres composants isolants du système de manipulation peuvent produire des décharges aigrettes incendiaires. Une inflammation peut survenir si l'une de ces décharges produit dans une atmosphère explosive (voir ci-dessus). Il convient de prendre les précautions données au 7.8.3.2 et au 7.8.3.3 pour éviter des inflammations électrostatiques lors de la livraison de carburant dans les réservoirs souterrains et lors de la distribution de carburant dans les véhicules clients respectivement.

7.8.3.2 Livraison de carburant dans les réservoirs souterrains

7.8.3.2.1 Systèmes équipés de tuyaux en métal

- a) Il convient de mettre à la terre toutes les sections de tuyaux d'une manière qui ne risque pas d'introduire des courants de défaut électrique dans la tuyauterie (en choisissant une résistance d'isolement adéquate, par exemple).
- b) Il convient de vérifier régulièrement la mise à la terre.
- c) Il convient d'utiliser des équipements (tels que les filtres fins) pouvant augmenter l'électrification du carburant uniquement si le temps de relaxation est suffisant dans le tuyau conducteur.

7.8.3.2.2 Systèmes équipés de tuyaux en plastique

Les tuyaux en plastique sont de plus en plus utilisés pour la livraison de carburant à partir de wagons-citernes dans des réservoirs souterrains et à partir de réservoirs souterrains dans les

distributeurs, mais aussi pour les événements et conduites de récupération de vapeur parce qu'ils offrent une résistance à la corrosion et un confinement secondaire améliorés.

NOTE Des exigences spécifiques concernant la tuyauterie thermoplastique et métallique flexible pour cette application sont fournies dans l'EN 14125.

Deux principaux types de systèmes à base de tuyaux en plastique sont utilisés: les tuyaux "non conducteurs" (isolants) et les tuyaux "conducteurs" (tuyaux non conducteurs qui incorporent des doublures internes dissipatives coextrudées). Les systèmes types à base de tuyaux en plastique utilisent des connecteurs qui incorporent des serpentins chauffants métalliques (raccords par électrosoudage ou EFC) pour raccorder et sceller les longueurs de tuyaux et les joints. Ces EFC peuvent avoir une capacité installée comprise entre 5 pF et 30 pF par installation. Les tuyaux en plastique comportent normalement une doublure interne coextrudée pour empêcher l'infiltration du carburant. Pour les tuyaux qui possèdent également un revêtement intérieur dissipatif, le revêtement intérieur dissipatif est généralement celui situé le plus à l'intérieur.

Les risques spécifiques à ces types de systèmes incluent:

- a) Le débit carburant peut provoquer une électrisation importante des carburants de conductivité faible ou moyenne. Par conséquent:
 - i) Pour les tuyaux entièrement isolants ("non conducteurs"):
 - 1) Des tensions élevées peuvent s'accumuler sur les parois des tuyaux non enterrés ou sur les connecteurs non mis à la terre associés.
 - 2) Des décharges peuvent se produire sur la surface interne d'un tuyau électrisé. Le point de remplissage où est branché le tuyau du camion constitue un point critique à ce propos, car les décharges au niveau des connecteurs ou raccords mis à la terre ou à partir de surfaces en plastique faiblement à fortement électrisées peuvent engendrer une inflammation en cas de pénétration d'air lors du débranchement.
 - 3) Les champs électrostatiques résultant de l'accumulation de charges sur la paroi du tuyau peuvent engendrer des tensions élevées sur les EFC et outils conducteurs situés à proximité, ainsi que les autres éléments situés à l'extérieur des tuyaux tout en produisant des décharges d'allumage sur les éléments conducteurs mis à la terre situés à proximité.
 - 4) Des champs électriques élevés sont susceptibles de se produire dans les parois des tuyaux enterrés, ce qui peut entraîner des risques de claquage et de perforation par les décharges électrostatiques.
 - ii) Pour les tuyaux isolants comportant des revêtements internes dissipatifs ("tuyaux conducteurs"):
 - 1) La charge ne peut pas s'accumuler si le revêtement intérieur est mis à la terre et que le blindage fourni par un revêtement intérieur mis à la terre réduit le plus possible le risque de tensions élevées liées au débit sur les conducteurs associés (tels que les EFC).
 - 2) Cependant, des tensions peuvent s'accumuler sur les sections du revêtement intérieur non mises à la terre ou sur les connecteurs qui y sont associés.
- b) L'électrisation par frottement sur les surfaces externes du tuyau isolant peut donner lieu à des décharges aigrettes.
- c) L'utilisation conjointe de tuyaux isolants et conducteurs dans un système peut conduire à l'isolation de parties conductrices. Cela n'est acceptable que si l'ensemble des parties conductrices sont certaines d'être mises à la terre. Il convient de porter une attention particulière à la mise à la terre des brides, des raccords et des clips métalliques sur des segments isolants et à la mise à la terre du revêtement intérieur des segments conducteurs.
- d) Lorsque des tuyaux sont installés au cours de la maintenance d'un système, lorsqu'une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente, des risques spécifiques peuvent

apparaître. Les tuyaux conducteurs et isolants peuvent se charger pendant leur manipulation et transmettre des décharges potentiellement incendiaires.

- i) Pour les tuyaux isolants, des décharges aigrettes incendiaires provenant de la surface externe du tuyau sont possibles.
- ii) Pour les tuyaux comportant des revêtements intérieurs dissipatifs, la charge superficielle accumulée peut engendrer une tension élevée sur un revêtement intérieur qui n'a pas été mis à la terre par erreur, ce qui peut entraîner des chocs pour les personnes ainsi que des décharges incendiaires.

L'amorçage en tension sur les tuyaux isolants en raison de l'électrification du carburant dépend de la vitesse d'écoulement, du volume de remplissage et de la longueur des sections enterrées, mais aussi des propriétés du tuyau et du carburant. La variabilité de ces caractéristiques d'électrification et l'écart des caractéristiques de dissipation de charge avec l'ancienneté et la température ne sont toujours pas bien compris. Par conséquent, il convient d'appliquer des marges de sécurité larges pour la dissipation jusqu'à ce que les caractéristiques de charge les plus défavorables soient mieux connues.

Il existe néanmoins une importante base installée de tuyaux et peu d'incidents ont été reportés, ce qui rend les pratiques existantes largement acceptables avec les carburants actuels. Pourtant, il n'est pas possible d'établir avec certitude si les pratiques existantes continueraient à fournir les marges de sécurité adéquates si l'utilisation croissante de biocomposants oxygénés dans l'essence devait entraîner une génération de charge plus importante.

NOTE Des indications montrent qu'au moins certains éthers et esters sont enclins à une génération de charge plus importante que les hydrocarbures.

Afin d'empêcher la génération de charge électrostatique excessive et l'amorçage en tension sur les parois du tuyau, les vannes et les raccords, les précautions suivantes sont recommandées:

1) Tuyaux en plastique isolants:

- a) Pour éviter la perforation, il convient que les tuyaux en plastique isolants aient une tension de claquage électrique sur toute la longueur de plus de 100 kV, mesurée selon l'IEC 60243-2. Une couche de polyéthylène d'au moins 4 mm d'épaisseur dépasse généralement cette tension de claquage.
- b) Il convient que les EFC non enterrés soient durables et solidement mis à la terre ou scellés au moyen de joints hermétiques.
- c) Il convient de mettre à la terre toutes les autres parties conductrices des tuyaux ou joints.
- d) Il convient de vérifier régulièrement la mise à la terre de tous les éléments conducteurs et dissipatifs.
- e) Il convient que les sections de tuyaux en plastique entièrement isolants soient les plus courtes possible.
- f) Il convient de limiter les débits de carburant à $< 2,8$ m/s.

NOTE L'introduction future possible de biocomposants peut modifier le comportement d'électrification du carburant.

- g) La mise à la terre de la majorité des tuyaux par enfouissement contribue de manière significative au fonctionnement sans danger du système. Par conséquent, après toute installation ou réparation, il convient de ne pas introduire de liquide dans un tuyau tant que l'enfouissement sous terre de toutes les sections censées être enterrées n'a pas été confirmé.
- h) Il convient d'utiliser les équipements (tels que les filtres fins) pouvant augmenter l'électrification du carburant uniquement dans le cadre d'une évaluation approfondie des dangers probables.
- i) Il convient que le point de remplissage où est branché le tuyau du camion utilise une vanne de connexion de sécurité, de préférence un système verrouillé qui empêche l'air

de pénétrer dans le circuit et de se mélanger aux vapeurs de carburant (par exemple, une vanne qui est fermée avant la déconnexion du flexible et du tuyau).

- j) Il convient de réduire le plus possible l'exposition des tuyaux et des joints dans les puisards, où des vapeurs inflammables sont susceptibles de s'accumuler.
 - k) Il convient que les personnes évitent de toucher les surfaces externes des tuyaux, où une vapeur inflammable peut être présente.
 - l) Pendant la maintenance du système, il convient d'éviter d'introduire un tuyau fortement électrisé dans une atmosphère inflammable.
- 2) Tuyaux en plastique comportant des revêtements internes dissipatifs:
- a) Il convient de mettre à la terre les revêtements internes. Les revêtements internes dissipatifs mis à la terre évitent les décharges internes et protègent les conducteurs externes contre l'électrisation par écoulement.
 - b) La mise à la terre peut être réalisée en procédant à une connexion adéquate des raccords internes dissipatifs aux prises de mise à la terre externes.
 - c) Il convient de vérifier régulièrement la mise à la terre de tous les éléments conducteurs et dissipatifs.
 - d) Il convient d'utiliser les équipements (tels que les filtres fins) pouvant augmenter l'électrisation du carburant uniquement dans le cadre d'une évaluation approfondie des dangers probables.
 - e) Pendant la maintenance du système, il convient d'éviter d'introduire un tuyau fortement électrisé dans une atmosphère inflammable. Il convient de mettre à la terre les revêtements intérieurs dissipatifs avant d'introduire le tuyau dans une atmosphère inflammable et il convient de maintenir la liaison à la terre pendant l'opération de raccordement, jusqu'à ce que le revêtement intérieur soit solidement mis à la terre via le système installé.
 - f) Il convient que les personnes évitent de toucher les surfaces externes des tuyaux, où une vapeur inflammable peut être présente.

7.8.3.3 Distribution de carburant dans les véhicules clients

Il convient de prendre les précautions suivantes:

- a) Il convient de mettre la pompe correctement à la terre.
 - b) Il convient d'utiliser des flexibles conducteurs ou mis au potentiel correctement conçus (voir 7.7.3.2) pour connecter la buse à la pompe. Il convient que la buse de remplissage à la résistance de mise à la terre via le flexible soit inférieure à 1 M Ω pour les flexibles conducteurs et inférieure à 100 Ω pour les flexibles mis au potentiel. Des exigences complètes peuvent être trouvées dans l'EN 1360.
 - c) Il convient que les surfaces des zones de service aient une résistance de fuite à la terre inférieure à 100 M Ω , mesurée en atmosphère sèche avec une humidité relative inférieure à 50 % pour permettre la mise à la terre des véhicules par leurs pneumatiques.
 - d) Il convient que la surface dissipative de la zone de service soit suffisamment grande pour s'assurer que les quatre pneumatiques d'un véhicule privé sont en contact avec la zone dans toutes les positions de remplissage.
 - e) Il convient que la poignée de la buse de remplissage soit en matériaux conducteurs ou dissipatifs de sorte que la mise à la terre de la personne chargée du ravitaillement en carburant soit effectuée lors du processus de ravitaillement.
- NOTE Pour éviter les chocs électrostatiques, les matériaux dissipatifs sont préférables.
- f) Si la buse de remplissage est équipée d'un appareil à clapet ouvert, il convient que ce dernier respecte les exigences locales pouvant exister en matière de coupure automatique.
 - g) En général, pour les véhicules, il convient que la résistance entre une buse de remplissage normalisée insérée dans le col de remplissage et une plaque métallique sur laquelle chaque pneumatique repose successivement ne dépasse pas 10 G Ω

lorsque tous les autres pneumatiques reposent sur une surface isolante. Pour les pneumatiques à utiliser en zones dangereuses, la limite frontière est réduite à 1 MΩ. Des exigences complètes peuvent être trouvées dans l'ISO 16392 et dans l'ASTM F1971.

- h) Il convient que la conception du véhicule garantisse que des niveaux dangereux de charge ne s'accumulent pas sur les composants plastiques du système de remplissage du véhicule et que les composants métalliques du système de remplissage du véhicule soient mis au potentiel du châssis de manière adéquate. Des exigences complètes peuvent être trouvées dans la SAE J1645.

Ces précautions garantissent la mise à la terre:

- a) de la buse, directement via le flexible conducteur ou dissipatif;
- b) de la personne qui tient l'appareil de remplissage, à moins qu'elle ne porte des gants isolants;
- c) du châssis du véhicule pendant le remplissage, par contact avec la buse et les pneumatiques;
- d) des composants conducteurs du système de remplissage du véhicule par une liaison avec le châssis du véhicule.

L'expérience montre que la mise à la terre via la buse et les pneumatiques est suffisante pour dissiper les quantités relativement faibles de charges générées pendant le remplissage.

NOTE La plupart des incendies qui surviennent pendant le ravitaillement en carburant des véhicules sont provoqués par des personnes électrisées.

7.8.4 Systèmes de manipulation de liquides mobiles ou temporaires

Il convient de porter une attention toute particulière lors de l'utilisation d'équipements temporaires qui ajoutent des filtres ou d'autres restrictions au système. Par exemple, les équipements de mesure portatifs comportent des filtres fins qui protègent les compteurs sensibles. Lors de l'utilisation de tels équipements, il convient de prendre des précautions pour s'assurer que le montage temporaire fournit un temps de résidence adéquat entre l'équipement portatif et les citernes qui sont remplies (voir 7.5) et que toutes les exigences de mise à la terre normalisées sont respectées (voir Article 13).

7.9 Processus industriels (mélange, brassage, mixage, cristallisation et réacteurs agités)

7.9.1 Généralités

Le traitement des liquides ou suspensions (mixage, brassage, mélange ou cristallisation) peut entraîner des risques d'inflammation liés à l'électricité statique. Lorsque ces processus impliquent des liquides de conductivité faible, voire moyenne, la charge est retenue dans la phase liquide continue, sur des matières particulières liquides ou solides en suspension, ou sur tout objet métallique isolé. Si un mélange vapeur/air, un brouillard ou une mousse inflammable est présent, il existe un danger d'inflammation et il convient de suivre de manière appropriée les recommandations données dans les paragraphes 7.9.2 à 7.9.6 pour éviter ce danger.

Les niveaux élevés de génération de charges sont souvent associés aux fluides constitués de deux phases liquides immiscibles ou à un liquide possédant des matières solides en suspension. Par conséquent, les écoulements biphasiques sont soumis à des restrictions de débit supplémentaires. Ces débits minorés sont également exigés en cas de manipulation de liquides "contaminés" qui, dans ce contexte, sont définis en 3.6 comme des liquides comportant plus de 0,5 % par volume d'eau libre ou d'autres liquides immiscibles ou plus de 10 mg/l de matières solides en suspension.

7.9.2 Mise à la terre

Il convient de mettre à la terre et au même potentiel l'ensemble des parties conductrices de l'équipement (voir Article 13).

S'assurer que les personnes travaillant à proximité d'une opération de mélange ne constituent pas un risque d'inflammation en suivant les précautions données à l'Article 11.

7.9.3 Mélange en continu

Dans ce processus, le mixage s'effectue dans un tuyau où les différents constituants sont pompés à des débits prescrits. Il n'existe généralement pas de phase gazeuse où un mélange inflammable peut se produire, et il n'existe par conséquent aucun risque d'inflammation à l'endroit où s'effectue le mixage.

Pour éviter que des dangers d'inflammation ne se produisent dans le réservoir de réception en raison de la charge produite lors de l'opération de mixage ou dans le cadre d'un écoulement ultérieur dans la citerne, il convient d'adopter les recommandations de remplissage de la citerne données au 7.3 selon le cas.

7.9.4 Mélange dans réservoirs ou citernes

Le mélange de liquides miscibles dans le but de produire une seule phase n'est pas excessivement dangereux à n'importe quelle conductivité sous réserve que les précautions nécessaires aux opérations de manipulation de liquides soient prises (voir 7.3).

Si le mélange contient des particules solides ou liquides dispersées, la production d'électricité statique peut être réduite en augmentant la conductivité de tous les liquides de conductivité faible dans le système. Pour cela, un solvant plus conducteur peut être utilisé ou un SDA peut être ajouté (voir 7.2.4) sous réserve qu'il soit compatible avec l'utilisation prévue pour le mélange.

Si toutes les phases d'un mélange sont liquides, il suffit généralement d'augmenter la conductivité de la phase continue au-delà de la plage de conductivité faible. Si une ou plusieurs des phases dispersées sont solides, il peut être nécessaire d'augmenter la conductivité de la phase continue largement au-dessus de 100 pS/m (1 000 pS/m est généralement adéquat, mais n'est pas dans tous les cas) et de limiter la puissance d'entrée du brasseur (par exemple, dans la BS 5958, une puissance maximale de 0,37 kW/m³ est recommandée pour les suspensions de 1 000 pS/m).

NOTE La conductivité de la phase continue peut être considérablement réduite par l'absorption d'ions par la phase solide.

