

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 41

Deuxième édition — Second edition

1963

**Code international concernant les essais de réception sur place
des turbines hydrauliques**

International code for the field acceptance tests of hydraulic turbines



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA C.E.I.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

I.E.C. RECOMMENDATION

Publication 41

Deuxième édition — Second edition

1963

**Code international concernant les essais de réception sur place
des turbines hydrauliques**

International code for the field acceptance tests of hydraulic turbines



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	8
PRÉFACE	8
PREMIÈRE PARTIE — RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	
CHAPITRE I — OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION	
1. Types de turbines	12
2. Essais de réception	12
3. Sujets exclus	12
CHAPITRE II — TERMINOLOGIE, DÉFINITIONS, SYMBOLES ET UNITÉS	
1. Systèmes de mesure	14
2. Terminologie	14
2.1 Débit	14
2.2 Section	14
2.3 Vitesse moyenne	14
2.4 Pression	14
2.5 Poids spécifique de l'eau	16
2.6 Hauteur de chute et charges	16
2.7 Puissance absorbée et fournie	24
2.8 Rendement	24
2.9 Vitesse	24
2.10 Variation de vitesse	26
2.11 Variation de pression	26
2.12 Cavitation	28
3. Clarifications	28
4. Plaque signalétique	28
Tableau I: Variation de γ de l'eau	30
Tableau II: Variation de l'accélération g	32
CHAPITRE III — NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES TECHNIQUES	
1. Généralités	34
2. Garanties principales	34
2.1 Puissance	34
2.2 Rendement	34
3. Autres garanties	34
3.1 Variations de vitesse et de pression	34
3.2 Vitesse d'emballement	36
3.3 Erosion par cavitation	36
4. Durée des garanties	36
CHAPITRE IV — CONDITIONS A REMPLIR POUR LES ESSAIS	
1. Dispositions à prévoir sur l'installation	38
2. Ecart admissible par rapport aux conditions contractuelles	38
2.1 Exploitation pratique de la centrale	38
2.2 Fluctuations pendant un essai individuel	38
2.3 Ecart par rapport à la chute spécifiée	38
2.4 Niveau aval	40
3. Examen sur place	40

CONTENTS

	Pages
FOREWORD	9
PREFACE	9
PART 1 — GENERAL RECOMMENDATIONS	
CHAPTER I — OBJECT AND SCOPE	
1. Types of turbines	13
2. Acceptance tests	13
3. Excluded topics	13
CHAPTER II — TERMS, DEFINITIONS, SYMBOLS AND UNITS	
1. Measuring systems	15
2. List of terms	15
2.1 Rate of flow or discharge	15
2.2 Area	15
2.3 Mean velocity	15
2.4 Pressure	15
2.5 Specific weight of water	17
2.6 Head	17
2.7 Input and output	25
2.8 Efficiency	25
2.9 Speed	25
2.10 Speed variations	27
2.11 Pressure variations	27
2.12 Cavitation	29
3. Clarifications	29
4. Nameplate	29
Table I: Variation of ρ of water	31
Table II: Variation of the acceleration g	33
CHAPTER III — NATURE AND EXTENT OF TECHNICAL GUARANTEES	
1. General	35
2. Main guarantees	35
2.1 Output	35
2.2 Efficiency	35
3. Other guarantees	35
3.1 Speed and pressure variations	35
3.2 Runaway speed	37
3.3 Cavitation erosion	37
4. Period of guarantee	37
CHAPTER IV — TEST CONDITIONS TO BE FULFILLED	
1. Adequate provision for the test when the plant is designed	39
2. Permissible deviation from specified conditions	39
2.1 Practical plant operation	39
2.2 Fluctuations during individual test run	39
2.3 Deviation from specified head	39
2.4 Tailwater level	41
3. Investigation at the site	41

	Pages
CHAPITRE V — MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS	
1. Personnel	42
1.1 Autorité pour les essais	42
1.2 Chef des essais	42
1.3 Personnel, nombre et compétence	42
1.4 Représentation aux essais	42
2. Préparation des essais	42
2.1 Communication des dessins et documents	42
2.2 Inspection sur place	42
2.3 Mesures préalables	44
2.4 Examen après les essais	44
3. Accord sur le programme d'essais	44
3.1 Accord préalable	44
3.2 Programme général	44
3.2.1 Etendue et durée probable des essais	44
3.2.2 Nombre de groupes à essayer	44
3.2.3 Détails des mesures	44
3.2.4 Turbines Kaplan, avec ou sans came	44
3.2.5 Dispositions concernant les rendements pondérés	46
4. Instruments	46
4.1 Fourniture des appareils	46
4.2 Etalonnage des appareils	46
5. Relevés	46
6. Signature des comptes rendus	48
7. Procédure en cas de contestation ou de répétition	48
CHAPITRE VI — CALCUL DES RÉSULTATS	
1. Conversion aux conditions garanties	50
2. Incertitudes de mesure	50
3. Comparaison avec les garanties	52
4. Erreurs partielles de mesure	58
4.1 Débit	58
4.2 Surface libre	58
4.3 Pression	58
4.4 Puissance	58
4.5 Hauteur de chute	60
4.6 Rendement	60
CHAPITRE VII — RAPPORT FINAL	
1. Préparation du rapport	62
2. Teneur du rapport final	62
DEUXIÈME PARTIE — MÉTHODES DE MESURE	
CHAPITRE VIII — MÉTHODES DE MESURE DU DÉBIT	
1. Méthode de l'écran salé	66
2. Méthode pression-temps	78
3. Jaugeage aux moulinets	94
4. Méthode de dilution	120
5. Déversoir	122
6. Méthodes de mesure absolues par pesée et jaugeage volumétrique	126
7. Ecran mobile	128
8. Tubes de Pitot	130
9. Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi	132

	Page
CHAPTER V — TEST PROCEDURE	
1. Personnel	43
1.1 Authority for test	43
1.2 Chief of test	43
1.3 Personnel, number and competence	43
1.4 Presence at the tests	43
2. Preparations for test	43
2.1 Submission of drawings and relevant data	43
2.2 Inspection on site	43
2.3 Measurements before test	45
2.4 Inspection after test	45
3. Agreement on test procedure	45
3.1 Consent to procedure	45
3.2 General programme	45
3.2.1 Extent and estimated duration of test	45
3.2.1 Units to be tested	45
3.2.3 Details of measurements	45
3.2.4 Kaplan Turbine, with or without cam	45
3.2.5 Procedure for weighted efficiencies	47
4. Instruments	47
4.1 Provision of instruments	47
4.2 Calibration of instruments	47
5. Observations	47
6. Signing of records	49
7. Procedure in case of dispute or repetition	49

CHAPTER VI — COMPUTATION OF RESULTS

1. Reference to guaranteed conditions	51
2. Inaccuracies in measurement	51
3. Comparison with guarantee	53
4. Individual errors in measurement	59
4.1 Rate of water flow	59
4.2 Free level	59
4.3 Pressure	59
4.4 Output	59
4.5 Head	61
4.6 Efficiency	61