Si un réservoir de mélange comporte un revêtement intérieur isolant (verre, céramique ou plastique, par exemple), il convient de favoriser la relaxation de la charge provenant du contenu en plaçant des bandes ou des plaques conductrices mises à la terre sur ou à proximité du fond du réservoir. Il est possible que cette précaution ne soit pas nécessaire si le revêtement intérieur est suffisamment fin ou conducteur pour permettre la dissipation de charge et éviter un potentiel superficiel dangereux. Il convient de tenir compte du risque de décharges glissantes de surface pouvant microperforer les revêtements internes isolants dans les endroits, où une génération de charges élevées peut être présente du fait de la manipulation de mélanges polyphasiques ou de conductivité faible (voir B.1.4).

Il convient de procéder au calibrage et à l'échantillonnage des systèmes entièrement liquides conformément aux recommandations données au 7.6. Les précautions à prendre à l'égard des liquides contenant une phase solide dispersée dépendent du mélange spécifique et aucun conseil général ne peut être fourni.

Au lieu d'augmenter la conductivité des liquides, la phase gazeuse dans le réservoir de mélange peut être inertée selon les recommandations données au 8.4. La limitation de la puissance d'entrée du brasseur n'est alors plus exigée.

7.9.5 Mélange à jet

Le mélange à jet de liquides possédant des conductivités au-delà de la plage de conductivité faible n'est pas dangereux, sous réserve que le jet ne perturbe pas la surface du liquide et que le liquide ainsi que l'ensemble des parties métalliques de l'équipement soient mis à la terre.

Si un liquide possède une conductivité faible, des SDA (voir 7.2.4) peuvent être ajoutés de manière à l'élever jusqu'à la plage de conductivité moyenne, à condition qu'ils soient compatibles avec l'utilisation prévue pour le mélange.

Au lieu d'augmenter la conductivité des liquides, la phase gazeuse dans la citerne peut être inertée. Il convient d'utiliser les agents d'inertage conformément aux recommandations données au 8.4.

Si un liquide possède une conductivité faible et que ni l'utilisation d'un additif dissipatif ni l'inertage ne peuvent être effectués, le niveau de risque dépendra des circonstances. Il peut être nécessaire de solliciter des conseils d'experts afin de contrôler le potentiel superficiel du liquide dans la citerne. Les facteurs à prendre en compte incluent:

- a) la proximité de projections internes dans la citerne à la surface du liquide, étant donné qu'une intensité de champ élevée peut se produire dans la phase gazeuse en raison des charges présentes dans le liquide entrant qui sont transportées jusqu'à la surface par le jet;
- b) la présence d'une phase distincte (généralement de l'eau) au fond de la citerne;
- c) le fait que la citerne soit remplie pendant l'opération de mixage;
- d) le temps écoulé depuis la fin d'une opération de remplissage.

Il convient de procéder au calibrage et à l'échantillonnage conformément aux recommandations données au 7.6.

7.9.6 Mixage à grande vitesse

Le mixage à grande vitesse (dans le but de produire des émulsions, par exemple) génère davantage de charge qu'un mélange classique. Il convient de solliciter des conseils d'experts en ce qui concerne les amendements aux précautions données au 7.9.4 qui sont nécessaires pour le mixage à grande vitesse de liquides immiscibles.

7.10 Pulvérisation de liquides et nettoyage de citernes

7.10.1 Généralités

Lorsque le jet de lavage frappe la paroi ou une saillie de la citerne, il forme un brouillard de fines gouttelettes qui est généralement électrisé. En raison de la turbulence créée par les jets de lavage, le brouillard électrisé est généralement réparti de manière uniforme à l'intérieur de la citerne.

Le brouillard électrisé génère des potentiels électriques élevés et la valeur maximale, qui se produit au centre de la citerne, dépend surtout des dimensions de la citerne et de la densité de charge du brouillard. La densité de charge dépend de la nature du liquide utilisé pour le lavage (eau ou huile, utilisation de détergents, par exemple) et du type de système de lavage utilisé (pression et débit de liquide, diamètre de buse).

Un danger d'inflammation supplémentaire peut se produire en raison des décharges aigrettes survenant sur un objet conducteur mis à la terre, en saillie à l'intérieur de la citerne. Si le

potentiel spatial dans la citerne dépasse environ 58 kV, les décharges aigrettes peuvent enflammer des atmosphères constituées d'air et d'hydrocarbures bien que de tels potentiels élevés sont rarement générés lors du nettoyage de citernes.

Si des conducteurs isolés sont présents dans la citerne, des étincelles incendiaires peuvent se produire à des potentiels bien plus faibles. Généralement, des potentiels dans la plage 5 kV à 20 kV sont suffisants pour produire des étincelles incendiaires dans des atmosphères constituées d'air et d'hydrocarbures. La valeur dépend de la taille des conducteurs isolés et de la longueur de l'éclateur. Des conducteurs isolés se forment inévitablement lors des opérations de lavage avec des jets de liquides provenant de buses haut débit, car ces dernières projettent de gros volumes de liquides isolés (appelés "masses") lorsque le jet se fragmente. Ces masses peuvent être électrisées par induction au potentiel au centre de la citerne et des étincelles incendiaires peuvent se produire au moment où des masses possédant un potentiel d'au moins 15 kV s'approchent d'objets conducteurs mis à la terre. C'est pourquoi il est recommandé dans la mesure du possible d'éviter l'utilisation de buses pouvant former de grandes masses isolées pendant le processus de fragmentation du jet. Il convient également de veiller à ce que le liquide ne s'accumule pas et ne s'écoule pas de saillies ou renforcements à proximité du toit de la citerne.

Après une opération de nettoyage, il convient de différer les processus qui s'en suivent (inspection, calibrage, échantillonnage, par exemple) jusqu'à ce que tout brouillard électrisé produit ait disparu. Cela peut prendre plusieurs heures dans le cas des citernes de très grandes dimensions.

7.10.2 Nettoyage de citernes avec des jets d'eau à basse ou moyenne pression (jusqu'à 12 bar environ)

Après que des explosions se soient produites à bord de trois très grands pétroliers lors du nettoyage de citernes au jet d'eau en 1969, des rapports techniques ont montré que le potentiel maximal des citernes était proportionnel à la densité de la charge du brouillard et au carré de la dimension linéaire de la citerne (ou en d'autres termes proportionnel à $V^{2/3}$, où V est le volume de la citerne). Cela signifie que le danger d'inflammation augmente avec le volume de la citerne.

Les rapports techniques montrent que le nettoyage d'une citerne d'une capacité de moins de 100 m³ présente un niveau de danger très faible tandis que le nettoyage d'une citerne d'une capacité de 10 000 m³ ou plus est dangereux. Le volume limite se situe entre ces limites. Une valeur plus précise peut être donnée uniquement si toutes les conditions sont connues. D'après les réglementations de l'Organisation maritime internationale (OMI) pour les bateaux-citernes hauturiers, il convient que les citernes des bateaux-citernes de 50 000 dwt et plus soient nettoyées uniquement lorsqu'elles ont été inertées. Des instructions complètes sont fournies dans le manuel "International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals" (ISGOTT).

7.10.3 Nettoyage de citernes avec des liquides de conductivité faible

Les liquides de conductivité faible (tels que les hydrocarbures) se chargent moins que l'eau pendant la pulvérisation, car ils ne comportent qu'une faible concentration d'ions dissociés. La pulvérisation de solvants de conductivité faible peut être considérée comme sans danger dans les cas décrits ci-dessus. Cependant, il convient que les solvants de nettoyage ne contiennent pas d'eau ni de particules solides susceptibles de former une seconde phase dans le liquide. C'est pourquoi il convient de ne pas recycler le solvant de nettoyage tant que la teneur en corps étrangers n'est pas inférieure à 0,5 %.

Il convient de purger le liquide dans la citerne pendant le nettoyage pour éviter toute accumulation de charges dans le liquide.

7.10.4 Nettoyage de citernes avec des jets d'eau ou de solvant à haute pression (> 12 bar)

Dans l'industrie chimique, les cuves et les conteneurs de faibles dimensions (réservoirs de brassage, par exemple) sont souvent nettoyés à l'aide de têtes de pulvérisation à haute pression fonctionnant à des pressions allant jusqu'à 500 bar. Ces pulvérisations peuvent créer des densités et des potentiels de charge très élevés dans la citerne pendant le nettoyage. Néanmoins, les preuves expérimentales ont montré que le risque d'inflammation pour les citernes contenant une atmosphère inflammable constituée d'air et d'hydrocarbures était acceptable dans les circonstances suivantes:

a) Pulvérisation d'eau

- 1) Conteneur métallique cylindrique d'un diamètre maximal de 3 m; et
- 2) Tête de pulvérisation fonctionnant à une pression de liquide maximale de 500 bar et à un débit de liquide maximal de 5 l/s.

b) Pulvérisation de liquides de conductivité faible

- 1) Conteneur métallique cylindrique d'un volume maximal de 5 m³; et
- 2) Tête de pulvérisation fonctionnant à une pression maximale de 50 bar et à un débit de liquide maximal de 1 l/s.

Il convient que les liquides de lavage ne contiennent pas plus de 0,5 % de particules ou liquide étrangers susceptibles de former une seconde phase et qu'ils soient purgés pendant le nettoyage pour éviter toute accumulation de charges. De plus, il convient de mettre à la terre l'ensemble des parties conductrices.

Le fonctionnement en sécurité n'a été vérifié que dans les limites ci-dessus, mais le dépassement de ces limites ne constitue pas nécessairement une situation dangereuse. Solliciter des conseils d'experts dans ces circonstances.

Dans le cas de conteneurs comportant des parois isolantes, les limites ne sont pas connues, mais elles sont, dans tous les cas, largement inférieures à celles des réservoirs métalliques. Cela tient au fait que, même dans des conteneurs de faibles dimensions, les parois en plastique électrisées par le processus de nettoyage peuvent créer des flaques électrisées de liquides conducteurs qui sont considérées produire des décharges d'allumage incendiaires lorsqu'elles entrent en contact avec des parties mises à la terre. Sinon, l'utilisation de liquides de conductivité faible peut également donner lieu à une électrisation importante des parois de conteneur capable de générer des décharges aigrettes incendiaires.

Pour ces raisons, il convient d'éviter la présence d'une atmosphère explosive à l'intérieur de conteneurs isolants pendant le processus de nettoyage (soit en remplissant et en vidant les réservoirs avec de l'eau au préalable, soit en utilisant des liquides de lavage possédant un point d'éclair élevé, par exemple). Il peut être nécessaire de solliciter des conseils d'experts dans les cas, où des dangers d'inflammation électrostatique sont attendus et où une atmosphère explosive est présente.

7.10.5 Nettoyage de citernes à la vapeur

Le nettoyage de citernes à la vapeur produit un brouillard électrostatiquement chargé. Les preuves expérimentales montrent que cela n'engendre pas de danger d'inflammation pour les citernes d'un volume maximal de 100 m³ qui contiennent une atmosphère inflammable. Une situation dangereuse peut cependant exister avec de plus grands volumes.

7.10.6 Systèmes déluge

Les systèmes déluge sont principalement utilisés pour diminuer et dissiper les atmosphères inflammables. Ils ne fonctionnent pas à hautes pressions et ne produisent pas de nuages de brouillard fortement électrisés. Etant donné qu'ils ont plutôt tendance à dissiper qu'à concentrer les gouttelettes électrisées, il est peu probable qu'ils engendrent des risques d'inflammation électrostatique.

7.11 Systèmes en verre

7.11.1 Généralités

Les décharges incendiaires dans les systèmes en verre sont principalement dues à l'électrisation par des liquides ou des mélanges poussière/air de conductivité faible. L'accumulation de charges augmente fortement si la surface en verre comporte un revêtement plastique de conductivité faible.

Des décharges d'allumage peuvent provenir de parties conductrices (brides métalliques, raccords, vannes) et, en conditions ambiantes habituelles, des décharges aigrettes peuvent provenir de surfaces en verre revêtu de plastique.

Les décharges aigrettes ne peuvent provenir que de surfaces en verre sans revêtement à une humidité relative basse ou, par exemple, si la température superficielle est considérablement supérieure à la température ambiante.

7.11.2 Précautions à prendre pour les liquides de conductivité faible

Les dangers liés aux liquides de conductivité faible peuvent être réduits en prenant les précautions recommandées au 7.2. Dans le cas des systèmes constitués principalement de verre sans revêtement, les exigences de mise à la terre suivantes doivent néanmoins être prises en compte.

Dans les emplacements situés en Zone 0 contenant des gaz et vapeurs des Groupes IIC (voir Annexe D), il convient que l'ensemble des parties conductrices, telles que les brides métalliques, les raccords, les vannes ou les équipements de mesure, soient reliées à la terre avec une résistance inférieure à 1 M Ω . Pour les systèmes entièrement métalliques, il convient d'utiliser une résistance inférieure à 10 Ω . Si une valeur considérablement supérieure est constatée, il convient d'effectuer des recherches complémentaires afin de vérifier l'existence de problèmes éventuels (corrosion ou connexion desserrée, par exemple).

En cas de gaz et vapeurs des Groupes IIA et IIB, il est uniquement nécessaire de mettre à la terre les éléments conducteurs possédant une capacité électrique installée de plus de 3 pF. Ainsi, il n'est pas nécessaire de mettre à la terre des vis ou boulons de faibles dimensions (capacité électrique inférieure ou égale à 3 pF). Les raccords, les vannes ou les joints qui possèdent des parties conductrices non mises à la terre avec une capacité supérieure à 3 pF et qui ne peuvent pas être mis à la terre (en raison d'un revêtement isolant, par exemple) ne sont pas adaptés à une utilisation dans des systèmes en verre.

Si des éléments générateurs de charges importantes tels que des microfiltres sont utilisés, le verre peut transmettre des décharges aigrettes incendiaires aux surfaces conductrices. Dans ces circonstances, il convient de réaliser les brides en matériaux isolants.

Dans les emplacements situés en Zone 1 contenant des gaz et vapeurs des Groupes IIB et IIC, la même exigence de mise à la terre des éléments conducteurs avec une capacité électrique supérieure à 3 pF s'applique. Dans les emplacements situés en Zone 1 en présence des gaz et vapeurs du Groupe IIA, il convient que la capacité électrique ne dépasse pas 6 pF.

En Zone 2, il suffit généralement de mettre à la terre les brides conductrices uniquement à proximité d'éléments générateurs de forte charge (tels que les pompes, les microfiltres et les buses) sous réserve que les tuyaux ne dépassent pas 50 mm de diamètre.

Pour les tuyaux d'un diamètre de 50 mm et plus, il convient de mettre à la terre toutes les brides et parties métalliques de taille comparable.

Les restrictions concernant la manipulation de liquides de conductivité faible dans des systèmes en verre revêtu de plastique (verre comportant un revêtement en plastique externe)

sont comparables à celles qui s'appliquent à la manipulation de tels liquides dans des systèmes isolants et sont récapitulées au 7.3.4.6. Les précautions concernant la manipulation de contenu conducteur ou dissipatif (eau, acides, bases ou alcools, par exemple) sont les mêmes que pour le verre sans revêtement.

Il convient de mettre à la terre les liquides conducteurs stockés dans des systèmes en verre et en acier vitrifié, en connectant par exemple des tuyaux d'entrée ou de sortie conducteurs ou une fiche métallique mise à la terre au fond du système (voir aussi 7.3.4.2).

Des conseils d'experts sont recommandés lors de la manipulation de poudres imprégnées de solvant dans des systèmes de verre.

8 Electricité statique dans les gaz

8.1 Généralités

Le mouvement des gaz purs ou d'un mélange de gaz génère peu, voire aucune, électricité statique, mais les gaz peuvent se charger en électricité s'ils contiennent des particules solides ou liquides. Dans les processus industriels, de telles particules sont communes. Elles peuvent être dues à la contamination (poussière ou gouttes d'eau, par exemple), peuvent correspondre à une phase condensée du gaz lui-même (neige carbonique ou gouttes de vapeur saturée humide, par exemple) ou peuvent être introduites délibérément (grenailage ou peinture au pistolet, par exemple).

Les exemples de processus où la charge des particules peut générer d'importantes quantités de charge électrostatique incluent: le transfert pneumatique de matériaux; l'échappement ou l'émission de gaz comprimé contenant des particules; l'émission de dioxyde de carbone liquéfié; l'utilisation d'aspirateurs industriels; et la peinture au pistolet.

Les particules chargées produites par ces mécanismes peuvent générer un certain nombre de types de décharges incendiaires: des décharges d'allumage (voir A.3.2) peuvent se produire lorsqu'une charge s'accumule sur des conducteurs isolés du fait de l'impact ou du rassemblement de particules; des décharges aigrettes (voir A.3.4) peuvent se produire lorsque des nuages chargés ou des jets de particules chargées se trouvent à proximité de saillies métalliques mises à la terre; des décharges glissantes de surface (voir A.3.5) peuvent se produire lorsque des particules chargées heurtent des fines couches de matériau isolant; et des décharges de cône (voir A.3.7) peuvent se produire lorsque les particules chargées se rassemblent et forment un cône, comme dans un silo. Aucune preuve ne suggère que des décharges de type foudre (voir A.3.6) puissent se produire dans des équipements de taille industrielle.

La charge électrostatique des particules ne peut pas être empêchée, mais l'inflammation peut être évitée en s'assurant que l'atmosphère n'est pas inflammable ou en empêchant les décharges incendiaires. Les précautions pouvant être prises pour éviter les décharges incendiaires incluent ce qui suit:

- 1) s'assurer que tous les objets métalliques et autres objets conducteurs sont mis à la terre (voir Article 13);
- 2) éviter l'utilisation de matériaux isolants;
- 3) réduire les densités de charge en restreignant les vitesses d'écoulement ou en adoptant un profil de buse adéquat;
- 4) supprimer les particules.

Pour obtenir des recommandations concernant le transfert pneumatique de poudres, voir Article 9. Pour obtenir des recommandations concernant d'autres processus industriels, voir 8.2 à 8.8.

8.2 Grenailage

Le grenailage de surfaces est utilisé dans le cadre du nettoyage ou de la préparation avant peinture. Le processus peut entraîner une électrisation des grains, de l'équipement de grenailage, du flexible ainsi que de la ou des buses fixées à l'extrémité du flexible. Des étincelles peuvent se produire lorsque les grains s'accumulent ou se heurtent sur les objets métalliques non mis à la terre ou provenir directement de parties de l'équipement de grenailage.

Si de tels équipements sont utilisés alors que des atmosphères inflammables sont susceptibles d'être présentes, il convient de mettre à la terre l'ensemble des parties métalliques de la zone ainsi que l'ensemble des parties de l'équipement de grenailage, en particulier la buse qui est reliée à l'extrémité du flexible. Il convient que le flexible soit conducteur ou dissipatif.

8.3 Extincteurs d'incendie

Certains types d'extincteurs d'incendie pressurisés (en particulier ceux utilisant du dioxyde de carbone) peuvent produire des nuages fortement chargés. En cas d'incendie, cela a peu d'importance. Cependant, si de tels équipements se situent dans un endroit où une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente, il convient de mettre à la terre le conteneur ainsi que la tuyauterie associée. En l'absence d'incendie, il convient de ne pas utiliser l'appareil pendant l'essai, la démonstration ou l'inertage tant que l'absence de mélange inflammable dans la zone n'a pas été établie.

8.4 Inertage

L'inertage d'un système en utilisant, par exemple, du dioxyde de carbone pressurisé peut introduire de grandes quantités de particules ou gouttelettes chargées. Si le système contient une atmosphère inflammable, des décharges incendiaires peuvent se produire avant qu'une quantité suffisante de matériaux inertes ait été ajoutée pour s'assurer que l'atmosphère n'est plus explosive.

Pour éviter le risque d'inflammation lors de l'inertage de réservoirs contenant des mélanges gazeux ou des suspensions de poussières inflammables, éviter l'injection de particules. Dans la mesure du possible, utiliser des gaz qui ne contiennent pas de matières particulaires ou qui ne se condensent pas en une phase liquide ou solide lorsqu'ils sont rejetés à une pression élevée (azote propre et sec, par exemple).

Il convient de ne pas utiliser de vapeur saturée humide pour l'inertage d'un récipient contenant un mélange inflammable de quelque type que ce soit. La vapeur saturée humide est acceptable sous réserve que toute l'eau condensée soit éliminée des canalisations avant l'opération d'inertage.

Quelle que soit la substance utilisée pour l'inertage, il est conseillé de l'introduire lentement par un grand orifice. Cela permet de réduire le plus possible le ramassage de saletés et d'écailles provenant des canalisations, ainsi que le soulèvement des poussières ou des pulvérisations à l'intérieur de la cuve.

8.5 Nettoyage à la vapeur

La vapeur projetée par une buse peut contenir des gouttelettes d'eau chargées. A l'intérieur d'une cuve, le brouillard chargé peut conduire à des champs électriques élevés donnant lieu à des décharges incendiaires.

Les preuves expérimentales montrent que cela n'engendre pas de danger d'inflammation pour les citernes d'un volume maximal de 100 m³ qui contiennent une atmosphère inflammable. Une situation dangereuse peut cependant exister avec de plus grands volumes.

Pour cette raison, il convient de ne pas nettoyer à la vapeur les citernes de capacité supérieure à 100 m³ susceptibles de contenir une atmosphère inflammable. Il est permis de nettoyer à la vapeur les citernes de plus faibles dimensions sous réserve que les buses vapeur et autres parties métalliques du système soient solidement mises à la terre; que la cuve ou le conteneur nettoyé soit mis à la terre; et, dans la mesure du possible, il convient d'utiliser de la vapeur sèche ou surchauffée et d'empêcher la formation de condensat dans les canalisations.

8.6 Fuite accidentelle de gaz comprimé

Des charges dangereuses peuvent être générées lorsque des gaz inflammables ou non inflammables contenant des particules solides ou liquides sont rejetés accidentellement. Si une fuite peut exister à un endroit où une atmosphère inflammable est susceptible d'être présente, il convient de mettre à la terre le réservoir ou le tuyau ainsi que tous les objets conducteurs adjacents. Il convient de mettre à la terre les objets conducteurs pouvant être déplacés dans une zone contenant une atmosphère inflammable avant qu'ils ne soient déplacés. Il convient que les personnes pénétrant dans la zone de telles fuites (pour effectuer des réparations, par exemple) soient reliées à la terre (voir Article 13) et il convient de n'introduire aucun objet isolant dans la zone.

8.7 Pulvérisation de peintures et poudres inflammables

8.7.1 Généralités

Les nuages de gouttelettes ou de particules produits par la pulvérisation de peintures ou de poudres sont souvent fortement chargés. Par conséquent, l'équipement de pulvérisation, l'objet pulvérisé ainsi que les autres objets (y compris les personnes) situés à proximité du jet peuvent également se charger en électricité. Si le nuage de gouttelettes ou de particules est inflammable, il peut exister un danger d'inflammation. Les risques sont plus importants avec la projection électrostatique de peintures, de poudres et de flock. Même dans le cas de peintures aqueuses, l'occurrence de décharges glissantes de surface est possible (pendant le vernissage électrostatique des carrosseries métalliques, par exemple). La ventilation locale peut également être exigée pour contrôler le danger d'inflammabilité.

NOTE Les exigences de sécurité pour ces processus sont fournies dans l'EN 50050, l'EN 50059, l'EN 50176, l'EN 50177 et l'EN 50223.

Les procédés de pulvérisation "AIRLESS" peuvent également produire des niveaux de charge élevés; il convient d'observer les précautions données au 8.7.2. Le niveau de charge de l'équipement de pulvérisation par air atomisé n'est généralement pas suffisamment élevé pour poser problème. Cependant, si des étincelles ou des chocs électrostatiques sont constatés, il convient de traiter également cet équipement selon les précautions données au 8.7.2.

Les opérations de nettoyage de l'équipement de pulvérisation et des cabines de pulvérisation doivent également être prises en compte, en particulier si des solvants inflammables sont utilisés.

8.7.2 Mise à la terre

Il convient de mettre à la terre l'équipement de pulvérisation, tous les objets métalliques situés à proximité du nuage de peinture ou de poudre et, en particulier, l'objet pulvérisé (voir Article 13).

Les dépôts de peinture ou de poudre peuvent empêcher la mise à la terre par les appareils d'amarrage et les crochets de suspension. Ce problème peut être évité par le biais d'une conception adéquate et d'un nettoyage régulier. Il convient de mettre à la terre les personnes exploitant l'équipement (voir Article 11).

8.7.3 Cabines de pulvérisation en plastique

Etant donné le risque de décharges aigrettes, il convient de ne pas utiliser les cabines de pulvérisation réalisées en matériaux isolants pour la pulvérisation de peintures inflammables. Elles constituent une solution acceptable pour la pulvérisation de poudres uniquement s'il peut être prouvé qu'il n'existe pas de risque d'inflammation. Les cabines réalisées en matériau conducteur ou dissipatif sont acceptables pour tous les types de pulvérisations, sous réserve qu'elles soient mises à la terre. Il convient d'éviter l'application de feuilles isolantes protectrices sur des surfaces conductrices ou dissipatives dans la mesure, où elles peuvent produire des décharges glissantes de surface dangereuses.

8.8 Aspirateurs fixes et mobiles

8.8.1 Généralités

Les aspirateurs peuvent générer de grandes quantités de charge électrostatique. Les matières (sous forme de poussières, particules, gouttes de liquides ou petits objets) peuvent se charger en électricité lorsqu'elles sont aspirées par la buse et le tuyau dans le système collecteur. Si le système comporte des parties métalliques qui ne sont pas mises au potentiel et à la terre, elles peuvent recevoir une tension élevée. Des décharges d'allumage incendiaires (voir A.3.2) peuvent se produire entre les parties métalliques ou le système et la terre. Des décharges aigrettes (voir A.3.4) peuvent également se produire à l'intérieur du système entre les accumulations de matière chargée et le métal mis à la terre.

8.8.2 Systèmes fixes

Si l'équipement est utilisé pour la collecte de matériaux inflammables, il convient de mettre au potentiel et à la terre l'ensemble des parties métalliques et conductrices du système. Il est particulièrement important de s'assurer qu'une buse métallique soit connectée et demeure connectée au tuyau souple de raccordement. Il convient que ce tuyau soit conducteur ou dissipatif (voir Tableau 15 pour les liquides et 9.3.3 pour les solides). Les tuyaux mis au potentiel électrique sont également acceptables s'ils sont construits de telle façon qu'aucune décharge aigrette ne puisse être générée (voir 7.7.3) ou qu'aucun gaz ni vapeur inflammables ne soient présents. Il convient de relier le tuyau au système collecteur qu'il convient de mettre à la terre et de placer préférentiellement en dehors de la zone dangereuse.

Dans certains cas où les canalisations sont longues, l'utilisation de tuyaux dissipatifs peut ne pas permettre une résistance suffisamment faible pour la mise à la terre des composants conducteurs de fin de ligne (buses, par exemple) et une connexion de mise à la terre dédiée à de tels composants conducteurs peut donc être nécessaire.

Si le système peut être utilisé pour la collecte de liquides, de vapeurs ou de gaz inflammables, il convient que le système soit conçu spécifiquement à cette fin afin d'éviter tout risque de décharges aigrettes. L'état actuel des connaissances indique que les décharges aigrettes ne présentent pas de risque d'inflammation dans le cas des poussières sensibles, sous réserve qu'il n'existe pas de gaz ou vapeurs inflammables (voir A.3.4).

Il convient d'utiliser systématiquement des matières filtrantes réalisées en matériau conducteur et mis à la terre lorsque des vapeurs inflammables sont présentes ou que des poudres conductrices non métalliques avec des EMI de moins de 30 mJ sont manipulées. Il convient également d'utiliser de telles matières pour les poussières métalliques combustibles possédant des EMI de moins de 30 mJ, sous réserve que les collecteurs de poussières à sec ne soient pas interdits explicitement par la réglementation applicable. Il convient que la résistance de mise à la terre soit inférieure à 100 MΩ. L'utilisation de fibres contenant des fils conducteurs contribue également à réduire la charge sur la poudre et le filtre par décharge en couronne.

Pour éviter un choc électrostatique, il convient de mettre à la terre les parties conductrices de tous les systèmes collecteurs même lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour la collecte de matériaux inflammables (voir Article 13).

Il convient de traiter les systèmes de grandes dimensions comme des systèmes destinés au transfert pneumatique (voir Article 9).

8.8.3 Systèmes portatifs

Si l'équipement est utilisé pour la collecte de matériaux inflammables, il convient de mettre au potentiel et à la terre l'ensemble des parties métalliques et conductrices du système. Il est particulièrement important de s'assurer que le conteneur est constamment mis à la terre lorsqu'il est en service. Pour cela, le cordon d'alimentation peut être utilisé ou, dans le cas d'un équipement à air comprimé, un tuyau conducteur peut être utilisé ou être mis au potentiel électrique pour l'air comprimé.

Dans le cas des équipements ne pouvant pas être mis à la terre (parce que la coque extérieure est isolante par exemple, voir 3.15) et ne possédant pas de continuité électrique entre la buse et le récepteur, il convient de ne pas les utiliser en zones dangereuses (voir Annexe D).

8.8.4 Camions-vidange

Il convient de relier les camions-vidange à un point de terre désigné sur le site avant d'entamer quelque opération que ce soit. Dans les zones ne comportant pas de points de terre sur le site (c'est-à-dire où des piquets de terre portatifs sont exigés) ou en cas de doute concernant la qualité des points de terre du site, il convient de vérifier la résistance de mise à la terre avant toute opération. Lorsque le camion est connecté à un point de terre vérifié, il convient que la résistance de la connexion entre le camion et le point de terre vérifié ne dépasse pas $10\ \Omega$ pour les connexions métalliques pures ou $1\ M\Omega$ pour les autres connexions.

Il convient de vérifier cette exigence avec un système de mise à la terre monté sur le camion ou un ohmmètre portatif. Il convient également de vérifier l'adéquation électrostatique des tuyaux utilisés conformément au 7.7.3 ou au 9.3.3.

9 Electricité statique dans les poudres

9.1 Généralités

Selon le retour d'expérience, l'allumabilité des matériaux en vrac (allant des poussières fines aux granulés ou particules) augmente lorsque la taille des particules et l'énergie minimale d'inflammation (EMI) diminuent. Il convient d'effectuer l'évaluation des dangers d'explosion en se basant constamment sur l'énergie minimale d'inflammation de la classe granulométrique la plus fine pouvant être présente. Cette classe est généralement obtenue en passant un échantillon à travers un tamis de $63\ \mu\text{m}$.

NOTE 1 Pour obtenir la liste des EMI des poudres, se reporter au BIA-Report 12/97 "Combustion and explosion characteristics of dusts". Une méthode de détermination de la EMI est donnée dans l'IEC 61241-2-3, l'ASTM E2019-03 et l'EN 13821.

NOTE 2 Les EMI des poudres dépendent de nombreux paramètres, qui ne sont généralement pas décrits en détail dans les sources d'ouvrages de référence (distribution granulométrique, teneur en solvant/eau, etc.).

Si l'énergie minimale d'inflammation appropriée est supérieure à $1\ \text{J}$ et qu'aucun gaz ou vapeur inflammable n'est présent, il n'est généralement pas nécessaire de prendre des mesures particulières pour éviter les dangers d'inflammation liés à l'électricité statique. Une exception possible à cette règle concerne le cas, où des décharges glissantes de surface peuvent être présentes (voir 9.2, d)).

NOTE Des précautions peuvent être nécessaires pour réduire le plus possible les risques de chocs électrostatiques. Voir 12.2.

Les matériaux en vrac sont classés en trois groupes selon leur résistivité volumique:

- a) poudres de résistivité faible, avec résistivités volumiques $\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$;
- b) poudres de résistivité moyenne, avec résistivités volumiques $1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$;
- c) poudres de résistivité élevée, avec résistivités $\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$.

NOTE Pour les méthodes de mesure de la résistivité, voir IEC 60079-32-2⁷.

En pratique, les poudres de résistivité faible sont rares. Même les poudres métalliques ne restent pas conductrices pendant très longtemps, car des pellicules d'oxyde se forment à la surface et augmentent leur résistivité. Une exception concerne, néanmoins, le noir de carbone.

Lors de la manipulation de matériaux en vrac, une charge électrostatique se produit généralement. En plus d'éviter les accumulations dangereuses de charge, d'autres mesures de protection contre l'explosion peuvent être nécessaires (inertage, utilisation d'équipements résistants aux explosions, décharge ou suppression d'explosion).

9.2 Décharges, occurrence et inflammabilité

L'accumulation et la rétention de charge sur la poudre ou l'équipement créent un danger uniquement si la charge est soudainement libérée sous la forme de décharge pouvant entraîner un incendie. La poudre et l'équipement électrisés peuvent donner lieu à différents types de décharges qui varient largement dans l'inflammabilité (voir A.3.2 à A.3.7). L'inflammabilité et d'autres détails concernant ces décharges liées à la manipulation de poudres incluent ce qui suit:

- a) Décharges d'allumage: l'inflammabilité des décharges d'allumage peut généralement être évaluée en comparant l'énergie emmagasinée (voir A.3.2) avec la EMI de la poudre combustible considérée (voir C.6). Les décharges d'allumage peuvent être évitées en mettant à la terre l'ensemble des parties conductrices de l'équipement, les produits conducteurs ainsi que les personnes;
- b) Décharges aigrettes: l'état actuel des connaissances indique que, indépendamment de leur EMI, les poudres combustibles ne peuvent pas être enflammées par les décharges aigrettes, à condition qu'il n'y ait pas de vapeur ou de gaz inflammables (voir A.3.4). Lors de la manipulation de grandes quantités de poudres de résistivité moyenne ou élevée, les décharges aigrettes ne peuvent pas être évitées (voir B.3.7);
- c) La présence de contaminations (solvant, graisse ou humidité, par exemple) peut affecter le danger d'inflammation potentiel si des plastiques isolants sont utilisés en présence de poussières.
- d) Il convient de faire preuve de prudence lors de la manipulation de poudres imprégnées de solvant étant donné qu'elles peuvent dégager des vapeurs inflammables pendant longtemps avec une EMI nettement inférieure à celle de la poudre pure. Il convient également de tenir compte du fait que les EMI en dessous de 1 mJ sont effectivement causées par ces mécanismes plutôt que par la poudre seule.
- e) Décharges en couronne: les décharges en couronne ne peuvent pas enflammer les poudres combustibles. Lors de la manipulation de grandes quantités de poudres non conductrices ou de résistivité moyenne, les décharges en couronne ne peuvent pas être évitées;
- f) Décharges glissantes de surface: l'énergie libérée dans une décharge glissante de surface peut être calculée et les valeurs supérieures à 1 J sont les valeurs types. Des exemples de calcul et des détails sur les décharges glissantes de surface sont donnés au B.3.9;
- g) Décharges de cône: les décharges de cône peuvent se produire lors du remplissage d'un silo avec une poudre fortement chargée. Il est considéré que les gaz et vapeurs

⁷ A publier.

inflammables ainsi que les poudres combustibles peuvent être enflammés par ces décharges (voir aussi A.3.7);

- h) Décharges de type foudre: de telles décharges, même si elles sont théoriquement possibles, n'ont pas été observées en milieu industriel.