CHAPTER VII — FINAL REPORT

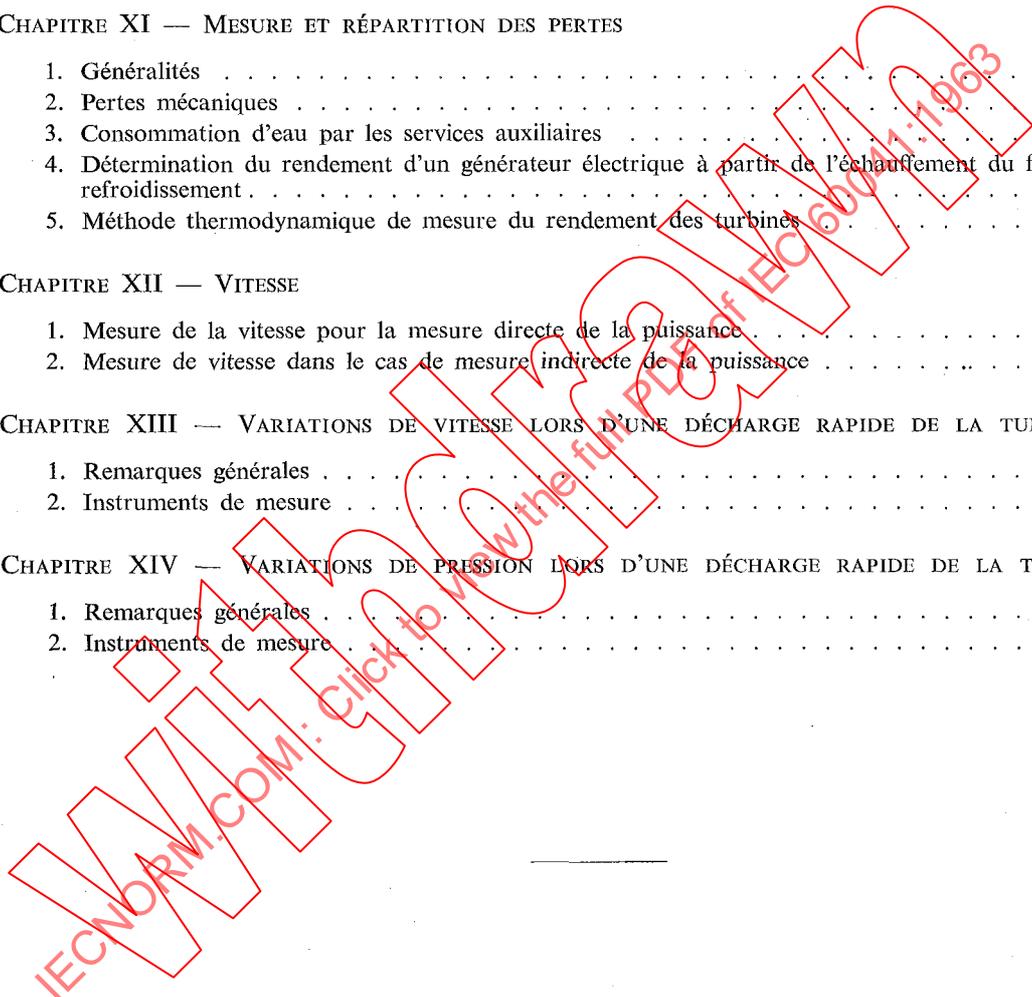
1. Preparation of report	63
2. Content	63

PART 2 — METHODS OF MEASUREMENT

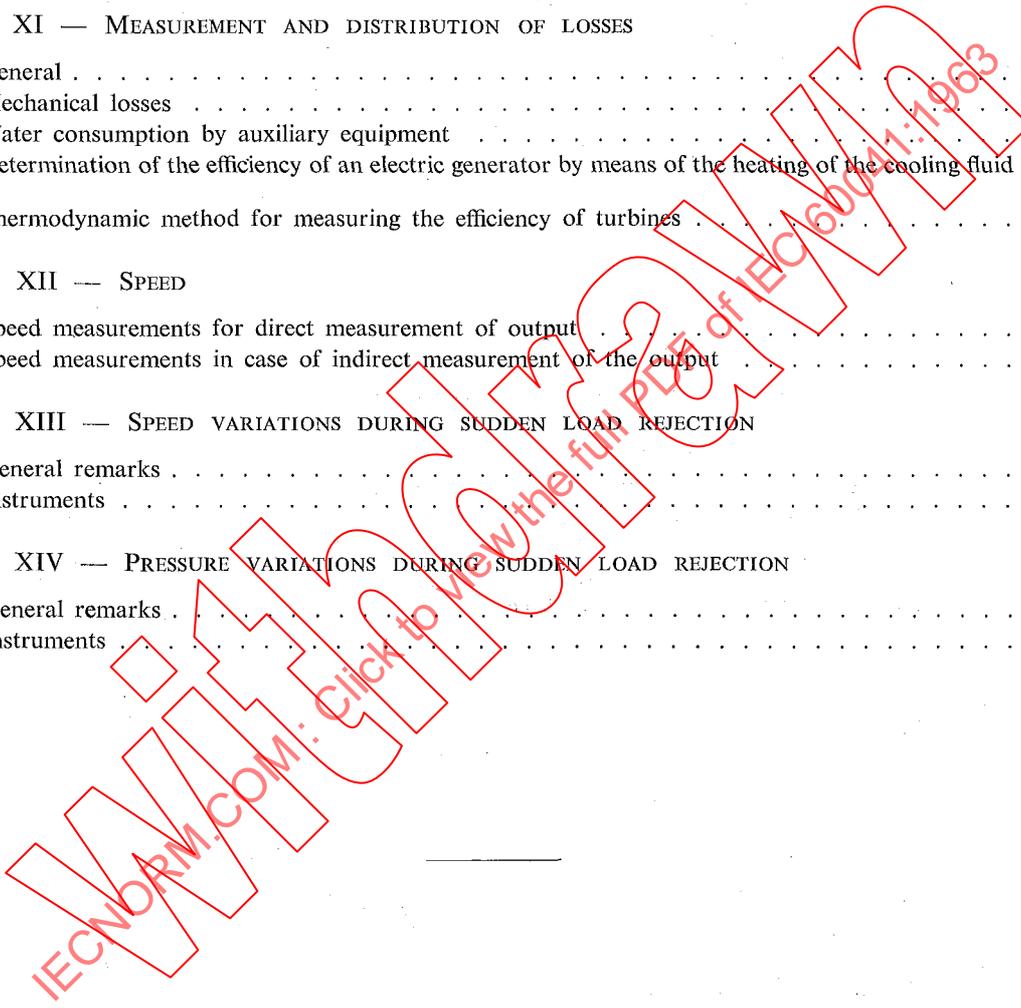
CHAPTER VIII — METHODS OF DISCHARGE MEASUREMENT

1. Salt velocity method	67
2. Pressure-time method	79
3. Currentmeter method	95
4. Dilution	121
5. Weir	123
6. Absolute measurement by weight and volumetric gauging methods	127
7. Travelling screen method	129
8. Pitot tubes	131
9. Orifices, nozzles and Venturimeters	133

	Pages
CHAPITRE IX — HAUTEUR DE CHUTE	
1. Remarques générales	134
2. Plans d'eau libres	134
3. Mesures de pression	142
4. Mesures de vide	158
CHAPITRE X — PUISSANCES	
1. Généralités	160
2. Méthodes indirectes de mesure des puissances	160
3. Méthodes directes de mesure des puissances	164
CHAPITRE XI — MESURE ET RÉPARTITION DES PERTES	
1. Généralités	168
2. Pertes mécaniques	168
3. Consommation d'eau par les services auxiliaires	180
4. Détermination du rendement d'un générateur électrique à partir de l'échauffement du fluide de refroidissement	182
5. Méthode thermodynamique de mesure du rendement des turbines	192
CHAPITRE XII — VITESSE	
1. Mesure de la vitesse pour la mesure directe de la puissance	200
2. Mesure de vitesse dans le cas de mesure indirecte de la puissance	200
CHAPITRE XIII — VARIATIONS DE VITESSE LORS D'UNE DÉCHARGE RAPIDE DE LA TURBINE	
1. Remarques générales	202
2. Instruments de mesure	202
CHAPITRE XIV — VARIATIONS DE PRESSION LORS D'UNE DÉCHARGE RAPIDE DE LA TURBINE	
1. Remarques générales	204
2. Instruments de mesure	204



	Page
CHAPTER IX — HEAD	
1. References	135
2. Free water level	135
3. Pressure measurements	143
4. Vacuum measurements	159
CHAPTER X — MEASUREMENT OF POWER OUTPUT	
1. General	161
2. Indirect method of power output measurement	161
3. Direct method of power output measurement	165
CHAPTER XI — MEASUREMENT AND DISTRIBUTION OF LOSSES	
1. General	169
2. Mechanical losses	169
3. Water consumption by auxiliary equipment	181
4. Determination of the efficiency of an electric generator by means of the heating of the cooling fluid	183
5. Thermodynamic method for measuring the efficiency of turbines	193
CHAPTER XII — SPEED	
1. Speed measurements for direct measurement of output	201
2. Speed measurements in case of indirect measurement of the output	201
CHAPTER XIII — SPEED VARIATIONS DURING SUDDEN LOAD REJECTION	
1. General remarks	203
2. Instruments	203
CHAPTER XIV — PRESSURE VARIATIONS DURING SUDDEN LOAD REJECTION	
1. General remarks	205
2. Instruments	205



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CODE INTERNATIONAL
CONCERNANT LES ESSAIS DE RÉCEPTION SUR PLACE
DES TURBINES HYDRAULIQUES**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C.E.I. exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C.E.I. dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 4, Turbines hydrauliques.