9.3 Mesures procédurales

9.3.1 Généralités

Il convient de définir les paramètres de processus d'une manière qui réduit le plus possible la charge électrostatique. Pour cela, il convient de mettre en œuvre tout ou partie des précautions suivantes:

- a) augmentation de la conductivité du matériau en vrac (en appliquant un revêtement, par exemple);
- b) remplacement de l'équipement isolant par un équipement mis à la terre;
- c) humidification des poudres;
- d) ionisation;
- e) réduction de la quantité de particules fines dans le matériau en vrac (en évitant les fractions fines engendrées par l'usure et l'abrasion, par exemple);
- f) limitation de la dispersion (transport en phase quasi liquide plutôt qu'en phase diluée, par exemple);
- g) réduction de la vitesse de transfert, du débit et de la vitesse de l'air;
- h) élimination des grands amoncellements dans le matériau en vrac;
- i) transfert par gravité préféré au transfert pneumatique;
- j) utilisation de flexibles conducteurs ou antistatiques pour le transfert pneumatique.

9.3.2 Humidification

Si l'humidification est utilisée comme mesure pour dissiper les charges du matériau en vrac, une humidité relative de 70 % à 23 °C est généralement nécessaire. Cette méthode peut ne pas être inefficace pour le transfert à grande vitesse des produits chauds. Elle peut également affecter négativement les propriétés d'écoulement de certaines poudres.

NOTE L'air est un mauvais conducteur électrique. L'humidification ne constitue pas un moyen efficace pour dissiper la charge d'un nuage de poussière. Cependant, l'humidité relative élevée diminue la résistivité superficielle de bon nombre de poudres – à l'exception de la plupart des polymères – et peut donc augmenter le temps de décharge vitesse de décroissance de la charge sur la poudre en vrac.

9.3.3 Flexibles pour le transfert pneumatique

Les définitions des flexibles antistatiques et conducteurs données au 7.7.3.4 ne s'appliquent pas aux flexibles destinés au transfert pneumatique de matériaux en vrac. Pour les transferts pneumatiques de ce type, il convient que la résistance de fuite en tout point de la paroi intérieure du flexible soit inférieure à 100 MΩ (mesurée selon l'ISO 8031).

9.3.4 Ionisation

La conductivité des mélanges poussière/air peut être augmentée par ionisation. Les dépôts de poussières peuvent être évités par ionisation. Les dangers liés à la manipulation de grandes quantités de matériaux en vrac et de grands nuages de poussière ne peuvent pas être évités.

NOTE Il est difficile de fournir l'ionisation nécessaire pour les distances relativement grandes (plus de 100 mm, par exemple). En outre, la charge totale à neutraliser est souvent supérieure à celle qu'un système d'ionisation peut fournir.

Les décharges localisées provenant de sondes pointues ou fils conducteurs et mis à la terre peuvent être importantes dans les poudres en vrac et les nuages de poussière lorsque

l'intensité du champ électrique est proche de la valeur de claquage. Il convient de ne pas rompre tout ou partie des sondes ou fils conducteurs mis à la terre.

NOTE 1 Ces sondes ou fils de mise à la terre placés au point de stockage lorsque la poudre pénètre dans un conteneur peuvent diminuer l'énergie générée par les différentes décharges. Ils peuvent également constituer un chemin de mise à la terre sûr pour la charge accumulée lorsque la poudre pénètre dans un conteneur isolant.

NOTE 2 Les pièces détachées (si des parties de la sonde ou du fil se cassent, par exemple) peuvent se comporter comme des condensateurs chargés et générer des décharges d'allumage.

NOTE 3 En cas d'ionisateurs actifs, la contamination des points peut entraîner un échauffement ohmique à l'origine d'incendies qu'il est nécessaire d'éviter.

9.4 Matériaux en vrac en l'absence de gaz et vapeurs inflammables

9.4.1 Généralités

Dans ce cadre, il est admis par hypothèse que la poudre est manipulée et traitée à l'abri de gaz et vapeurs inflammables si:

- a) avec des matériaux en vrac non inflammables, la concentration en gaz et vapeurs se situe au-dessous de leur limite inférieure d'explosivité (LIE);
- b) avec des matériaux en vrac inflammables, la concentration en gaz et vapeurs est inférieure à 20 % de leur LIE.

NOTE Cette valeur est souvent respectée si, immédiatement après un processus de séchage, la concentration résiduelle totale de solvant dans le matériau en vrac est inférieure à 0,5 %, la poudre est ensuite traitée à température ambiante et qu'aucun processus générateur de fractions fines n'est effectué.

9.4.2 Equipements et objets en matériaux conducteurs ou dissipatifs

En zones dangereuses, il convient de mettre à la terre tous les équipements et objets réalisés en matériaux conducteurs et dissipatifs (contenants stratifiés comportant des couches conductrices et conteneurs non stationnaires avec un revêtement, par exemple).

Pour les situations suivantes, l'exigence de mise à la terre peut être abandonnée/assouplie:

- a) s'il peut être démontré que les objets en matériaux conducteurs et dissipatifs ne se chargent pas en électricité pendant le fonctionnement normal et les dysfonctionnements possibles; ou
- b) si l'énergie maximale pouvant s'accumuler sur les objets isolés est nettement inférieure à la EMI du matériau en vrac; ou
- c) si la capacité de l'objet ne dépasse pas la valeur applicable donnée dans le Tableau 2.

9.4.3 Equipements et objets en matériaux isolants

Les équipements et objets en matériaux isolants ne sont admis que si aucune accumulation de charges dangereuses ne se produit. Si des équipements et objets en matériaux isolants (sous la forme de tuyaux, flexibles, conteneurs, feuilles, couches et revêtements) sont utilisés, une accumulation de charges doit être attendue.

L'électrisation des surfaces isolantes peut engendrer des décharges glissantes de surface avec des énergies types supérieures à 1 J lorsqu'elles sont revêtues de zones conductrices à une distance de moins de 10 mm. Si des films, des couches ou des revêtements isolants possédant une tension de claquage en dessous de 4 kV sont utilisés, ils n'engendrent pas de décharges glissantes de surface incendiaires sur les matériaux en vrac.

Etant donné que l'électrisation du matériau conducteur isolé peut engendrer des décharges d'allumage, la combinaison de matériaux conducteurs, dissipatifs et isolants n'est admise que si l'ensemble des parties conductrices et dissipatives sont correctement mises à la terre.

9.4.4 Séparateurs de poussières

Dans les séparateurs de poussières inflammables, il convient que les tissus filtrants isolants n'interrompent pas les connexions de mise à la terre des parties réalisées en matériaux conducteurs ou dissipatifs (cages de support des manchons filtrants ou pinces métalliques qui maintiennent les gaines filtrantes en place, par exemple). En particulier lorsque la EMI du matériau en vrac est inférieure à 3 mJ (ce qui garantit la mise à la terre de l'ensemble des parties métalliques telles que les fixations, etc.), il est très important d'avoir une capacité supérieure à 10 pF. Cette limite est due à l'expérience pratique, où il ne peut être garanti que même les plus petites parties métalliques (vis simples, fixations, etc.) sont toujours mises à la terre au moyen de raccords de câbles. Il convient de garantir la mise à la terre et la mise au potentiel par le biais de la construction proprement dite et/ou des propriétés des matériaux utilisés.

Dans ce cadre, il a été démontré que l'utilisation de tissus filtrants à base de fibres contenant des fils conducteurs ou l'utilisation de gaines filtrantes classiques avec des collets en cuivre cousus autour de l'extrémité des gaines qui relient automatiquement les cages de support et les pinces métalliques étaient très efficaces.

Il convient d'utiliser systématiquement des matières filtrantes réalisées en matériau conducteur et mis à la terre lorsque des vapeurs inflammables sont présentes ou que des poudres conductrices non métalliques avec des EMI de moins de 30 mJ sont manipulées. Il convient également d'utiliser de telles matières pour les poussières métalliques combustibles possédant des EMI de moins de 30 mJ, sous réserve que les collecteurs de poussières à sec ne soient pas interdits explicitement par la réglementation applicable. Il convient que la résistance de mise à la terre soit inférieure à 100 MΩ. L'utilisation de fibres contenant des fils conducteurs contribue également à réduire la charge sur la poudre et le filtre par décharge en couronne.

NOTE Les poussières d'aluminium, de magnésium, de titane et de zirconium (Al, Mg, Ti et Zr) possèdent habituellement des EMI de moins de 30 mJ tandis que les poussières de fer, de cobalt, de nickel, de cuivre et de manganèse (Fe, Co, Ni, Cu et Mn) dépassent généralement cette limite. Pour plus d'informations, se référer à la NFPA 484, *Standard for combustible Metal*.

9.4.5 Silos et conteneurs

9.4.5.1 Généralités

Il convient de traiter et manipuler les matériaux en vrac de manière à éviter une accumulation de charges dangereuses. Des charges dangereuses peuvent s'accumuler sur le matériau en vrac, mais aussi sur la paroi du silo ou du conteneur.

NOTE Cette exigence s'applique aux silos et cuves de grandes dimensions, ainsi qu'aux conteneurs mobiles, réservoirs, fûts, sacs, GRVS ou autres contenants de faibles dimensions. Les exigences spécifiques aux GRVS sont définies au 9.6.

Les Figures 1 à 3 décrivent comment déterminer si le matériau en vrac lui-même peut se charger à un niveau dangereux pendant le remplissage d'un silo ou d'un conteneur. Si cela est exigé, des mesures contre l'occurrence de décharges de cône, de type foudre ou d'allumage doivent être effectuées. L'organigramme à choisir dépend de la résistivité du matériau en vrac:

Figure 1: évaluation d'un matériau en vrac de résistivité faible ($\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$)

Figure 2: évaluation d'un matériau en vrac de résistivité moyenne ($1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$)

Figure 3: évaluation d'un matériau en vrac de résistivité élevée ($\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$)

NOTE Dans les Figures 2 et 3, $W_{\text{décharge cône}}$ représente l'énergie maximale attendue de la décharge de cône (voir A.3.7).

Comme alternative à la mesure de l'intensité du champ électrique au-dessus du tas de poudre, il est permis d'estimer l'intensité du champ par modélisation du champ électrique à l'intérieur du silo en prenant en compte la relaxation de la charge pendant la procédure de

remplissage. Il convient que ces modèles de calcul soient fondés sur le rapport charge/masse, la masse volumique et le débit de remplissage de la poudre, la permittivité relative et la résistivité de la poudre en vrac, ainsi que la géométrie du silo. Si le champ électrique dirigé radialement reste inférieur à 3 MV/m, le critère pour le champ de la poudre en vrac est respecté. La différence entre le champ électrique moyen de 500 kV/m au-dessus de l'espace de la décharge et la valeur limite de 3 MV/m est basée sur la distribution du champ à l'intérieur des silos, où le champ maximal est toujours dirigé radialement contre la paroi du silo et mesuré à la paroi du silo et est dirigé non axialement et mesuré au-dessus du tas de poudre.

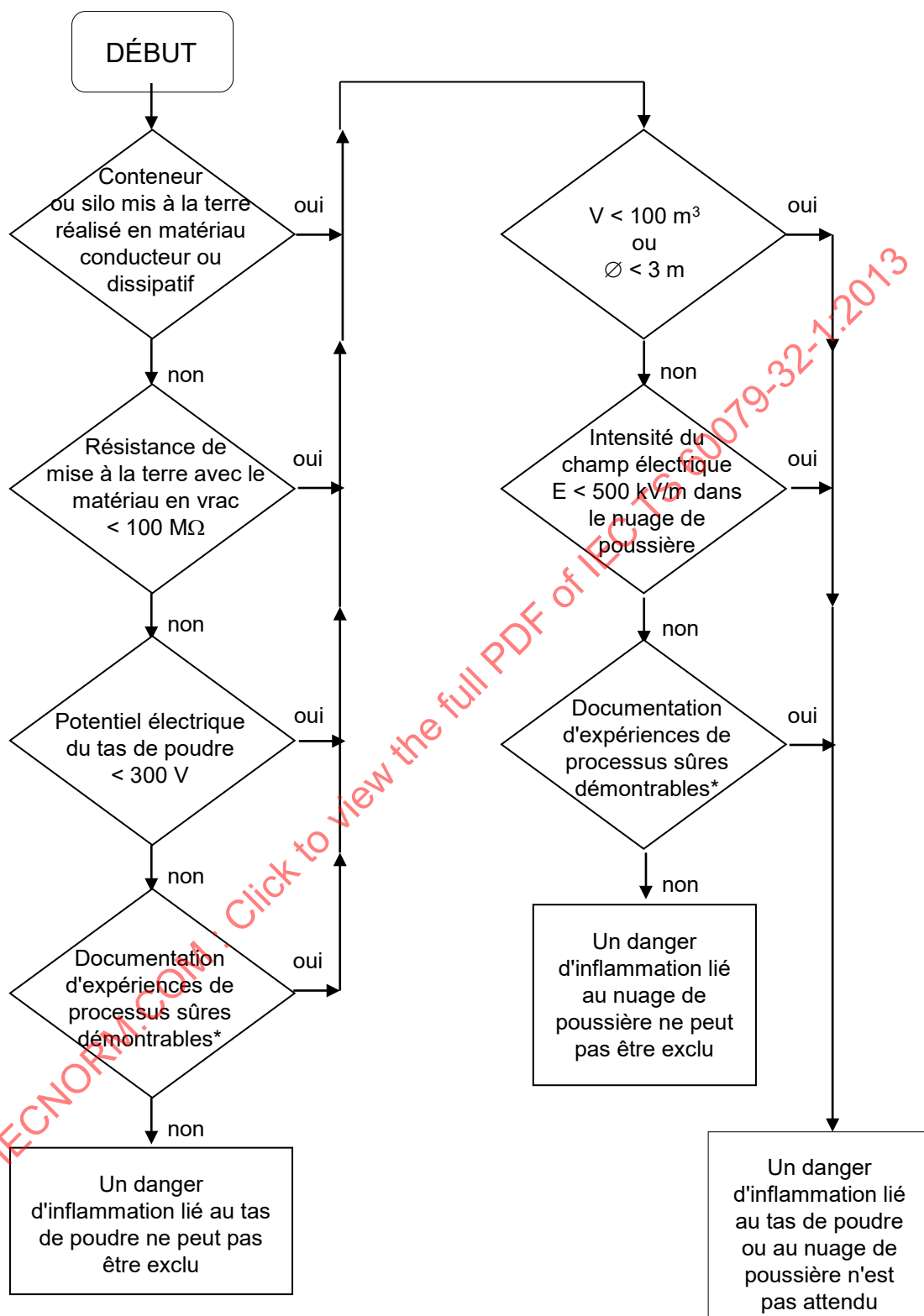
Pour évaluer l'accumulation de charges sur la paroi des silos et des conteneurs, il convient de tenir compte du 9.3 et du 9.4.

Pendant le déchargement des silos et des conteneurs en l'absence de gaz et vapeurs inflammables, une accumulation de charges dangereuses sur le matériau en vrac ne doit généralement pas être attendue. De plus, tous les appareils de déchargement et de transfert exigent une analyse distincte.

NOTE Voir aussi 9.3.

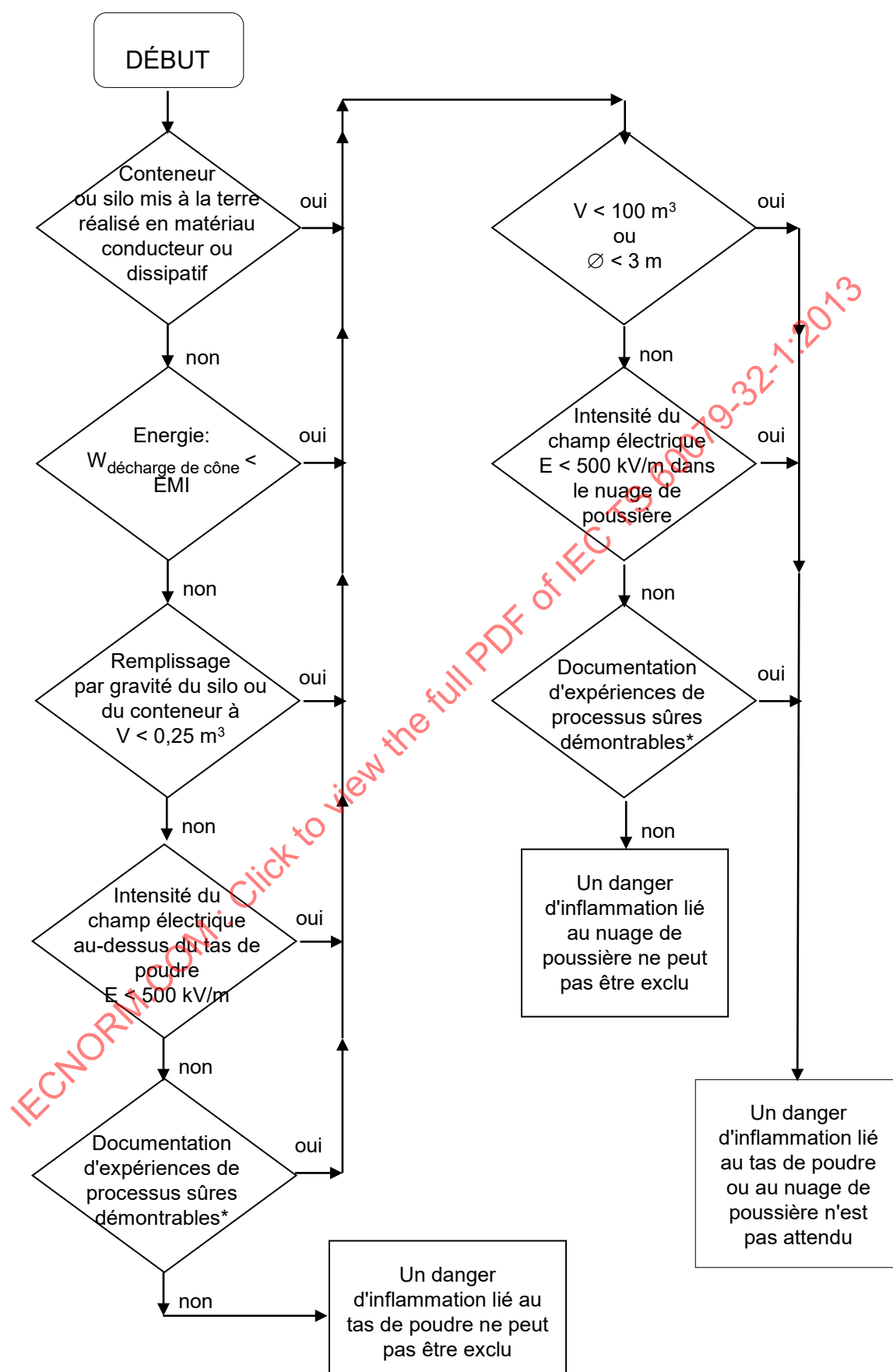
Il convient néanmoins de garder à l'esprit que la plupart des opérations de déchargement représentent une opération de remplissage pour le silo ou le conteneur qui suit.

Il convient de mettre à la terre les conteneurs et les silos conducteurs et de mettre les silos et les conteneurs dissipatifs en contact avec la terre durant les opérations de remplissage et vidage.



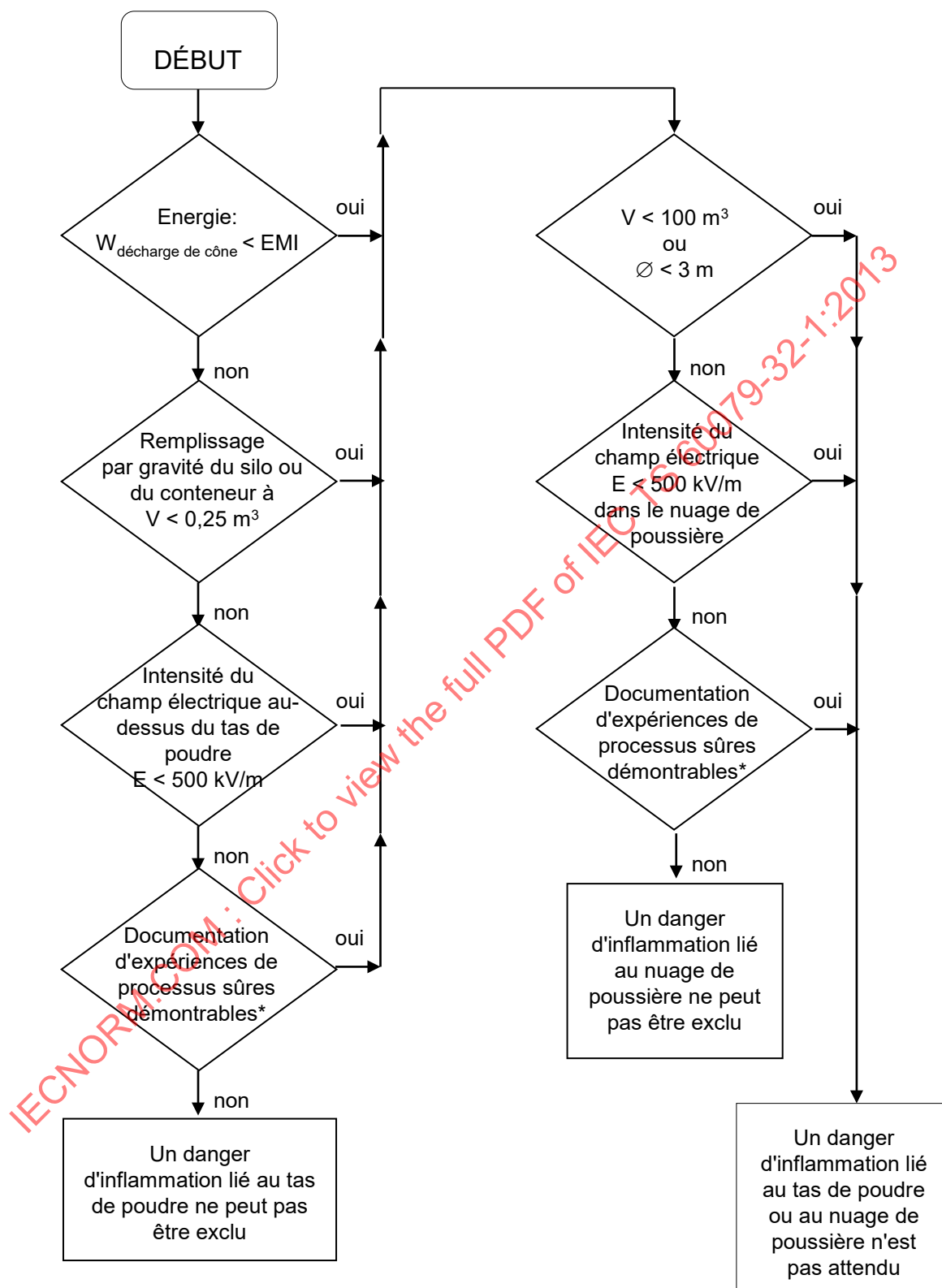
* voir 9.4.5.2

Figure 1 — Organigramme: évaluation d'un matériau en vrac avec $\rho \leq 1 \text{ M}\Omega \text{ m}$



* voir 9.4.5.2

Figure 2 — Organigramme: évaluation d'un matériau en vrac avec $1 \text{ M}\Omega \text{ m} < \rho \leq 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$



* voir 9.4.5.2

Figure 3 — Organigramme: évaluation d'un matériau en vrac avec $\rho > 10 \text{ G}\Omega \text{ m}$

9.4.5.2 Documentation d'expériences de processus sûres démontrables

Si, d'après les organigrammes des Figures 1 à 3, le danger d'inflammation est exclu selon l'étape décisionnelle "Documentation d'expériences de processus sûres démontrables", il convient d'analyser les dangers d'explosion de manière approfondie et de les soumettre à une évaluation. Dans ce contexte, il ne doit pas être oublié que les modifications mineures dans le processus, le produit, l'équipement, les contenants, etc. peuvent avoir un effet significatif sur l'occurrence et l'inflammabilité des décharges ainsi que l'occurrence et la concentration d'une atmosphère explosive. Il convient d'expliquer la justification pertinente expliquant même les modifications les plus marginales et leurs conséquences possibles dans le cadre d'un document relatif à la protection contre les explosions. Dans tous les cas, il convient de prendre des mesures de protection (décharge d'explosion, inertage, conception du confinement, par exemple) lorsque des sources d'inflammation crédibles ne peuvent pas être exclues et qu'une atmosphère inflammable est présente.

NOTE En Europe, le document relatif à la protection contre les explosions est rédigé conformément à la Directive 99/92/CE.

9.4.5.3 Conteneurs conducteurs et dissipatifs comportant des revêtements internes conducteurs ou dissipatifs

Outre les mesures répertoriées au 9.3, il convient d'utiliser uniquement des revêtements internes conducteurs et dissipatifs en zones dangereuses s'ils sont mis à la terre de façon sûre et qu'ils restent à la terre lors de leur retrait ou placement dans le conteneur. Cela peut être accompli, par exemple, en établissant un contact à la terre sûr avec le conteneur et un contact à la terre sûr avec la personne lors du retrait ou placement des revêtements dans le conteneur. Dans le cas contraire, il convient de ne pas sortir ou placer des revêtements conducteurs et dissipatifs dans le conteneur en zone dangereuse.

9.4.5.4 Conteneurs conducteurs et dissipatifs comportant des revêtements internes isolants

En règle générale, il convient d'éviter l'utilisation de revêtements internes isolants étant donné le risque de décharges glissantes de surface. Il est permis de les utiliser uniquement si, en plus des mesures répertoriées au 9.3, au moins l'une des conditions suivantes est respectée:

- a) volume $< 0,25 \text{ m}^3$,
- b) tension de claquage $< 4 \text{ kV}$ (6 kV dans le cas de matériaux tissés);
- c) épaisseur du revêtement intérieur $> 10 \text{ mm}$;
- d) preuve documentée démontrant l'absence de décharges glissantes de surface.

NOTE Des décharges glissantes de surface peuvent se produire selon l'épaisseur, la résistivité et la tension de claquage du revêtement intérieur, ainsi que les propriétés électriques du matériau en vrac. Elles ne sont pas censées se produire dans le cas de couches fines de peinture et de revêtements polymères $< 50 \mu\text{m}$ habituellement trouvés à l'intérieur des conteneurs en raison de la tension de claquage faible de ces revêtements.

Si la résistivité du matériau en vrac est inférieure à $100 \text{ M}\Omega \text{ m}$, il convient de le relier à la terre.

La mise à la terre peut, par exemple, être effectuée en introduisant un ou plusieurs tuyaux ou tiges métalliques jusqu'au fond du conteneur. Il convient de les introduire avant que ne soit ajouté le matériau en vrac conducteur.

9.4.5.5 Conteneurs isolants

En règle générale, il convient d'éviter l'utilisation de conteneurs isolants étant donné le risque de décharges glissantes de surface. Il est permis de les utiliser uniquement si, en plus des mesures répertoriées au 9.3, au moins l'une des conditions a) à d) définies au 9.4.5.4 est respectée. Si la résistivité du matériau en vrac est inférieure à $100 \text{ M}\Omega \text{ m}$, il convient de le relier à la terre. Il convient d'éviter les décharges de cône.

NOTE Des décharges glissantes de surface peuvent se produire selon l'épaisseur, la résistivité et la tension de claquage du conteneur, ainsi que les propriétés électriques du matériau en vrac.

9.4.5.6 Conteneurs isolants comportant des revêtements internes

En règle générale, il convient de ne pas utiliser de revêtements internes conducteurs dans des conteneurs isolants étant donné le risque qu'ils soient isolés de la terre. Si des revêtements internes conducteurs sont indispensables, il convient de les mettre à la terre de façon sûre.

Il convient d'évaluer les revêtements internes isolants des conteneurs isolants comme des conteneurs isolants conformément au 9.4.5.5.

9.5 Exigences supplémentaires relatives aux matériaux en vrac en présence de gaz inflammables et de fumées

9.5.1 Généralités

En présence de gaz ou vapeurs inflammables, une combinaison de la concentration en gaz ou vapeur et de la concentration de matériaux en vrac en suspension (voir 3.14) permet de déterminer si un mélange de gaz ou vapeur/air inflammable ou un mélange hybride (mélange de gaz ou vapeurs inflammables et de poussières inflammables dans l'air) est formé. L'énergie minimale d'inflammation (EMI) du mélange est essentiellement déterminée par la quantité de gaz ou de vapeur; elle se situe généralement sous la EMI de la poussière pure. Le gaz ou la vapeur inflammable peut être produit par une autre source (c'est le cas, par exemple, si une poudre est ajoutée à un liquide inflammable) ou par la poudre elle-même (si elle contient un solvant significatif ou qu'elle peut évoluer en gaz inflammable, par exemple).

Il convient de faire preuve d'une grande prudence lors de la manipulation de poudres imprégnées de solvant étant donné que, lors de la manipulation de grandes quantités de poudres isolantes ou de résistivité moyenne, les décharges aigrettes incendiaires pour l'atmosphère gaz/vapeur ou hybride générée ne peuvent pas être évitées.

Au lieu de faire une distinction entre la résistivité faible, moyenne ou élevée des matériaux en vrac comme c'est le cas lorsqu'aucun gaz ou vapeur inflammable n'est présent, la limite importante concernant la résistivité du matériau en vrac en présence de gaz ou vapeurs inflammables est seulement de 100 MΩ m.

Les exigences suivantes s'appliquent uniquement aux gaz et vapeurs appartenant aux groupes d'explosion IIA et IIB. En zones dangereuses, l'inertage pour le Groupe d'explosion IIC est nécessaire.

9.5.2 Mesures dans le cas d'une résistivité supérieure à 100 MΩ m

En règle générale, il convient d'éviter la manipulation à découvert de matériaux en vrac imprégnés de solvant possédant une résistivité supérieure à 100 MΩ m. Lorsque la manipulation de tels matériaux ne peut pas être évitée, d'autres mesures de prévention ou de protection contre l'explosion sont normalement exigées, en particulier lors de la manipulation en grandes quantités. Ces mesures incluent notamment:

- a) l'inertage;
- b) le traitement sous vide des matériaux imprégnés de solvant;
- c) le traitement à une température considérablement inférieure au point d'éclair;
- d) le traitement au sein d'un équipement antidéflagrant;
- e) l'exclusion du mélange hybride; ou
- f) des mesures structurelles particulières.

NOTE Etant donné que la manipulation de matériaux en vrac possédant une résistivité supérieure ou égale à 100 MΩ m engendre habituellement un niveau élevé de charges électrostatiques, les décharges aigrettes ne peuvent pas être évitées et l'inflammation peut donc se produire.

9.5.3 Mesures dans le cas d'une résistivité inférieure à 100 MΩ m

Si la résistivité du matériau en vrac est inférieure à 100 MΩ m (comme c'est le cas avec les matériaux en vrac contenant un solvant polaire, par exemple), il convient de manipuler le matériau en vrac dans un équipement mis à la terre conducteur ou dans tout autre type d'équipement offrant un point de mise à la terre suffisamment élevé pour le matériau en vrac.

NOTE 1 Dans le cas de grandes quantités de matériaux en vrac, un échantillon représentatif est exigé pour effectuer une évaluation de la résistivité. A défaut de la résistivité, la nature et la quantité de solvant peuvent également être utilisées aux fins d'une évaluation.

NOTE 2 Le matériau en vrac ainsi que le liquide inflammable peuvent se charger à des niveaux dangereux lorsqu'ils sont versés dans un conteneur ou ajoutés à un liquide.

9.5.4 Remplissage de matériaux en vrac dans un conteneur

Le remplissage de matériaux en vrac dans un conteneur contenant des gaz ou vapeurs inflammables peut entraîner la génération de niveaux de charges dangereuses à différents endroits (conteneur à vider, revêtement intérieur, goulotte de décharge ou entonnoir, produit tombant dans le récepteur de collecte, récepteur de collecte, produit dans le récepteur de collecte ou opérateurs). Par conséquent, le remplissage de matériaux en vrac est préférentiellement effectué avec un système fermé et/ou automatisé, généralement sous atmosphère de gaz inerte.

NOTE 1 L'accumulation de charges durant le remplissage de matériaux en vrac à partir de fûts en métal/plastique ou à partir de sacs en plastique a occasionné beaucoup d'incendies et d'explosions par le passé.

NOTE 2 L'accumulation de charges se produit lorsqu'un matériau en vrac est déchargé à partir d'un conteneur ou d'un sac ou lorsqu'il s'écoule à travers une goulotte, un tuyau ou un entonnoir.

Il convient d'éviter le plus possible l'ajout manuel dans un récipient ouvert. Si l'ajout de poudre à découvert dans un conteneur contenant une atmosphère explosive ne peut pas être évité, il convient de prendre des mesures particulières pour réduire l'accumulation de charges:

- a) Il convient que les conteneurs ou contenants à vider soient en matériau conducteur ou dissipatif.
- b) Pendant le vidage, il convient de mettre à la terre les conteneurs ou contenants conducteurs et de mettre les conteneurs ou contenants dissipatifs en contact avec la terre.

NOTE 1 Des exemples de matériaux dissipatifs utilisés pour la fabrication de conteneurs incluent le papier, les matériaux composites dissipatifs et certains papiers plastifiés. Pour les contenants réalisés en matériau dissipatif (sacs en papier, par exemple), le fait qu'un opérateur touche la terre avec ses mains suffit. Dans ce cas, il convient que le sol, les chaussures et les gants soient dissipatifs et que la résistance de mise à la terre ne soit pas majorée par des contaminants.

NOTE 2 Durant le stockage, les contenants peuvent perdre leur propriété du fait du vieillissement, de l'adsorption ou si l'humidité relative est faible. Des mesures visant à augmenter l'humidité relative dans les zones de stockage peuvent être nécessaires, en particulier en hiver.

NOTE 3 Les sacs en plastique dissipatifs ne sont normalement pas mis à la terre au moyen d'une pince de mise à la terre, mais par un contact à la terre (par l'opérateur seul, par exemple).