Elle fait suite à des publications antérieures de la C.E.I., à savoir à la Publication 29 (1914), Moteurs primaires pour installations électriques, et à la première édition de 1928 de la Publication 41; Fascicule de la C.E.I. relatif aux essais des turbines hydrauliques, dont elle constitue la deuxième édition. Ni l'une ni l'autre de ces deux publications ne décrivaient toutefois des méthodes ni des limitations pour les essais de garantie.

A la reprise des travaux du Comité d'Etudes N° 4 en 1952, la présidence et le secrétariat de ce comité furent confiés au Comité National des Etats-Unis et l'objectif immédiat fut la préparation d'un Code international concernant les essais sur place des turbines hydrauliques. Les principes généraux pour la préparation de ces travaux furent discutés à une réunion tenue à Philadelphie en 1954, après une période d'inactivité de 27 ans. Une décision concernant la structure du code et les différents chapitres qu'il devait contenir fut prise lors de la réunion qui s'est tenue à Munich en 1956 et au cours de laquelle plusieurs Groupes de Travail furent constitués en vue d'établir les projets des différents chapitres. A la suite de la réunion tenue à Zurich en 1957, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1961.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INTERNATIONAL CODE
FOR THE FIELD ACCEPTANCE TESTS
OF HYDRAULIC TURBINES**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This recommendation has been prepared by I.E.C. Technical Committee No. 4, Hydraulic turbines.

It follows on the earlier I.E.C. Publications, No. 29 (1914), Prime movers for electrical plant, Nomenclature of hydraulic turbines, and the first edition of Publication No. 41 (1928), I.E.C. Publication on the testing of hydraulic turbines, of which it constitutes the second edition. Neither of these earlier publications, however, described the methods or limitations for guarantee tests.

When the work of Technical Committee No. 4 was recommenced in 1952, with the United States National Committee holding the Secretariat and Chairmanship, the immediate objective was the preparation of an International Field Test Code for Hydraulic Turbines. The general lines along which this work was to be carried out was discussed at the meeting held in Philadelphia in 1954 after a lapse of 27 years. The outline of the code and the various chapters were decided upon at the meeting held in Munich in 1956, when a number of Working Groups were set up to prepare the drafts of the different chapters. Following the meeting held in Zurich in 1957, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1961.

Les pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
Finlande	Turquie
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Italie	

A la suite de modifications apportées au texte en vue de tenir compte des observations soumises pendant la période de vote, la Belgique et la Suède, qui avaient émis un vote négatif au sujet du projet diffusé suivant la Règle des Six Mois, ont fait savoir qu'elles retireraient leur vote négatif et approuvaient la publication telle qu'elle est éditée.

Comme c'est le cas pour tous les codes, il apparaîtra certainement souhaitable d'en entreprendre la révision et, après quelques années, il conviendra probablement de publier une édition révisée du code d'essai des turbines hydrauliques sur la base de l'expérience acquise par l'utilisation de ce code.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60047-965

Withdawn

The following countries voted explicitly in favour of publication :

Austria	Japan
Australia	Norway
Canada	Romania
Czechoslovakia	Switzerland
Denmark	Turkey
Finland	Union of Soviet Socialist Republics
France	United Kingdom
Germany	United States of America
Italy	

Following amendments to the text to take into account comments submitted during the voting period, Belgium and Sweden, which had cast a negative vote on the draft as circulated under the Six Months' Rule, signified that they withdrew their negative votes and approved the publication as at present issued.

As with all codes, revisions will be found desirable and, after the field test code for hydraulic turbines has been in use for several years, it will undoubtedly be desirable to issue a revised edition based on the experience gained in its use.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60047-1983

CODE INTERNATIONAL CONCERNANT LES ESSAIS DE RÉCEPTION SUR PLACE DES TURBINES HYDRAULIQUES

Première partie — Recommandations générales

CHAPITRE I — OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le but de ce code concernant les essais de réception sur place des turbines hydrauliques est de définir les termes et les grandeurs utilisés, de fixer les méthodes d'essais et les conditions de mesure de ces grandeurs, de déterminer les caractéristiques réalisées et de vérifier les garanties.

1. Types de turbines

Le présent code est applicable en général à toutes les turbines à action ou à réaction, quels que soient leur dimension ou leur type. En particulier, il s'applique aux turbines directement accouplées à des générateurs d'énergie électrique.

2. Essais de réception

2.1 Ce code régit les modalités des essais de réception sur place qui doivent permettre de déterminer si les garanties de la turbine sont remplies. Il fixe les règles de conduite de ces essais et prescrit les mesures à prendre en cas de contestation sur la conduite des essais. Il fixe la façon dont les résultats doivent être calculés ainsi que l'étendue, le contenu et le mode de présentation du rapport final.

2.2 Les essais de réception sur modèle feront l'objet d'un code distinct.

3. Sujets exclus

3.1 Ce code exclut tous les sujets à caractère purement commercial excepté ceux intimement liés à la bonne conduite des essais de réception.

3.2 Ce code ne concerne pas les détails de construction de la turbine ni les propriétés mécaniques de ses différentes parties.

INTERNATIONAL CODE FOR THE FIELD ACCEPTANCE TESTS OF HYDRAULIC TURBINES

Part 1 — General Recommendations

CHAPTER I — OBJECT AND SCOPE

The purpose of this code for field acceptance tests of hydraulic turbines is to define the terms and quantities which are used, to establish methods of testing and the way of measuring the quantities involved, so as to ascertain the performance of the turbine and to verify the guarantees.

1. Types of turbines

In general the code applies to any size of any type of reaction or impulse turbine. In particular it applies to turbines directly coupled to electric generators.

2. Acceptance tests

2.1 This code covers the arrangements for acceptance tests at the plant to determine the attainment of turbine guarantees. It determines the rules as to their conduct and prescribes the measures to be taken if the conduct of the tests is disputed. It deals with the way in which the results are to be computed and the range, content and style of the final report.

2.2 Model tests for acceptance purposes are dealt within another code.

3. Excluded topics

3.1 This code excludes all matters of purely commercial interest except those inextricably bound up with the conduct of the acceptance tests.

3.2 This code is not concerned with the structural details of the turbines nor with the mechanical properties of their components.

CHAPITRE II — TERMINOLOGIE, DÉFINITIONS, SYMBOLES ET UNITÉS

1. Systèmes de mesure

Le système métrique d'unités est adopté dans tout ce code mais d'autres systèmes pourront lui être préférés.

Les termes, définitions, symboles et unités adoptés dans ce code sont récapitulés ci-dessous :

2. Terminologie

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.1	<i>Débit</i>	Volume d'eau passant en une seconde dans une section spécifiée.	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.1	Débit de la turbine	Volume d'eau absorbé par seconde par la turbine, comprenant les fuites du presse-étoupe et des tuyaux d'équilibrage, mais à l'exclusion de l'eau utilisée pour le fonctionnement de l'alternateur et des machines auxiliaires et pour le refroidissement des paliers.	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.2	Débit garanti	Débit de la turbine correspondant aux valeurs garanties de la hauteur de chute, de la puissance et de la vitesse.	Q_r	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.3	Débit à vide	Débit de la turbine à vide à la vitesse normale et sous la hauteur de chute garantie.	Q_o	m ³ /s (ft ³ /s)
2.2	<i>Section</i> (voir figures 1 à 4)	Aire de la section transversale normale à la direction générale du courant.	A	m ² (ft ²)
2.2.1	Section d'entrée de la turbine	a) Dans les installations à surface libre, aire de la section fixée d'un commun accord à l'aval de la grille d'entrée de la turbine. b) Dans les installations comportant une conduite en charge, aire de la section transversale au point de mesure fixé d'un commun accord, près de la bêche de la turbine, à l'aval de la vanne de garde.	A_1	m ² (ft ²)
2.2.2	Section de sortie de la turbine	Dans les turbines à réaction : aire de la section de l'aspirateur normale à l'écoulement à la sortie du tuyau d'aspiration et définie d'un commun accord. Dans les turbines à action, l'aire de la section de sortie ne peut être définie; elle est supposée infiniment grande.	A_2	m ² (ft ²)
2.3	<i>Vitesse moyenne</i>	Valeur du débit divisée par l'aire de la section : $v = Q/A$	v	m/s (ft/s)
2.4	<i>Pression</i>	Pression en un point quelconque du système exprimée en force par unité de surface.	p	kp/cm ² (lbf/in ²)

CHAPTER II — TERMS, DEFINITIONS, SYMBOLS AND UNITS

1. Measuring systems

The metric system of units is adopted throughout the code but other systems shall be allowed if preferred.