NOTE 4 Il est avantageux de manipuler les sacs, sachets, etc. sur un support de table ou d'étagère conducteur avec une surface propre mise à la terre.

- c) Il convient de ne pas utiliser de revêtements isolants s'ils peuvent entrer en contact avec des gaz/vapeurs inflammables.
- d) Il convient d'utiliser des revêtements internes conducteurs uniquement dans des conteneurs conducteurs ou dissipatifs. Il convient de s'assurer qu'ils aient un bon contact avec le conteneur mis à la terre et qu'ils restent à la terre lors de leur retrait ou placement dans le conteneur. Dans le cas contraire, il convient de ne pas les retirer ni les placer dans le réservoir en zone dangereuse. Pendant toute manipulation, il convient que le revêtement intérieur ne se détache pas du conteneur.

- e) Il est permis d'utiliser des revêtements dissipatifs dans des contenants conducteurs ou dissipatifs. Il convient de s'assurer qu'ils aient un bon contact avec le conteneur mis à la terre et qu'ils restent en contact avec la terre lors de leur retrait ou placement dans le conteneur. Dans le cas contraire, il convient de ne pas les retirer ni les placer dans le réservoir en zone dangereuse. Pendant toute manipulation, il convient que le revêtement intérieur ne se détache pas du conteneur.
- f) Il convient d'éviter le plus possible l'utilisation de contenants multicouches ou de contenants comportant des revêtements isolants. Si de tels dispositifs doivent être utilisés pour d'autres raisons, les conditions suivantes doivent être respectées:
 - Il convient que le revêtement isolant ne dépasse pas 2 mm d'épaisseur, et
 - Il convient que toutes les couches conductrices ou dissipatives du contenant soient toujours mises à la terre ou en contact avec la terre.
- g) Il convient que les appareils auxiliaires utilisés pour l'ajout de matériaux en vrac soient conducteurs et mis à la terre. Il convient que les goulottes et entonnoirs aient une longueur maximale de 3 m.

NOTE Parmi les exemples d'appareils auxiliaires, citons les pelles, les entonnoirs, les goulottes, etc.

- h) Il convient de garantir la mise à la terre de tous les opérateurs impliqués.
- i) Il convient que le débit auquel sont ajoutés les matériaux en vrac soit limité à 1 kg/s.

Etant donné le niveau de risque élevé inhérent à ces opérations, il peut néanmoins être nécessaire d'adopter des mesures de contrôle supplémentaires afin d'atteindre le niveau de sécurité exigé.

Si, après l'ajout de matériaux en vrac, une suspension ou émulsion se forme dans le réservoir de réception – même si ce n'est que pendant une courte période – il convient de tenir compte du fait que l'agitation d'un tel système polyphasique peut générer une accumulation de charges dangereuses indépendamment de la procédure de charge. Dans ces cas, le 7.9.4 doit être pris en compte.

NOTE 3 L'ajout de pigments lors de la fabrication de colorants, laques et peintures est un exemple type.

9.6 Grands récipients pour vrac souples (GRVS)

9.6.1 Généralités

Les grands récipients pour vrac souples (GRVS) sont utilisés dans l'industrie pour le stockage et le transfert de poudres et granules. Ils se composent généralement de polypropylène ou d'un matériau isolant solide et résistant similaire.

Les opérations de remplissage et de vidage peuvent générer une charge électrostatique qui peut s'accumuler sur le produit ainsi que sur le tissu dans lequel est fabriqué le GRVS ou sur plusieurs parties de celui-ci. Une inflammation peut survenir si la charge accumulée est libérée sous la forme d'une décharge incendiaire en présence d'une atmosphère inflammable. Des décharges d'allumage, des décharges aigrettes, des décharges de cône et des décharges glissantes de surface peuvent se produire lors de l'utilisation de GRVS.

Les exigences et les caractéristiques qu'il convient qu'un GRVS respecte dépendent de la nature et de la sensibilité de l'atmosphère inflammable présente pendant les opérations de remplissage et de vidage. L'objectif final de la construction d'un GRVS est d'éviter que le tissu des GRVS engendre des décharges incendiaires pendant leur utilisation prévue. Etant donné que des décharges d'inflammabilité différente (c'est-à-dire différents types de décharges, tels que les décharges d'allumage, les décharges aigrettes et les décharges glissantes de surface) peuvent être générées, la nécessité de leur exclusion et par conséquent les exigences concernant la construction du GRVS dépendent également de l'utilisation prévue du GRVS. C'est pourquoi différents types de GRVS ont été établis, à savoir le Type A, B, C ou D (voir IEC 61340-4-4):

- Les GRVS de Type A sont constitués de tissu ou de plastique; ils n'incorporent pas de mesures contre l'accumulation d'électricité statique.
- Les GRVS de Type B sont constitués de tissu ou de plastique; ils sont conçus de manière à empêcher l'occurrence de décharges d'allumage et de décharges glissantes de surface.
- Les GRVS de Type C sont constitués de tissu ou de plastique conducteur, ou entrelacés avec des fils ou filaments conducteurs; ils sont conçus de manière à empêcher l'occurrence de décharges incendiaires, de décharges aigrettes et de décharges glissantes de surface. Les GRVS de Type C sont destinés à être mis à la terre pendant les opérations de remplissage et de vidage.
- Les GRVS de Type D sont constitués de tissu antistatique empêchant l'occurrence de décharges incendiaires, de décharges aigrettes et de décharges glissantes de surface; il n'est pas nécessaire de procéder à une mise à la terre du GRVS.

Selon le mécanisme appliqué pour exclure les décharges incendiaires, les exigences qu'il convient que les différents types de GRVS respectent se réfèrent soit aux paramètres purement physiques tels que la tension de claquage et la conductivité (Types B et C), soit à des procédures plus générales pour lesquelles il convient de démontrer l'absence de décharges incendiaires (Type D). Ces exigences sont définies dans l'IEC 61340-4-4.

Il convient d'utiliser les quatre types de GRVS de la façon indiquée dans le Tableau 19. Concernant les autres types de GRVS ou les GRVS de type inconnu, il convient de les utiliser en présence d'atmosphères inflammables seulement après une évaluation approfondie par un expert.

Il convient que les pochettes porte-documents réalisées en matériau isolant respectent les exigences de l'IEC 61340-4-4, qui sont similaires à celles définies au 6.3. Dans le cas de pochettes porte-documents pour le Type C, il convient de prendre en compte qu'elles sont généralement renforcées par un tissu conducteur mis à la terre qui empêche une charge superficielle élevée.

Tableau 19 — Utilisation des différents types de GRVS

Produit en vrac contenu dans un GRVS	Environnement		
	Atmosphère non inflammable	Zones de poussières 21-22 ^b	Zones de gaz 1-2 ^b (groupes d'explosion IIA/IIB) ^c
EMI > 1 000 mJ	A,B,C,D	B,C,D	C,D ^d
3 mJ < EMI ≤ 1 000 mJ	B,C,D	B,C,D	C,D ^d
EMI ≤ 3 mJ	C,D	C,D	C,D ^d

^a Mesurée conformément à l'IEC 61241-2-3, l'ASTM E2019 et l'EN 13821 avec un circuit de décharge capacitif (aucune inductance ajoutée).

^b Voir D.2 pour la définition des zones.

^c Voir D.3 pour une explication des groupes d'explosion.

^d Il convient de limiter l'utilisation du Type D aux groupes d'explosion IIA/IIB avec une EMI ≥ 0,14 mJ.

NOTE 1 Des précautions supplémentaires sont généralement nécessaires lorsqu'une atmosphère de gaz ou de vapeur inflammable est présente à l'intérieur du GRVS (comme c'est le cas avec les poudres imprégnées de solvant, par exemple).

NOTE 2 L'atmosphère non inflammable inclut les poussières avec une EMI > 1 000 mJ.

NOTE 3 La limite EMI de 3 mJ est basée sur l'inflammabilité des décharges de cône. Les décharges de cône peuvent avoir une énergie considérablement supérieure dans un GRVS de Type B par rapport à un GRVS de Type C ou D, car la paroi d'un GRVS de Type C ou D est proche du potentiel nul. En se basant sur ce fait, la distribution du champ interne est telle que dans un GRVS de Type C ou D, les décharges de cône ne sautent au maximum que la moitié du diamètre du GRVS. Un calcul avec la formule donnée au A.3.7 pour le plus grand GRVS couramment utilisé (diamètre 1,5 m) génère 3 mJ pour de la poudre possédant une taille médiane de seulement 0,055 mm dans un GRVS de Type B tandis que, dans un GRVS de Type C ou D, la limite de 3 mJ n'est atteinte qu'avec une poudre grossière possédant une taille médiane de 0,27 mm ou plus. Cependant, de telles poudres grossières ont généralement une EMI supérieure à 3 mJ.

Pour que des décharges glissantes de surface se produisent à partir d'un GRVS en pratique, il est généralement nécessaire de traiter une poudre de résistivité élevée d'une manière qui produit des niveaux élevés de génération de charges électrostatiques (transfert pneumatique, par exemple). Si ces conditions ne sont pas respectées, en particulier avec des poudres de EMI moyenne ou élevée, une évaluation d'expert approfondie peut conclure que le risque de décharge glissante de surface incendiaire est très faible.

L'aptitude à utiliser un GRVS en toute sécurité dans des atmosphères explosives dangereuses peut varier si une doublure interne est installée dans le GRVS. Les combinaisons de GRVS et de doublure interne qui peuvent être utilisées en toute sécurité en atmosphères dangereuses sont décrites dans le Tableau 20. De plus, il convient que certaines combinaisons de GRVS et de doublure interne suivent certaines précautions. Ces précautions sont également fournies dans le Tableau 20.

**Tableau 20 — Doublures internes et GRVS:
combinaisons admissibles et non admissibles en atmosphères dangereuses**

GRVS ^a	Doublure interne ^b		
	Type L1	Type L2	Type L3
Type B	Non admissible	Admissible	Admissible
Type C	Admissible ^c	Admissible	Non admissible
Type D	Non admissible	Admissible ^d	Non admissible
^a Il convient de ne pas utiliser les GRVS de Type A dans des atmosphères explosives dangereuses, quel que soit le type de revêtement intérieur utilisé. ^b Il convient de ne pas retirer les revêtements internes de GRVS vides en présence d'atmosphères explosives dangereuses. ^c Pour s'assurer que la doublure interne est correctement mise à la terre, il convient que la résistance d'au moins un côté de la doublure interne aux points de mise à la terre sur le GRVS soit inférieure à 10 MΩ, mesurée conformément au 9.3 de l'IEC 61340-4-4:2012 dans les conditions spécifiées au 8.1 de l'IEC 61340-4-4:2012. ^d Il convient que la combinaison de GRVS et de revêtement intérieur respecte les exigences définies au 7.3.2 de l'IEC 61340-4-4:2012, lorsqu'elle est soumise à un essai dans les conditions spécifiées au 8.2 de l'IEC 61340-4-4:2012.			
NOTE Les décharges électrostatiques provenant de revêtements conducteurs isolés peuvent occasionner des chocs douloureux pour les opérateurs ou interrompre le fonctionnement de l'équipement électrique/électronique.			

- Les doublures internes de Type L1 sont composées de matériaux possédant une résistivité superficielle sur au moins une surface inférieure à 10 MΩ et, si nécessaire, une tension de claquage à travers le matériau inférieure à 4 kV.
- Les doublures internes de Type L2 sont composées de matériaux possédant une résistivité superficielle sur au moins une surface comprise entre 1 GΩ et 1 TΩ et une tension de claquage à travers le matériau inférieure à 4 kV.
- Les doublures internes de Type L3 sont composées de matériaux possédant une résistivité superficielle supérieure à 1 TΩ et une tension de claquage à travers le matériau inférieure à 4 kV.

NOTE Les mesures de tension de claquage ne sont nécessaires que pour certaines configurations de doublures internes de Types L1 et L2, c'est-à-dire lorsque l'une des surfaces possède une résistivité superficielle supérieure à 1 TΩ. Des spécifications plus complètes pour les doublures internes de Types L1, L2 et L3 sont définies dans l'IEC 61340-4-4.

Il convient de ne pas utiliser de doublures internes conçues dans des matériaux qui contiennent une couche conductrice intercalée entre deux couches isolantes dans les GRVS de Type B ou D. Si de telles doublures internes sont utilisées dans des GRVS de Type C, il convient de mettre la couche conductrice à la terre de façon sûre.

Concernant les autres types de doublures internes ou les doublures internes de type inconnu, il convient de les utiliser en présence d'atmosphères inflammables seulement après une évaluation approfondie par un expert.

Il convient que les sangles et les boucles de levage isolantes des GRVS respectent la restriction de largeur indiquée dans le Tableau 3. Il convient de ne pas utiliser de raccords métalliques (manilles) pour relier les sangles et les câbles des GRVS de Types B et D. Concernant les GRVS de Type C, il convient de les mettre à la terre.

9.6.2 Précautions supplémentaires lors de l'utilisation de GRVS

Il convient de ne pas stocker sur, fixer à, voire placer provisoirement des objets conducteurs isolés (outils, boulons, clips, etc.) n'importe quel type de GRVS pendant les opérations de remplissage et de vidage. Même avec les GRVS de Type C, la nature approximative de certains matériaux de GRVS peut empêcher des objets conducteurs placés sur le GRVS d'être en contact avec des éléments conducteurs dans le tissu du GRVS.

En zones dangereuses, il convient de mettre correctement à la terre tous les objets conducteurs situés à proximité immédiate d'un GRVS (c'est-à-dire à moins de 1 m environ) durant les opérations de remplissage et de vidage.

Il convient de prendre des précautions pour empêcher la contamination d'un GRVS par des substances (eau, rouille, huile, graisse, etc.) susceptibles d'engendrer un danger d'inflammation ou de nuire à la dissipation de charge.

10 Electricité statique lors de la manipulation d'explosifs et d'appareils électro-explosifs

10.1 Fabrication, manipulation et stockage d'explosifs

10.1.1 Généralités

L'électricité statique accumulée sur des conducteurs isolés ou des personnes peut entraîner l'inflammation d'explosifs avec des conséquences graves, voire catastrophiques. Il existe différents types d'explosifs (solide, poudre ou liquide) qui peuvent être rencontrés sous de nombreuses formes (chargés en vrac, mis en sac ou sous plastique, agglomérés, compactés, moulés ou versés dans des conteneurs en métal ou en plastique). Avant de manipuler ou de traiter des explosifs, il convient de prendre en compte les recommandations spécifiques données du 10.1.2 au 10.1.4, mais également de se référer aux articles du présent document portant sur les opérations particulières à effectuer.

L'énergie nécessaire dans une étincelle pour causer l'inflammation d'un explosif dépend du type et de l'état physique de l'explosif. En règle générale, les explosifs primaires sont nettement plus sensibles que les agents propulseurs ou les explosifs détonants tandis que les compositions pyrotechniques présentent différents degrés de sensibilité.

L'étendue des précautions qu'il convient d'appliquer dépend de l'énergie d'étincelle minimale pour l'inflammation, et les explosifs peuvent être répartis en trois classes selon leur énergie d'étincelle minimale. Il est essentiel de comprendre que l'énergie d'étincelle minimale pour l'inflammation des explosifs est mesurée dans le cadre d'un essai spécialisé concernant l'utilisation spécifique avec des explosifs.

Les trois catégories d'explosifs ainsi que les précautions qu'il convient d'adopter à leur égard sont données au 10.1.2, au 10.1.3 et au 10.1.4. Il convient de ne pas s'écarter de ces recommandations sans solliciter des conseils d'experts. Dans l'industrie des explosifs, des techniques de mise à la terre spécialisées sont utilisées pour les explosifs sensibles ou très sensibles.

Il convient de maintenir une humidité relative de plus de 40 %. Une humidité supérieure peut être exigée en cas de manipulation de substances plus sensibles.

10.1.2 Protection de premier degré

Ces explosifs comparativement insensibles ont une énergie d'étincelle minimale pour l'inflammation supérieure à 450 mJ, et les précautions données ici sont suffisantes lors de leur manipulation.

Il convient de mettre à la terre tous les grands objets conducteurs comme les installations et équipements fixes. Lorsque la mise à la terre est effectuée au moyen de conducteurs métalliques, il convient que la résistance de mise à la terre soit inférieure à 10 Ω . Cette résistance indique une mise à la terre fiable avec un conducteur métallique. Des matériaux non métalliques peuvent également être utilisés pour la mise à la terre sous réserve qu'ils respectent les exigences de l'Article 13.

10.1.3 Protection intermédiaire

Ces explosifs sensibles possèdent une sensibilité comprise entre les valeurs données au 10.1.2 et au 10.1.4, et possèdent des énergies d'étincelle minimales pour l'inflammation supérieures à 1 mJ et inférieures ou égales à 450 mJ.

Selon les propriétés de l'explosif spécifique et la manière dont il est traité, un certain assouplissement de l'ensemble des précautions données au 10.1.4 peut être acceptable. Il convient de solliciter des conseils d'experts pour déterminer le niveau des précautions applicables à chaque cas particulier.