The terms, definitions, symbols and units adopted in this code are listed below.

2. List of terms

Term	Definition	Symbol	Units
2.1	<i>Rate of Flow or Discharge</i>	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.1	Turbine discharge	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.2	Guaranteed discharge	Q_r	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.3	No-load discharge	Q_o	m ³ /s (ft ³ /s)
2.2	<i>Area</i> (see Figures 1 to 4)	A	m ² (ft ²)
2.2.1	Area at turbine inlet	A_1	m ² (ft ²)
2.2.2	Area at turbine outlet	A_2	m ² (ft ²)
2.3	<i>Mean velocity</i>	v	m/s (ft/s)
	$v = Q/A$		
2.4	<i>Pressure</i>	p	kp/cm ² (lbf/in ²)

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.4.1	Pression manométrique	Indication donnée par un appareil de mesure de pression en un point quelconque du système.	p_g	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.2	Pression à l'entrée de la turbine	Pression manométrique au point de mesure à l'entrée corrigée de la différence d'altitude entre l'appareil de mesure et ce point.	p_1	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.3	Pression à la sortie de la turbine	Pression manométrique au point de mesure à la sortie corrigée de la différence d'altitude entre l'appareil de mesure et ce point.	p_2	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.5	Poids spécifique de l'eau ¹⁾	Poids apparent dans l'air de l'unité de volume d'eau absorbé par la turbine.	γ	kp/dm ³ (lbf/ft ³)
2.6	<i>Hauteur de chute et charges</i>			
2.6.1	Hauteur manométrique (ou charge de pression)	Hauteur d'eau équivalente à la pression en un point de l'installation.	h_p	m (ft)
2.6.2	Hauteur dynamique (ou charge due à la vitesse)	Hauteur équivalente au carré de la vitesse moyenne divisé par 2 fois l'accélération de la pesanteur: $h_v = \frac{v^2}{2g}$	h_v	m (ft)
2.6.3	Hauteur potentielle (ou charge de position)	Altitude d'un point de mesure au-dessus du niveau de la mer ou d'un autre niveau de référence.	z	m (ft)
2.6.4	Hauteur totale (ou charge énergétique totale)	Somme de la hauteur potentielle, de la hauteur manométrique et de la hauteur dynamique, dans une section déterminée: $h_t = z + h_p + h_v$	h_t	m (ft)
2.6.5	Hauteur de chute nette	Hauteur utilisable pour faire travailler la turbine; elle est égale à la différence des hauteurs totales entre l'entrée et la sortie. (Voir exemples des figures 1 à 4.)	H_n	m (ft)

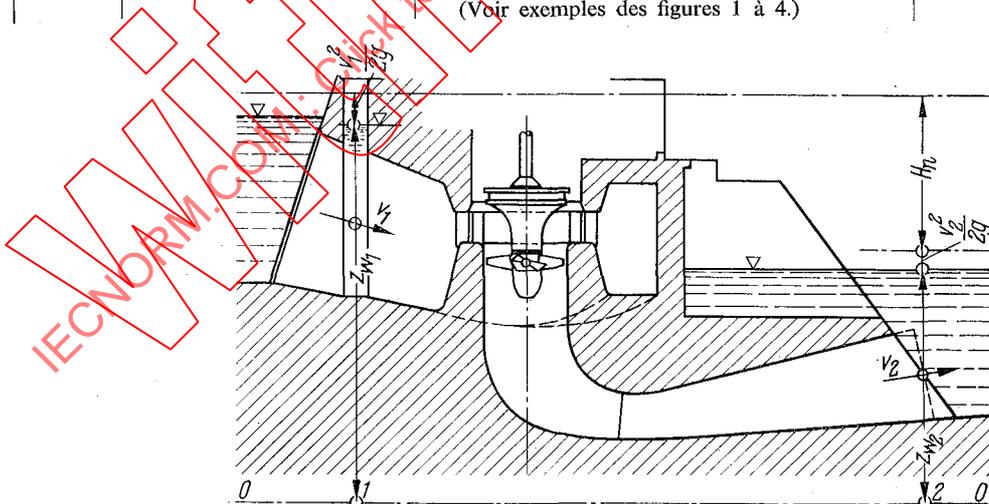


FIG. 1. — Turbine à réaction (Francis, Hélice, Kaplan). Bâche d'entrée à section rectangulaire, en béton, aspirateur courbé.

$$H_n = (z_{w1} - z_{w2}) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

¹⁾ Voir tableau I à la fin du chapitre 2: Valeurs de γ .

²⁾ Voir tableau II à la fin du chapitre 2: Valeurs de g .

Term	Definition	Symbol	Units	
2.4.1	Gauge pressure	The reading given by a gauge of the pressure at any point in the system.	p_g	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.2	Pressure at inlet to turbine	The gauge pressure at the inlet measuring point corrected for the elevation of gauge.	p_1	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.3	Pressure at outlet from turbine	The gauge pressure at the outlet measuring point corrected for elevation of gauge.	p_2	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.5	<i>Specific weight of water</i> ¹⁾	The weight in air of unit volume of water used by turbine.	γ	kp/dm ³ (lbf/ft ³)
2.6	<i>Head</i>			
2.6.1	Pressure head	The head of water equivalent to the pressure at any point in the system.	h_p	m (ft)
2.6.2	Velocity head	The head equivalent to the square of the mean velocity divided by twice the acceleration of gravity. $h_v = \frac{v^2}{2g}$ ²⁾	h_v	m (ft)
2.6.3	Potential head (Geodetic head)	Elevation of a measuring point above mean sea level or other reference datum.	z	m (ft)
2.6.4	Total head	The sum of potential head, pressure head and velocity head, in a given section. $h_t = z + h_p + h_v$	h_t	m (ft)
2.6.5	Net head	The head available for doing work on the turbine; it is the difference between total head at inlet and outlet. (See illustrative examples shown in Figures 1 to 4.)	H_n	m (ft)

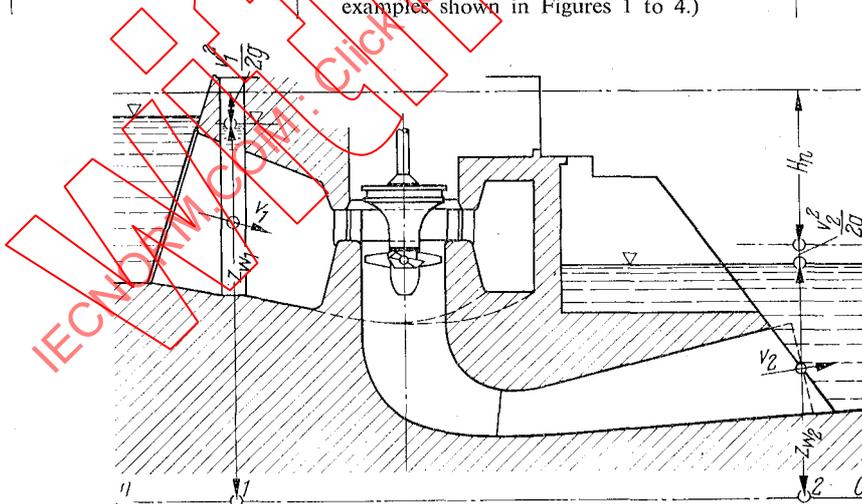


FIG. 1. — Reaction turbine (Francis, Propeller, Kaplan). Rectangular spiral casing in concrete; draught tube bend.

$$H_n = (z_{w1} - z_{w2}) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

¹⁾ See tabulated values of γ at end of this chapter, Table I.

²⁾ See tabulated values of g at end of this chapter, Table II.

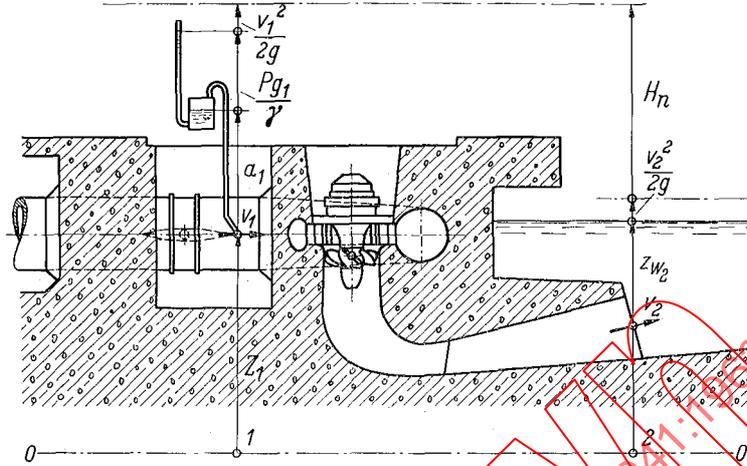


FIG. 2. — Turbine à réaction. Bâche spirale à section circulaire.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{W_2}) + 10 \cdot \frac{Pg_1}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(métrique)

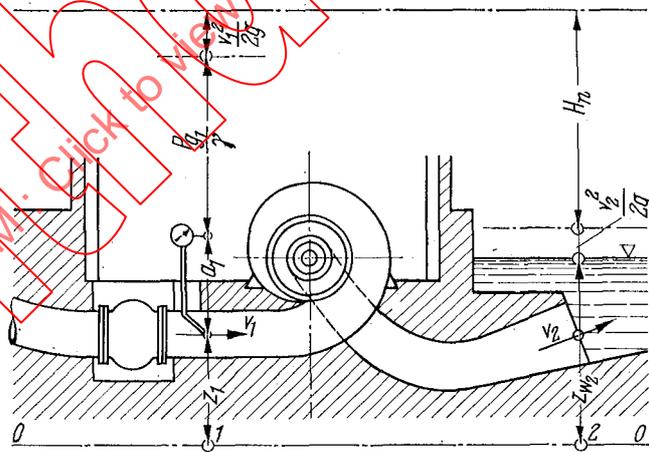


FIG. 3. — Turbine à réaction, axe horizontal.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{W_2}) + 10 \cdot \frac{Pg_1}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(métrique)

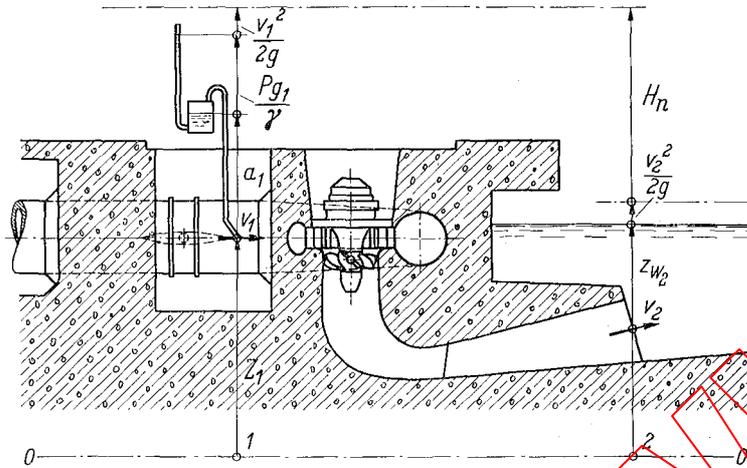


FIG. 2. — Reaction turbine. Spiral casing with circular section.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{w2}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(metric)

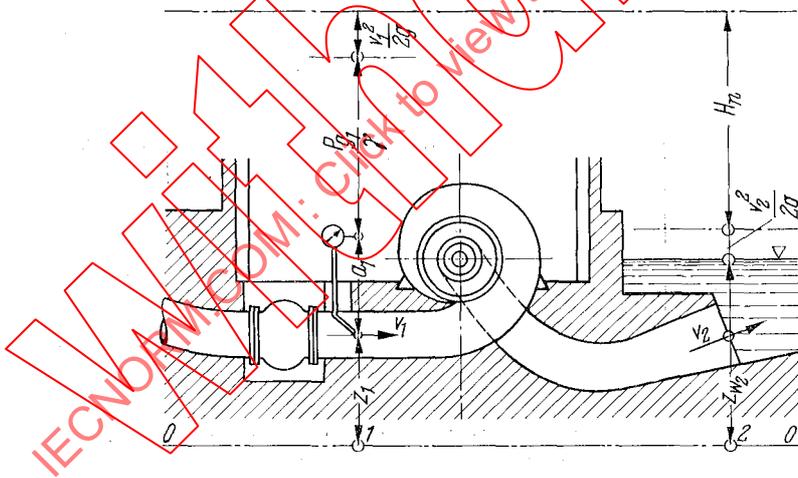


FIG. 3. — Reaction turbine. Horizontal shaft.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{w2}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(metric)

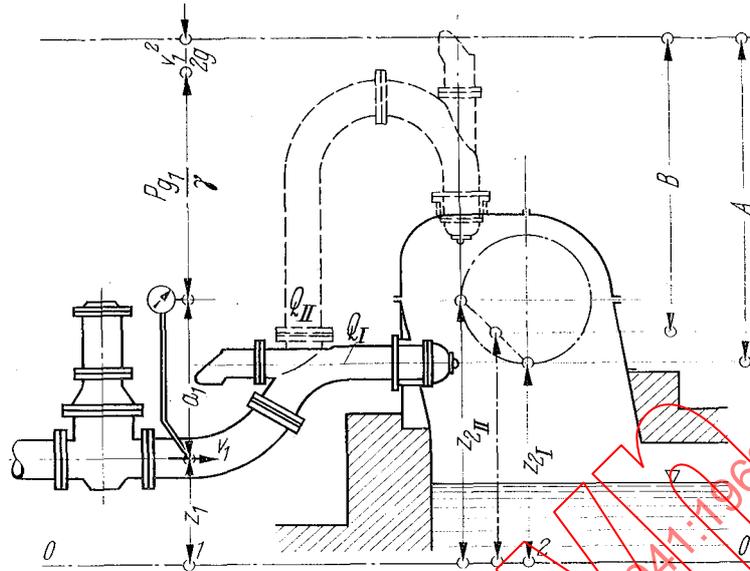


FIG. 4. — Turbine Pelton.