10.1.4 Protection de second degré

L'énergie d'étincelle minimale pour l'inflammation de ces explosifs très sensibles est inférieure ou égale à 1 mJ et les précautions suivantes sont exigées:

- a) Il convient de mettre à la terre tous les équipements, y compris les éléments mobiles et portatifs. Il convient que la résistance de mise à la terre ne dépasse pas 10 Ω dans le cas de pièces métalliques et 100 k Ω dans tous les autres cas. Il convient d'exclure rigoureusement les matériaux isolants.
- b) Il convient de mettre à la terre toutes les personnes au moyen de sols d'une résistance de fuite maximale de 50 k Ω et de chaussures d'une résistance de fuite maximale de 100 k Ω . Il convient également d'installer un moniteur de résistance du personnel à chaque entrée de zone où le port de telles chaussures est exigé. Lors de la manipulation de compositions possédant des énergies d'inflammation de moins de 0,1 mJ, il convient de prendre en compte l'installation de moniteurs de résistance du personnel sur les différentes stations de travail.
- c) Il convient de ne pas porter de vêtements externes en matières isolantes. Il ne convient en aucun cas de retirer ses vêtements dans la zone où sont manipulés des explosifs (voir 11.5).
- d) Il convient d'éviter les objets conducteurs susceptibles d'agir comme des accélérateurs d'étincelles (personnes portant des anneaux, doigts humides, outils ou fils conducteurs, par exemple).
- e) Il convient que l'humidité relative de l'atmosphère ne dépasse pas 65 %.
- f) Il convient d'empêcher qu'un certain nombre de faibles capacités ne se couplent électriquement ensemble pour fournir une capacité nettement supérieure.
- g) Il convient d'éviter l'utilisation de gants isolants. Il est conseillé d'éviter complètement l'utilisation de gants dans les cas, où la toxicité ou d'autres éléments ne l'interdisent pas.

10.2 Manipulation d'appareils électro-explosifs

10.2.1 Généralités

Les appareils électro-explosifs (tels que les détonateurs électriques) peuvent être enflammés par inadvertance par une décharge d'électricité statique, soit via la tête du détonateur soit entre le boîtier métallique et la tête du détonateur. De nombreux appareils électro-explosifs peuvent être plus sensibles à l'énergie électrostatique dans cette dernière configuration. L'énergie statique peut s'accumuler sur une personne isolée consécutivement à ses mouvements, et les personnes et les équipements peuvent se charger pendant des orages, des tempêtes de poussière ou de sable sec. Une charge peut également être générée pendant le chargement pneumatique de trous de forage avec des explosifs de minage granuleux.

Les précautions pour éviter ce danger sont données dans les paragraphes 10.2.2 à 10.2.4 inclus; il convient de les observer systématiquement lorsque des appareils électro-explosifs sont traités (à savoir pendant le stockage, la mise en circulation et la préparation avant l'utilisation).

Il convient de reconnaître l'existence d'autres sources de dangers lors de la manipulation d'appareils électro-explosifs (accumulation d'énergie à partir de sources de rayonnement électromagnétique et essai de continuité du circuit de mise à feu, par exemple). Dans ces circonstances, il convient de se reporter aux manuels appropriés.

10.2.2 Mise à la terre

Il convient que les personnes aient un chemin à la terre conducteur adéquat (en portant des chaussures conductrices, par exemple) et qu'elles portent préférentiellement des vêtements de type coton. Cependant, dans certains environnements (comme les mines), la mise à la terre continue des personnes peut ne pas être faisable et il est recommandé de suivre systématiquement les procédures données au 10.2.3 et au 10.2.4.

Il convient de mettre à la terre tous les équipements conducteurs de la zone, tels que les rails et tuyauteries, ainsi que toutes les machines. Il convient de noter que d'autres codes de pratique peuvent également exiger la liaison des conducteurs les uns aux autres afin d'éviter toute différence de potentiel entre eux, ce qui peut pousser un courant à circuler dans les fils conducteurs en contact avec eux.

Si un explosif de type granulaire est chargé par voie pneumatique dans un trou de forage, il convient de mettre à la terre l'équipement de chargement. Il convient que le flexible soit conducteur ou dissipatif et qu'il soit mis à la terre. Des codes de pratique spécialisés existent à ce sujet et il convient de s'y référer.

10.2.3 Précautions pendant le stockage et la mise en circulation

Les appareils électro-explosifs sont reçus par le fabricant; les fils conducteurs sont pliés et enveloppés tandis que les extrémités dénudées sont enroulées ensemble. S'il est constaté que les extrémités dénudées sont déconnectées, il convient que l'opérateur se mette à la terre lui-même et les reconnecte. Si des champs électromagnétiques significatifs peuvent exister, une attention particulière devra être accordée pour s'assurer que de telles procédures n'engendrent pas de danger d'inflammation par radiofréquences. Il convient de ne pas conditionner ou transporter ces appareils dans des matériaux isolants (sacs en polyéthylène ou paquets en mousse de polystyrène, par exemple); l'utilisation de paquets métalliques ou conducteurs est conseillée dans ce cadre et ils peuvent également fournir une certaine protection contre tout danger lié aux radiofréquences.

10.2.4 Précautions pendant la préparation avant l'utilisation

Lorsque le câble de mise à feu a été disposé, il convient de relier les fils nus à chaque extrémité entre eux ainsi qu'à une terre adéquate (telle qu'une tige métallique enfoncée dans le sol) qu'il convient de mouiller si elle est très sèche. Il convient d'éloigner ce câble ainsi que les autres fils des équipements conducteurs de la zone, tels que les rails et tuyauteries.

Il convient de procéder à un contrôle pour déterminer si les fils de l'appareil sont reliés ensemble. Après les avoir connectés si nécessaire (voir 10.2.3), il convient de les mettre à la terre via l'électrode de terre ou toute autre terre adéquate à l'extrémité de mise à feu. Les fils de l'appareil peuvent alors être déroulés et disposés en longueur sur le sol.

Il convient que l'opérateur s'assure qu'ils soient mis à la terre avant qu'il ne manipule le boîtier métallique de l'appareil afin de le relier au câble de mise à feu.

Il convient de prendre des précautions adéquates contre l'électricité atmosphérique (foudre, par exemple) selon le type d'appareil utilisé.

11 Electricité statique sur les personnes

11.1 Remarques d'ordre général

Chose très importante, il convient de mettre à la terre les personnes pouvant être exposées à des atmosphères inflammables ayant une EMI inférieure à 10 mJ afin d'empêcher qu'elles se chargent en électricité statique. L'isolation à la terre peut se produire du fait que de nombreux revêtements de sol et les semelles des chaussures sont fabriqués en matériaux isolants. Il existe de nombreux mécanismes capables d'électriser une personne, dont voici quelques exemples:

- a) marcher sur le sol;
- b) passer de la position assise à la station debout;
- c) retirer des vêtements;
- d) manipuler des plastiques;
- e) verser ou prélever des matières chargées dans un conteneur;
- f) se tenir debout à proximité d'objets fortement chargés (courroie en mouvement, par exemple).

Si une personne chargée en électricité statique touche un objet conducteur (poignée de porte, main courante, conteneur métallique, par exemple), une étincelle peut se produire au point de contact. De telles étincelles, qui ne sont pas susceptibles d'être vues, entendues voire ressenties par une personne, peuvent être à l'origine d'inflammations. Les étincelles provenant d'une personne sont capables d'enflammer des gaz, des vapeurs voire une partie des poussières les plus sensibles.

Chose très importante, il convient de mettre à la terre les personnes pouvant être exposées à des atmosphères inflammables ayant une EMI < 10 mJ afin d'empêcher qu'elles se chargent en électricité statique. Pour cela, le mieux est d'avoir un sol conducteur ou dissipatif et de s'assurer que les personnes portent des chaussures dissipatives. Néanmoins, dans les Zones 2 et 22, la mise à la terre des personnes est exigée uniquement lorsque la génération de charges est continue.

NOTE La tension la plus défavorable que les personnes peuvent habituellement acquérir est d'environ 20 kV. La capacité type du corps humain étant d'environ 150 pF, la quantité maximale d'énergie emmagasinée est d'environ 30 mJ. Cependant, étant donné la résistance ohmique élevée de la peau humaine, environ deux tiers de l'énergie emmagasinée sont perdus. Pour cette raison, les étincelles provenant du corps humain ont une énergie d'inflammation équivalente maximale de seulement 10 mJ excepté lorsque de grands outils conducteurs sont manipulés.

11.2 Sols électrostatiquement dissipatifs

La résistance de fuite recommandée pour les sols est comprise entre 1 M Ω et 100 M Ω (voir Article 13). Dans de nombreux environnements industriels, les matériaux de revêtement conventionnels (béton nu ou grilles d'acier, par exemple) sont suffisamment conducteurs. Afin de rester efficace, il convient que le sol ne soit pas recouvert d'une peinture isolante, de tapis en caoutchouc ou de film plastique, etc. Il convient également de veiller à éviter l'accumulation de contaminants tels que la résine ou d'autres substances isolantes, et il convient de contrôler régulièrement sa résistance.

En cas de revêtement de sol en métal nu (treillis et plaque métalliques, par exemple), l'utilisation de chaussures adéquates (voir 11.3) est nécessaire pour empêcher des chocs électriques dangereux aux personnes.

Il existe plusieurs normes publiées avec différentes méthodes de mesure pour les essais de conductivité du sol. Dans l'IEC 61340-4-1, l'essai est effectué avec une électrode circulaire de diamètre (65 $\pm$ 5) mm appuyée contre le sol par un poids de 2,5 kg (sol dur) ou 5,0 kg (sol mou). Dans l'ISO 10965, la mesure est effectuée avec une électrode circulaire de diamètre 65 mm appuyée contre le sol par un poids de 5,0 kg. La norme ASTM F150 utilise une

électrode circulaire de diamètre 63,5 mm appuyée contre le sol par un poids de 2,5 kg. L'EN 1081 utilise une électrode triple appuyée contre le sol par une personne qui s'y tient debout. Comme chaque méthode donne une résistance légèrement différente, il est important de mentionner la méthode de mesure utilisée dans les spécifications du produit et dans les rapports d'essai.

NOTE 1 Dans des conditions idéales, les différences entre les résistances mesurées selon les différentes méthodes décrites ci-dessus sont faibles. En réalité, des surfaces rugueuses (zones de service extérieures en béton avec une teneur en pierre significative et des affleurements de pierre, par exemple) peuvent influencer la résistance mesurée en fonction de la surface d'électrode utilisée et de la pression appliquée. Des résultats améliorés peuvent être obtenus en plaçant des matelas en mousse conductrice sous les électrodes de l'IEC 61340-4-1 pour réduire la rugosité de plusieurs mm. Cependant, il peut ne pas être possible de reproduire la situation pratique où une personne porte des chaussures à semelles dures.

NOTE 2 Les valeurs données dans cet alinéa ne s'appliquent pas nécessairement aux situations, où des explosifs sensibles sont manipulés. Pour les exigences particulières à ce cas, voir Article 10.

11.3 Chaussures dissipatives et conductrices

Il existe deux types de chaussures qui sont utilisées pour mettre à la terre les personnes afin d'empêcher qu'elles se chargent en électricité statique:

- a) les chaussures dissipatives comportent une exigence de résistance basse et haute (voir 3.9). Le niveau haut est suffisamment bas pour empêcher la formation de charge électrostatique dans la plupart des situations et le niveau bas offre une certaine protection en cas de contact accidentel avec l'alimentation du réseau électrique. Ce type de chaussure convient à une utilisation générale;

NOTE 1 L'ISO 20345 définit les chaussures antistatiques (dissipatives) comme ayant une résistance mesurée conformément à l'ISO 20344 comprise entre 100 kΩ et 1 GΩ. Les chaussures définies selon l'ISO 20345 peuvent ne pas satisfaire aux exigences de résistance spécifiées dans le présent document.

NOTE 2 Il convient de ne pas porter de chaussures dissipatives comme principale mesure de protection contre l'électricité du réseau étant donné que cela peut encourager des personnes à travailler sur des systèmes électriques sous tension, sachant que les chaussures peuvent être inefficaces dans certaines circonstances (sol humide, par exemple).

NOTE 3 La résistance des matériaux dissipatifs constitués de caoutchouc contenant du noir de carbone augmente parfois lorsque la température diminue.

- b) les chaussures conductrices possèdent une résistance très faible (voir 3.3) et sont portées, par exemple, par les personnes qui doivent manipuler des explosifs sensibles. Il convient de ne pas porter ce type de chaussure lorsqu'il existe un risque de contact accidentel avec l'alimentation du réseau électrique. En outre, ce type de chaussure ne convient pas à une utilisation générale.

NOTE Sauf dans le cas d'explosifs très sensibles, seules les chaussures dissipatives sont généralement exigées.

Les chaussettes ou les bas ne compromettent généralement pas les propriétés des différents types de chaussures; toutefois, certains types de couvre-chaussures et de semelles orthopédiques peuvent le faire.

Les chaussures dissipatives utilisées conjointement avec un sol conducteur ou dissipatif permettent de contrôler et dissiper les charges électriques statiques présentes sur le corps humain. Il convient que la résistance de mise à la terre par le biais de chaussures dissipatives et d'un sol conducteur soit comprise entre 100 kΩ et 100 MΩ. En cas de manipulation d'explosifs, il convient que la résistance de mise à la terre par le biais de chaussures et du sol soit inférieure à 1 MΩ, ou inférieure à 150 kΩ si l'énergie d'étincelle minimale pour l'inflammation des explosifs est inférieure ou égale à 1 mJ.

Les résistances peuvent être mesurées au moyen d'appareils de contrôle de conductivité des chaussures disponibles dans le commerce qui mesurent la résistance entre une barre métallique tenue à la main et une plaque métallique sur laquelle la personne se tient debout par l'intermédiaire du corps et des pieds. Sinon, la résistance entre une chaussure remplie de grains de plomb et une plaque d'acier contre laquelle la chaussure est appuyée peut être mesurée conformément à l'IEC 61340-4-3.

La résistance des chaussures peut augmenter du fait de l'accumulation de débris sur les chaussures, de l'utilisation de semelles orthopédiques et de la zone de contact au sol réduite. Il convient de soumettre la conductivité des chaussures à des essais fréquents afin de confirmer leur fonctionnalité.

11.4 Appareils supplémentaires pour la mise à la terre des personnes

Dans les cas où les chaussures dissipatives n'offrent pas une mise à la terre adéquate de la personne, il convient d'utiliser des appareils supplémentaires. De tels appareils comprennent les bracelets, les sangles de mise à la terre talon/orteils ainsi que les couvre-chaussures conducteurs.

Il convient de choisir des appareils supplémentaires de manière à empêcher l'accumulation de charges électriques statiques dangereuses sans majorer le risque d'électrocution. Dans la plupart des situations pratiques, la mise à la terre des personnes est réalisée en fournissant une résistance de mise à la terre de 100 M Ω ou moins. La nécessité de protéger les personnes contre les risques d'électrocution au moyen d'un appareil de mise à la terre impose une résistance minimale entre la peau et le sol de 100 k Ω . Selon le contact cutané et le contact avec le sol, en particulier durant les activités où la totalité de la semelle des chaussures n'est pas en contact avec le sol (lorsque la personne est agenouillée, par exemple), l'efficacité peut être compromise. Il convient que les appareils de mise à la terre aient une résistance minimale de 100 k Ω pour la protection contre les chocs.

Le type d'appareil commercial le plus simple est un bracelet de mise à la terre comportant une résistance intégrée, offrant une résistance de mise à la terre d'environ 100 k Ω pour la protection contre les chocs. Les bracelets de ce type sont surtout utilisés avec les capots de ventilation et dans d'autres emplacements, où la limitation de la mobilité de l'opérateur peut être tolérée. Des systèmes de bracelet à détache rapide peuvent être nécessaires dans les cas, où une évacuation d'urgence est nécessaire. Un capot peut être équipé de deux cordons de mise à la terre spiralés externes, munis de fixations de poignet qui peuvent être retirées et portées par des utilisateurs. Il convient de vérifier périodiquement que la continuité de la terre respecte les limites spécifiées par le fabricant.

11.5 Vêtements

Malgré le fait que les vêtements modernes, réalisés en fibres synthétiques, puissent facilement se charger en électricité statique, ils ne constituent dans la plupart des cas pas un risque d'inflammation sous réserve que la personne soit mise à la terre au moyen de chaussures (voir 11.3) et d'un sol (voir 11.2) adéquats, ou par tout autre moyen tel qu'un bracelet et un cordon de mise à la terre. Il convient néanmoins que les vêtements soient ajustés et taillés de manière adéquate (voir ISO 13688) et qu'ils offrent une pleine liberté de mouvement lorsque tous les appareils de fermeture ont été fixés conformément aux instructions du fabricant. Il convient que les vêtements soient le plus ajustés possible et qu'ils ne soient pas retirés ni desserrés dans les zones, où des atmosphères inflammables sont susceptibles d'être présentes (Zones 0, Zone 1, Zone 20 et Zone 21, par exemple).

Même si la probabilité d'une inflammation par une personne reliée à la terre due à n'importe quel type de vêtement est généralement très faible, l'électrification des personnes (lorsque quelqu'un sort d'un chariot élévateur, par exemple) est considérablement majorée par le port de vêtements possédant une résistivité élevée.

Dans les situations où il existe une combinaison d'activités de forte charge et de vapeurs ou gaz inflammables de faible EMI, l'utilisation de vêtements dissipatifs peut être exigée. Le Tableau 21 fournit des recommandations sur les situations où des vêtements dissipatifs peuvent être exigés. Les limites frontières concernant les vêtements dissipatifs sont données dans le Tableau 1.