A: à un injecteur

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_2) + 10 \cdot \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

B: à deux injecteurs

$$H_n = \frac{Q_I}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 - z_{2I}) + \frac{Q_{II}}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 + z_{2II}) + 10 \cdot \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

(métrique)

	Termes	Définition	Symbole	Unité
2.6.6	Hauteur de chute garantie	Hauteur de chute nette pour laquelle la turbine est commandée.	H_r	m (ft)
2.6.7	Hauteur de chute brute	Différence d'altitude entre les niveaux aux limites amont et aval de l'installation lorsque le débit est nul.	H_g	m (ft)
2.6.8	Perte de charge	Diminution de la hauteur totale entre deux sections.	H_f	m (ft)
2.6.9	Position de l'instrument de mesure	Différence d'altitude entre le repère d'étalement de l'instrument de mesure et le point de mesure.	a	m (ft)
2.6.10	Hauteur barométrique (charge barométrique)	Hauteur d'une colonne barométrique d'eau correspondant à la pression atmosphérique et à la température de l'eau.	h_b	m (ft)
2.6.11	Hauteur géométrique d'aspiration	Altitude de la turbine ou de la roue au-dessus du niveau aval (voir figure 5).	h_s	m (ft)

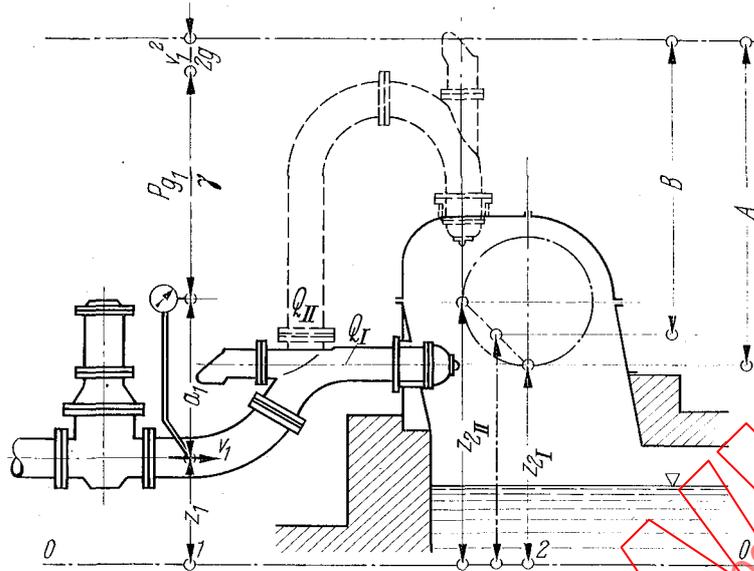


FIG. 4. — Impulse turbine.

A: Single nozzle

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_2) + 10 \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

B: Twin nozzle

$$H_n = \frac{Q_I}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 - z_{2I}) + \frac{Q_{II}}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 - z_{2II}) + 10 \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

(metric)

Term	Definition	Symbol	Units	
2.6.6	Guaranteed head	The net head for which the turbine is ordered.	H_r	m (ft)
2.6.7	Gross head	The difference in elevation between the water levels at the upstream and downstream limits of the installation when no water is flowing.	H_g	m (ft)
2.6.8	Loss of head	Loss of total head between any two sections.	H_l	m (ft)
2.6.9	Height of measuring instrument	The difference in elevation between the datum for which the measuring instrument is calibrated and the location of the measured point.	a	m (ft)
2.6.10	Barometer height	The height of the water barometer corresponding to the atmospheric pressure at the corresponding temperature.	h_b	m (ft)
2.6.11	Geodetic suction head	Height of turbine or runner above tail-water level (see Figure 5).	h_s	m (ft)

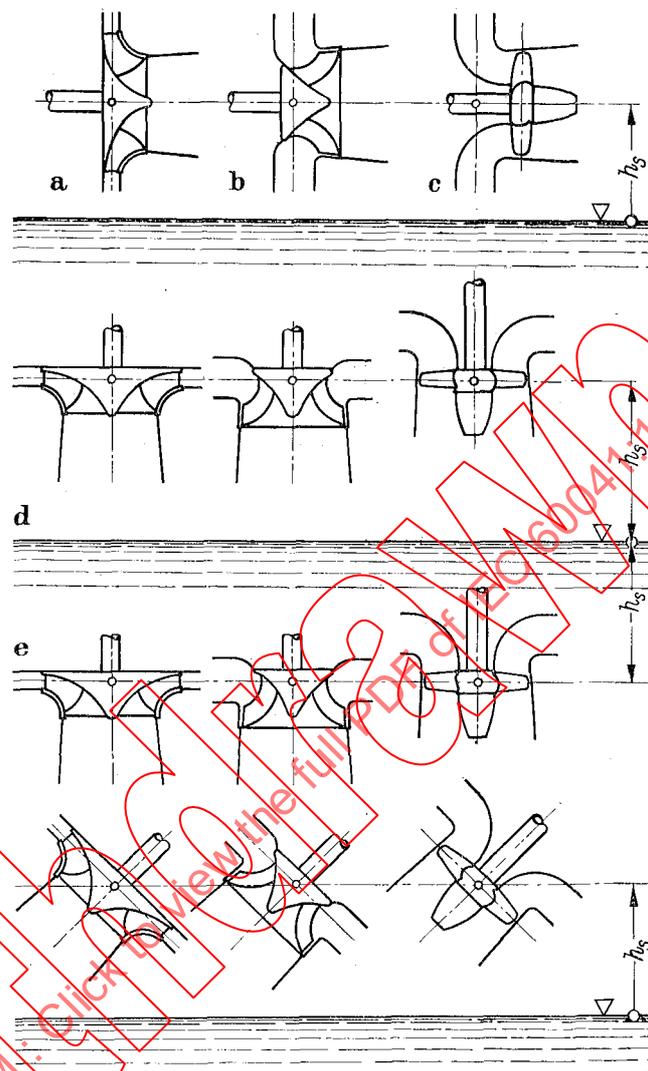


FIG. 5. — Définition de la hauteur géométrique d'aspiration h_s .

- a) Francis, vitesse spécifique basse
- b) Francis, vitesse spécifique élevée
- c) Kaplan, Hélice
- d) hauteur d'aspiration positive
- e) hauteur d'aspiration négative

 Niveau aval

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.6.12	Niveau du plan d'eau	Hauteur d'un plan d'eau au-dessus du niveau de la mer ou d'une autre cote de référence.	z_w	m (ft)

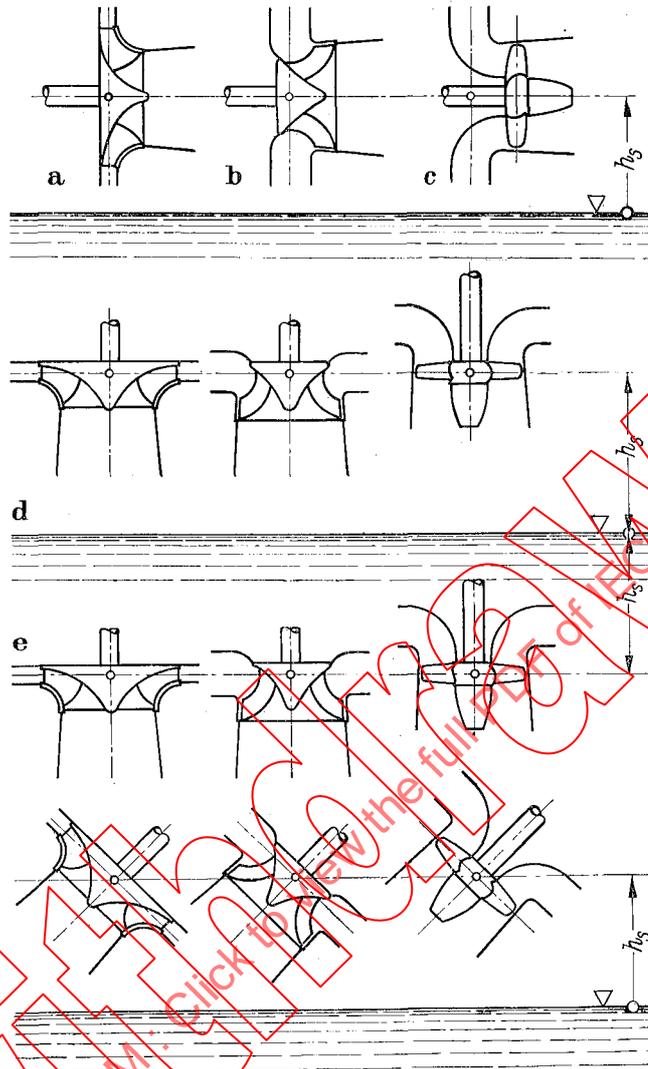


FIG. 5. — Definition of geodetic suction head h_s .

- a) Francis low specific speed
- b) Francis high specific speed
- c) Kaplan, Propeller
- d) positive suction head
- e) negative suction head

 Tailwater level

Term	Definition	Symbol	Units
2.6.12	Water level	z_w	m (ft)

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.7	<i>Puissance absorbée et fournie</i>			
2.7.1	Puissance absorbée par la turbine	Puissance hydraulique équivalente au débit Q de la turbine sous la chute nette H_n : $P_d = k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n$ $\left(k = \frac{1\,000}{102} \right)$ (ou $k = \frac{1\,356}{1\,000}$ système pied livre seconde)	P_d	kW
2.7.2	Puissance fournie par la turbine	Puissance mécanique transmise par l'arbre de la turbine. Elle est la somme des termes suivants : a) Puissance aux bornes du générateur électrique. b) Pertes mécaniques et électriques du générateur, excepté c). c) Dans le cas de paliers communs, part des pertes dues au générateur dans ceux-ci. d) Pertes dans les engrenages et le volant. e) Pertes absorbées par les machines auxiliaires entraînées directement. f) Si un frein est utilisé, les puissances a) et b) sont remplacées par la mesure effectuée au moyen du frein.	P_f	kW
2.7.3	Puissance garantie	Puissance pour laquelle la turbine est commandée sous la hauteur de chute garantie H_g et à la vitesse garantie n_g .	P_r	kW
2.8	<i>Rendement</i>			
2.8.1	Rendement de la turbine	Quotient de la puissance fournie par la puissance absorbée de la turbine.	η_t	%
2.8.2	Rendement moyen pondéré de la turbine	Rendement moyen pondéré calculé arithmétiquement à partir des valeurs isolées : $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ correspondant aux puissances ou aux débits garantis, avec les coefficients de pondération respectifs : w_1, w_2, w_3, \dots définis pour ces puissances ou débits au moyen de la relation : $\eta_{t_w} = \frac{w_1 \cdot \eta_1 + w_2 \cdot \eta_2 + w_3 \cdot \eta_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	η_{t_w}	%
2.8.3	Rendement moyen arithmétique	Rendement moyen pondéré défini sous 2.8.2 avec $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	η_{t_a}	%
2.8.4	Rendement moyen planimétré de la turbine	Ordonnée moyenne de la courbe de rendement dans les limites de l'intervalle couvert par la garantie.	η_{t_p}	%
2.9	<i>Vitesse</i>			
2.9.1	Vitesse garantie	Nombre de tours par unité de temps. Vitesse pour laquelle la turbine est commandée.	n n_r	tr/min tr/min

Term	Definition	Symbol	Units
2.7 <i>Input and Output</i>			
2.7.1	Turbine input The hydraulic power equivalent of the turbine discharge Q at net head H_n : $P_d = k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n$ $\left(k = \frac{1\,000}{102}\right)$ (or $k = \frac{1\,356}{1\,000}$ foot pound system)	P_d	kW
2.7.2	Turbine output The mechanical power delivered by the turbine shaft. It is determined as the sum of: a) Output of the generator as measured at the generator terminals. b) Mechanical and electrical losses in the generator, except c). c) In case of common thrust bearings: pro rata bearing losses due to the generator. d) Losses in the gear and flywheel. e) Power required by direct driven auxiliary machines. f) If a brake is used (instead of a) and b) the output is determined by means of the brake.	P_t	kW
2.7.3	Guaranteed output The turbine output at guaranteed net head H_r and guaranteed speed n_r for which the turbine is ordered.	P_r	kW
2.8 <i>Efficiency</i>			
2.8.1	Turbine efficiency Ratio of turbine output to turbine input.	γ_{t}	%
2.8.2	Turbine weighted average efficiency The weighted average efficiency computed arithmetically from the single values: $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ at the guaranteed output or discharge values and at their respective weights: w_1, w_2, w_3, \dots agreed for these outputs or discharges by: $\gamma_{t_w} = \frac{w_1 \cdot \gamma_1 + w_2 \cdot \gamma_2 + w_3 \cdot \gamma_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	γ_{t_w}	%
2.8.3	Turbine arithmetical average efficiency Weighted average efficiency as defined in 2.8.2 with $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	γ_{t_a}	%
2.8.4	Turbine planimetric average efficiency The mean height of the efficiency curve within the guaranteed range.	$\gamma_{t_{pl}}$	%
2.9 <i>Speed</i>	Number of revolutions per unit time.	n	rev/min
2.9.1	Guaranteed speed The speed for which the turbine is ordered.	n_r	rev/min

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.9.2	Vitesse à vide	Vitesse de régime avec générateur excité mais à vide après déconnexion du réseau, le régulateur étant branché.	n_o	tr/min
2.9.3	Vitesse d'emballement	Vitesse maximale atteinte quand toute charge est supprimée et que l'alimentation en eau n'est pas réduite, le distributeur restant à pleine ouverture (pour les turbines Kaplan, dans la position intermédiaire du distributeur et des pales de la roue qui conduit à la vitesse d'emballement maximale).	n_R	tr/min
2.10	<i>Variations de vitesse</i>			
2.10.1.	Vitesse initiale	Vitesse de régime, immédiatement avant une décharge donnée.	n_1	tr/min
2.10.2	Statisme	Ecart de vitesse de régime entre la marche à vide et à charge donnée, exprimé en pour cent de la vitesse nominale: $x_n = 100 \cdot \frac{(n_o - n_1)}{n_r}$	x_n	%
2.10.3	Vitesse maximale instantanée	Vitesse maximale instantanée atteinte quand une charge donnée est subitement supprimée (voir figure 6).	n_{max}	tr/min
<p>FIG. 6. — Variation de la vitesse lors d'une décharge brusque.</p>				
2.10.4	Variation de vitesse relative maximale instantanée	La variation maximale de vitesse instantanée, exprimée en pour cent de la vitesse initiale, quand une charge donnée est soudainement changée. $(v_n)_{max} = 100 \cdot \frac{(n_{max} - n_1)}{n_1}$	$(v_n)_{max}$	%
2.11	<i>Variation de pression</i>			
2.11.1	Pression statique à l'arrêt	Pression en l'absence de débit.	p_o	kp/cm ² (lb/in ²)
2.11.2	Pression maximale instantanée	Pression maximale instantanée atteinte quand une charge donnée est soudainement supprimée (voir figure 7).	p_{max}	kp/cm ² (lb/in ²) ou m colonne d'eau

Term		Definition	Symbol	Units
2.9.2	No-load speed	Steady state speed with the generator excited, but unloaded after disconnection from network, with governor connected.	n_0	v/min
2.9.3	Runaway speed	The maximum speed attained when all load is removed and when the supply of water is unchecked, in such an intermediate position of guide vanes (and runner blades of Kaplan turbines) which gives maximum runaway speed.	n_R	rev/min
2.10	<i>Speed variations</i>			
2.10.1	Initial speed	The steady speed just before a specified load is removed.	n_1	rev/min
2.10.2	Permanent speed variation	The steady state speed variation from no-load to a specific load, expressed as a percentage of the rated speed. $x_n = 100 \cdot \frac{(n_0 - n_1)}{n_r}$	x_n	%
2.10.3	Maximum momentary overspeed	The maximum momentary speed that is attained when a specified load is suddenly removed (see Figure 6).	n_{max}	rev/min

FIG. 6. — Variation of speed after a sudden load rejection.

2.10.4	Maximum momentary speed variation	The maximum momentary change of speed, expressed as a percentage of the initial speed, when a specified load is suddenly changed. $(y_n)_{max} = 100 \cdot \frac{(n_{max} - n_1)}{n_1}$	$(y_n)_{max}$	%
2.11	<i>Pressure variations</i>			
2.11.1	Static pressure at standstill	The pressure when water is not flowing.	p_0	kp/cm ² (lb/in ²)
2.11.2	Maximum momentary pressure	The maximum momentary pressure that is obtained when a specified load is suddenly removed (see Figure 7).	p_{max}	kp/cm ² (lb/in ²) or m water column

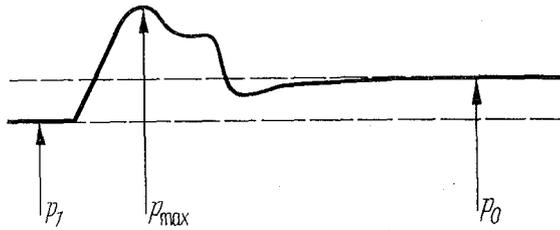


FIG. 7. — Variation de la pression lors d'une décharge brusque.