Les méthodes d'essai et les exigences de performance concernant les vêtements de protection individuelle destinés à être utilisés dans des atmosphères inflammables sont

fournies dans l'EN 1149. Il convient que des vêtements dissipatifs recouvrent tout autre vêtement. Il convient de mettre les vêtements externes à la terre en les mettant en contact avec la personne qui les porte ou en utilisant une prise de terre directe. Dans le cas de vêtements comportant des fibres conductrices intégrées, la mise à la terre de la personne avec une résistance de moins de 100 MΩ est suffisante.

Les vêtements destinés à être utilisés dans des atmosphères inflammables appartiennent aux équipements de protection individuelle de Catégorie II. Il convient qu'ils soient conformes en Europe aux exigences essentielles de santé et de sécurité de la Directive européenne 89/686/CEE.

NOTE 1 Bien que la soie et la plupart des fibres synthétiques constituent d'excellents isolateurs et que les sous-vêtements réalisés dans ces matériaux mettent en évidence des phénomènes statiques, aucune preuve n'existe pour indiquer que le port de tels sous-vêtements constitue un danger.

NOTE 2 Les vêtements comportant des fibres conductrices intégrées ne protègent pas les personnes des chocs électriques.

NOTE 3 La résistance des matériaux dissipatifs constitués de caoutchouc contenant du noir de carbone peut parfois augmenter lorsque la température diminue.

Tableau 21 — Détermination de l'exigence concernant le port de vêtements de protection électrostatiquement dissipatifs et autres éléments d'équipements de protection individuelle

Zone dangereuse	Probabilité de charge	$0,02 \text{ mJ} \leq \text{EMI} \leq 0,20 \text{ mJ}$	$\text{EMI} > 0,20 \text{ mJ}$
Zone 0	Elevée	Exigé	Exigé
	Faible		Recommandé
Zone 1	Elevée		
	Faible		Non exigé
Zone 2	Elevée	Recommandé	
	Faible	Non exigé	
Zone 20, 21 ou 22	-	Non exigé	

Dans les atmosphères enrichies en oxygène, telles que celles susceptibles d'être présentes dans les installations de remplissage d'oxygène liquide, une vapeur provenant du gaz refroidi peut imprégner les vêtements d'un employé, ce qui augmente sa combustibilité. Les vêtements peuvent alors s'enflammer facilement par les décharges d'électricité statique provenant des personnes ou des vêtements chargés.

La EMI des atmosphères enrichies en oxygène peut être inférieure à la EMI de la substance inflammable généralement trouvée dans les ouvrages de référence. S'il est déterminé qu'une atmosphère enrichie en oxygène peut se produire, il convient de s'assurer que la valeur EMI utilisée pour les besoins de l'appréciation du risque corresponde à la valeur qui a été mesurée dans l'atmosphère enrichie d'oxygène.

Il convient de solliciter des conseils d'experts en ce qui concerne le choix des vêtements ou équipements de protection électrostatiquement dissipatifs destinés à être utilisés dans des zones dangereuses avec une EMI inférieure à 0,02 mJ. Les exigences spécifiées dans la norme EN 1149-5 sont basées sur des atmosphères explosives possédant une EMI supérieure ou égale à 0,02 mJ.

Si des vêtements sont contaminés par des solvants inflammables, il existe un risque d'inflammation électrostatique si les vêtements sont retirés ou que d'autres activités de forte charge se produisent. Sauf en cas de risque immédiat de brûlure chimique ou de toxicité, il convient d'arroser les vêtements contaminés par des solvants inflammables dans de l'eau ou de laisser le solvant inflammable s'évaporer avant que les vêtements ne soient retirés.

Les fibres métalliques (acier inoxydable, fibres recouvertes d'argent, etc.) et autres fibres de résistivité très faible qui peuvent être utilisées dans des vêtements dissipatifs n'empêchent pas les dangers de chocs électrostatiques. Par conséquent, il convient de n'utiliser de telles fibres qu'avec précaution dans les zones, où il peut exister un risque de décharge électrostatique.

NOTE Les fibres métalliques peuvent engendrer des chocs à faibles nuisances ressentis aux endroits où les vêtements sont en contact avec la peau (aux poignets et au cou, par exemple). De tels chocs sont causés par des décharges localisées entre la peau et les fibres métalliques.

Les propriétés électrostatiques des vêtements de protection peuvent varier selon la durée de port, après les procédures de nettoyage ou après une exposition à des conditions extrêmes. Il convient d'entretenir les vêtements conformément aux instructions du fabricant. Par exemple, il peut être nécessaire de retraiter les vêtements avec un apprêt spécial chaque fois qu'ils sont lavés.

11.6 Gants

Les gants en matériaux isolants peuvent laisser les objets placés dans la main se charger en électricité et conserver leur charge. Lorsque les gants sont portés dans les Zones 0 et 1, il convient donc qu'ils soient réalisés en matériaux conducteurs ou dissipatifs. Ils peuvent faire l'objet d'essais lorsqu'ils sont portés conjointement avec des chaussures. Généralement, la résistance est mesurée entre une barre métallique tenue à main nue et une plaque métallique sur laquelle la personne se tient debout. Il convient d'appliquer les mêmes limites de résistance que celles prescrites pour les chaussures (voir 11.3).

Les gants destinés à être utilisés dans des atmosphères inflammables appartiennent aux équipements de protection individuelle de Catégorie II. Il convient qu'ils soient conformes en Europe aux exigences essentielles de santé et de sécurité de la Directive européenne 89/686/CEE.

NOTE 1 Les procédures d'essai décrites dans l'alinéa ci-dessus sont adéquates pour les vérifications effectuées par l'utilisateur et le contrôle quotidien des gants dans le système gant/personne/chaussures. Pour les essais de qualification de type, des normes de produits supplémentaires peuvent s'appliquer. Par exemple, le CEN est en train de mettre au point une norme de produit concernant les gants de protection individuelle contre les risques électrostatiques.

NOTE 2 Dans certains cas, la précaution élémentaire pour la protection des mains est la prévention de l'exposition à des substances toxiques et il peut ne pas être possible de spécifier un gant qui respecte simultanément les objectifs de dissipation de charge statique et de résistance chimique. Dans de tels cas, il peut être nécessaire de fournir un autre moyen de mise à la terre pour les objets conducteurs tenus à la main.

Lorsque le chemin de mise à la terre prévu pour les objets conducteurs ou les objets placés dans la main s'effectue via une personne portant des gants, il convient que la résistance électrique mesurée via les gants soit inférieure à la limite de résistance de mise à la terre globale. Pour une utilisation générale, il convient que la résistance de mise à la terre via les gants soit inférieure à 100 MΩ. Pour les applications plus critiques (manipulation d'explosifs sensibles, par exemple), il convient que la résistance de mise à la terre via les gants soit inférieure à 100 kΩ.

11.7 Autres éléments

Les casques de protection, appareils respiratoires, masques, etc. en plastique peuvent se charger en électricité, mais s'ils sont utilisés avec précaution conformément aux recommandations du fabricant, ils ne sont pas susceptibles de présenter un risque d'inflammation électrostatique en Zone 1, en Zone 2, en Zone 20, en Zone 21 ou en Zone 22, sous réserve qu'il n'existe pas d'activités de forte charge. Comme pour les vêtements, il peut exister des risques d'inflammation électrostatique en cas de combinaison d'activités de forte charge (essuyage d'un masque, par exemple) et de vapeurs ou gaz inflammables de faible EMI. Les recommandations données dans le Tableau 21 peuvent également être interprétées pour une utilisation avec d'autres éléments d'équipements de protection individuelle. Dans les zones où l'utilisation d'éléments dissipatifs est indiquée dans le Tableau 21, il convient que les équipements de protection individuelle soient réalisés en

matériaux conducteurs ou dissipatifs (voir Tableau 1) et qu'ils soient mis à la terre par l'intermédiaire du corps de la personne. Il convient de limiter l'emploi de matériaux isolants dans la fabrication des équipements de protection individuelle à la zone comme indiqué dans le Tableau 3.

12 Choc électrostatique

12.1 Introduction

La décharge d'électricité statique qui traverse le corps d'une personne peut occasionner un choc électrostatique. L'énergie de décharge la plus faible qu'une personne peut ressentir sur son corps ou en provenance de son corps se situe aux alentours de 1 mJ. Lorsque cette énergie est majorée, des variations sont observées en réponse. Certaines personnes éprouvent une sensation d'inconfort dès 10 mJ en raison de la contraction musculaire, tandis que d'autres peuvent supporter plusieurs centaines de mJ avant de ressentir une contraction musculaire nette. Néanmoins, une énergie de 1 000 mJ affecte tout le monde de manière sévère. Dans les incidents où des personnes se sont évanouies, l'énergie de décharge a été estimée à plusieurs joules.

Etant donné que dans la plupart des situations les énergies de décharge électrostatique se situent en dessous de 100 mJ, les chocs physiologiques sérieux sont très rares. Quelle que soit la sévérité du choc, la réaction musculaire involontaire consécutive au choc peut être à l'origine d'un accident conduisant à des lésions graves voire mortelles (chute d'un instrument ou précipitation d'une chute, par exemple). Outre ces dangers, la décharge électrostatique qui précède normalement ces chocs peut également enflammer des atmosphères inflammables.

Les chocs électrostatiques liés à l'électricité statique diffèrent quelque peu des autres formes de chocs électriques du fait qu'ils sont de durée courte (moins de 1 ms), qu'ils impliquent habituellement des tensions élevées (de quelques kV à des dizaines de kV) et que les niveaux sûrs/dangereux sont exprimés en énergie ou en charge, contrairement au courant.

12.2 Décharges liées aux chocs électrostatiques

L'électricité statique donne lieu à différents types de décharges dont les propriétés sont décrites en détail du A.3.2 au A.3.7. Les types de décharges suivants sont considérés comme les plus pertinents pour les chocs électrostatiques subis par les personnes:

- a) des décharges glissantes peuvent se produire lorsqu'une personne se déplace à proximité d'un, ou touche un, isolant fortement chargé (solide ou liquide);
- b) des décharges d'allumage peuvent se produire lorsqu'une personne entre en contact avec un corps conducteur fortement chargé;
- c) des décharges glissantes de surface peuvent se produire lorsque, par exemple, une personne manipule des feuilles en plastique chargées de manière positive sur une face et de manière négative sur l'autre face ou qu'elle touche des poudres ou des granulés fortement chargés à l'intérieur d'un grand godet en plastique.

Les décharges électrostatiques sont considérées comme un danger direct pour la santé si l'énergie de décharge dépasse 350 mJ ou que la charge transférée dépasse 50 μC . Par conséquent, les décharges aigrettes ou les étincelles provenant de petits objets métalliques isolés (entonnoirs, canettes, outils à main) n'entraînent pas de chocs électrostatiques qui sont directement dangereux. Néanmoins, les décharges d'allumage provenant de grands objets et certaines décharges glissantes de surface peuvent être dangereuses dans la mesure où les énergies de ces deux types de décharges peuvent dépasser 1 J.

Les énergies de décharge de l'ordre de quelques mJ peuvent constituer un danger indirect pour la santé en raison du mouvement involontaire. De tels chocs peuvent causer des blessures dues au contact avec des machines en mouvement, voire des chutes. Même des chocs mineurs ne sont pas souhaitables vu qu'ils peuvent engendrer une anxiété inutile, ainsi que des troubles de la concentration.

12.3 Sources de chocs électrostatiques

De nombreux processus industriels et non industriels peuvent entraîner des chocs électrostatiques. Il existe deux scénarios définis en 1 et 2 ci-dessous qui décrivent comment de tels chocs électrostatiques peuvent se produire:

- 1a) il existe une source génératrice de charges; et
- 1b) la charge peut s'accumuler sur un objet, normalement un conducteur ou un isolant renforcé conducteur; et
- 1c) une personne est capable d'établir un contact avec l'objet.

ou

- 2a) il existe une source génératrice de charges; et
- 2b) une personne reçoit une tension élevée par charge directe ou induction; et
- 2c) la personne chargée touche ensuite un conducteur mis à la terre.

Des exemples de processus de génération de charges importantes incluent ce qui suit:

- a) courroies ou film se déplaçant rapidement sur des rouleaux;
- b) transfert pneumatique de matériaux;
- c) pompage de liquides de conductivité faible à travers des filtres ou d'autres restrictions;
- d) pulvérisation au moyen d'équipements de projection électrostatique;
- e) remplissage d'un GRVS de Type A avec des poudres ou des granules aux propriétés isolantes élevées;
- f) fuite de vapeur saturée humide;
- g) extincteurs d'incendie qui rejettent des gouttes ou des particules chargées;
- h) déplacement de chariots élévateurs ou d'autres véhicules sur des surfaces isolantes ou équipées de pneumatiques isolants.

12.4 Précautions à prendre pour éviter les chocs électrostatiques

12.4.1 Sources de chocs électrostatiques

Les chocs électrostatiques peuvent être dus à une accumulation de charges sur une personne ou sur des parties conductrices isolées ou sur des matériaux isolants dans un processus ou un équipement.

12.4.2 Chocs rapportés par des équipements ou des processus

De nombreux types d'équipements et de processus peuvent générer une charge électrostatique, mais cela passe souvent inaperçu. Cependant, il convient de toujours étudier les rapports d'employés ayant reçu des chocs électriques. Il est probable que ces chocs soient inoffensifs, mais ce n'est pas toujours le cas; cela peut être le signe que l'équipement est défectueux et dangereux.

La précaution la plus efficace pouvant être prise pour éviter la survenue de chocs électriques est la mise à la terre de l'ensemble des parties métalliques et conductrices de l'installation et des équipements (pour plus d'informations, voir Article 13). Toutefois, cette précaution n'est pas toujours possible et, même lorsqu'elle est mise en œuvre, des problèmes peuvent encore subsister en raison des matériaux (solides et liquides) isolants fortement chargés.

D'autres précautions incluent ce qui suit:

- a) Réduction de la vitesse de génération de charges. Cette précaution a une application limitée, mais l'utilisation d'additifs dissipatifs peut être efficace, en particulier lorsqu'ils sont utilisés avec des liquides;

- b) Réduction de l'accumulation de charges sur des objets non conducteurs. Les éliminateurs d'électricité statique sont efficaces pour éliminer les charges présentes sur les films et filets en mouvement;
- c) Protection des personnes contre le contact avec des parties chargées. Cette approche est efficace pour les processus tels que la projection électrostatique (voir 8.7) ou d'autres processus comportant des parties fortement chargées. Les personnes peuvent être protégées de tout contact avec de telles parties en utilisant une isolation adéquate, des écrans mis à la terre, etc.;
- d) Utilisation d'un matériau de sol ou de revêtement de sol dont la résistance de mise à la terre est inférieure à 100 MΩ. Les personnes, les véhicules, notamment les chariots élévateurs, ou les automobiles dans les parkings peuvent se charger en électricité lorsqu'ils se déplacent sur un sol de résistance élevée.

12.4.3 Chocs consécutifs à des personnes chargées

Les personnes se chargent souvent en électricité, soit directement (lorsqu'elles retirent un vêtement ou marchent sur un tapis) soit par induction (parce qu'elles se trouvent à proximité d'objets fortement chargés). Cela peut provoquer des chocs qui, même s'ils ne sont pas directement dangereux, peuvent être très gênants.

Les situations habituellement génératrices de charge sont lorsque des personnes marchent sur un plancher de résistance élevée ou lorsque des personnes assises sur des sièges recouverts de certaines matières se lèvent. Les activités telles que la poussée de chariots munis de roues isolantes peuvent aggraver la charge des personnes lorsqu'ils marchent.

Des chocs dus à l'accumulation de charges pendant la marche peuvent généralement être évités par l'utilisation de revêtements de sol ayant une résistance de mise à la terre inférieure à 100 MΩ.

La charge directe des personnes peut être réduite par le port de vêtements dissipatifs et à la mise à la terre de la personne par le biais, par exemple, de chaussures et d'un plancher conducteurs ou électrostatiquement dissipatifs (voir 11.2 et 11.3).

Cependant, il convient généralement de ne pas utiliser la mise à la terre de faible résistance (< 100 kΩ) étant donné qu'elle peut occasionner des décharges électriques plus sérieuses, par exemple lorsque la personne entre en contact avec un conducteur fortement chargé ou avec l'alimentation du réseau électrique.

12.5 Précautions à prendre dans les cas particuliers

12.5.1 Transfert pneumatique

Le déplacement de poudres, de granules ou de petits objets par soufflage ou aspiration dans des tuyaux entraîne souvent de grandes quantités de charge. Le matériau transporté ainsi que l'ensemble des parties du système de transfert (y compris la tuyauterie et les conteneurs placés à l'une ou l'autre des extrémités) peuvent tous se charger fortement.

En plus de la mise à la terre, il convient de prendre les précautions suivantes:

- a) Il convient de mettre à la terre toute agglomération d'objets conducteurs à l'intérieur d'un tuyau isolant avant de tenter de la débloquer. (Une tige métallique fixée à un fil conducteur mis à la terre convient);
- b) Lorsque des objets conducteurs transférés de manière pneumatique sont collectés dans un conteneur isolant, il convient de fournir un contact mis à la terre à la base du conteneur ou d'empêcher les personnes de toucher le contenu;
- c) Lorsque de la poudre ou des granules isolants transférés de manière pneumatique sont collectés dans des conteneurs isolants de grandes dimensions ($\geq 1 \text{ m}^3$), il convient d'empêcher les personnes de toucher le contenu (voir aussi 9.2 et 9.6).