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.11.3	Variation de pression relative maximale instantanée	Variation de pression maximale instantanée exprimée en % de la pression statique quand une charge donnée est soudainement changée. $(z_p)_{\max} = 100 \cdot \frac{(p_{\max} - p_0)}{\gamma H_g}$	$(z_p)_{\max}$	% %
2.12	<i>Cavitation</i>			
2.12.1	Définition	La cavitation est la formation de bulles de vapeur dues à la chute locale de la pression et leur résorption brutale consécutive.		
2.12.2	Erosion	L'érosion par cavitation durant une certaine période peut être mesurée par la réduction de poids des pièces attaquées ou indirectement par la pesée des matériaux d'apport nécessaires pour rénover les surfaces érodées ou encore par les heures de travail nécessaires à cette réparation.		

3. Clarifications

Tout terme, définition ou unité de mesure qui ferait l'objet de contestation devra être précisé, par écrit, d'un commun accord entre les parties contractantes avant les essais.

4. Plaque signalétique

Chaque turbine devra porter une plaque signalétique qui indiquera d'une manière durable et lisible les indications suivantes :

NOM DU CONSTRUCTEUR

Année	N° de série
Hauteur de chute garantie m (ft)
Débit garanti m ³ /s (ft ³ /s)
Puissance garantie de la turbine kW
Vitesse garantie tr/min

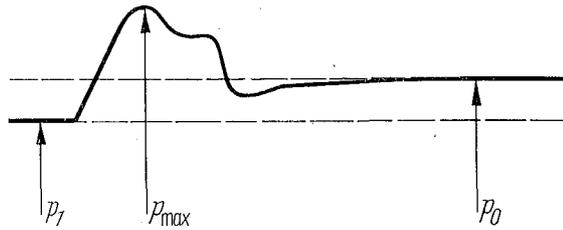


FIG. 7. — Variation of pressure after a sudden load rejection.

Term		Definition	Symbol	Units
2.11.3	Maximum momentary pressure change	The maximum momentary pressure change, expressed as a percentage of the static pressure, when a specified load is suddenly changed. $(z_p)_{\max} = 100 \cdot \frac{(p_{\max} - p_o)}{H_g}$	$(z_p)_{\max}$	% %
2.12	<i>Cavitation</i>			
2.12.1	Definition	Cavitation is the formation of vapour bubbles due to local pressure drop and their subsequent collapse.		
2.12.2	Cavitation erosion	Cavitation erosion over a certain period can be measured by the reduction in weight of the constructional material or indirectly by weighing the refill material necessary for restoring the eroded surfaces or by the working hours needed for this repairing.		

3. Clarifications

Clarification of any term, definition or unit of measurement in dispute shall be agreed to in writing by the contracting parties in advance of the tests.

4. Nameplate

Each turbine shall bear a nameplate which provides the following data in a legible and durable manner :

NAME OF MANUFACTURER

Year Serial No.
 Guaranteed head m (ft)
 Guaranteed discharge m³/s (ft³/s)
 Guaranteed output of turbine kW
 Guaranteed speed rev/min

TABLEAU I

Variation de γ : poids spécifique de l'eau* avec la température, la latitude et l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer.

Latitude	Poids spécifique γ de l'eau en kp/dm ³ Température de l'eau en °C					
	0	4	10	20	30	40
<i>Niveau de la mer</i>						
0	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
10	0,996	0,996	0,996	0,995	0,992	0,989
20	0,997	0,997	0,996	0,995	0,992	0,989
30	0,997	0,997	0,997	0,996	0,993	0,990
40	0,998	0,998	0,998	0,997	0,994	0,990
45 approx.	0,999	0,999	0,998	0,997	0,994	0,991
50	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991
60	1,000	1,000	1,000	0,998	0,995	0,992
70	1,001	1,001	1,000	0,999	0,996	0,993
<i>à 1 000 m</i>						
0	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
10	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
20	0,996	0,997	0,996	0,995	0,992	0,989
30	0,997	0,997	0,997	0,995	0,993	0,989
40	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,990
45 approx.	0,998	0,999	0,998	0,997	0,994	0,991
50	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991
60	1,000	1,000	1,000	0,998	0,996	0,992
70	1,000	1,000	1,000	0,999	0,996	0,993
<i>à 2 000 m</i>						
0	0,996	0,996	0,995	0,994	0,991	0,988
10	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
20	0,996	0,996	0,996	0,995	0,992	0,989
30	0,997	0,997	0,997	0,995	0,993	0,989
40	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,990
45 approx.	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,991
50	0,999	0,999	0,999	0,997	0,994	0,991
60	1,000	1,000	1,000	0,998	0,995	0,992
70	1,000	1,000	1,000	0,999	0,996	0,993
<i>à 4 000 m</i>						
0	0,995	0,995	0,995	0,993	0,991	0,988
10	0,995	0,995	0,995	0,994	0,991	0,988
20	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
30	0,996	0,997	0,996	0,995	0,992	0,989
40	0,997	0,997	0,997	0,996	0,993	0,989
45 approx.	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,990
50	0,998	0,998	0,998	0,997	0,994	0,990
60	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991
70	1,000	1,000	1,000	0,998	0,996	0,992

* Eau distillée pure, valeurs corrigées pour tenir compte de la poussée de l'air, celle-ci résultant de l'Atmosphère Normale Internationale. Cette correction est valable pour de l'air sec, mais l'humidité ne modifie pas les valeurs ci-dessus de plus de $\pm 0,1\%$.

TABLE I

Variation of γ , the specific weight of water*, with latitude, temperature and height above mean sea level.

Latitude	Specific weight of water γ in kp/dm^3 Water temperature in $^{\circ}\text{C}$					
	0	4	10	20	30	40
<i>At sea level</i>						
0	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
10	0.996	0.996	0.996	0.995	0.992	0.989
20	0.997	0.997	0.996	0.995	0.992	0.989
30	0.997	0.997	0.997	0.996	0.993	0.990
40	0.998	0.998	0.998	0.997	0.994	0.990
45 approx.	0.999	0.999	0.998	0.997	0.994	0.991
50	0.999	0.999	0.999	0.997	0.995	0.991
60	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995	0.992
70	1.001	1.001	1.000	0.999	0.996	0.993
<i>At 1 000 m</i>						
0	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
10	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
20	0.996	0.997	0.996	0.995	0.992	0.989
30	0.997	0.997	0.997	0.995	0.993	0.989
40	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.990
45 approx.	0.998	0.999	0.998	0.997	0.994	0.991
50	0.999	0.999	0.999	0.997	0.995	0.991
60	1.000	1.000	1.000	0.998	0.996	0.992
70	1.000	1.000	1.000	0.999	0.996	0.993
<i>At 2 000 m</i>						
0	0.996	0.996	0.995	0.994	0.991	0.988
10	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
20	0.996	0.996	0.996	0.995	0.992	0.989
30	0.997	0.997	0.997	0.995	0.993	0.989
40	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.990
45 approx.	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.991
50	0.999	0.999	0.999	0.997	0.994	0.991
60	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995	0.992
70	1.000	1.000	1.000	0.999	0.996	0.993
<i>At 4 000 m</i>						
0	0.995	0.995	0.995	0.993	0.991	0.988
10	0.995	0.995	0.995	0.994	0.991	0.988
20	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
30	0.996	0.997	0.996	0.995	0.992	0.989
40	0.997	0.997	0.997	0.996	0.993	0.989
45 approx.	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.990
50	0.998	0.998	0.998	0.997	0.994	0.990
60	0.999	0.999	0.999	0.997	0.995	0.991
70	1.000	1.000	1.000	0.998	0.996	0.992

* Pure distilled water values corrected for buoyancy of air corresponding to International Standard Atmosphere (I.C.A.N.). This is for dry air, but corrections for humidity are not likely to alter the above values by more than $\pm 0.1\%$.

TABLEAU II

Variation de l'accélération de la pesanteur « g » avec la latitude terrestre et l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer.

Latitude	Altitude en mètres au-dessus du niveau moyen de la mer			
	0	1 000	2 000	4 000
Degrés	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²
0°	9,780 49	9,777 40	9,774 32	9,768 15
10°	9,782 04	9,778 96	9,775 87	9,769 70
20°	9,786 52	9,783 43	9,780 34	9,774 17
30°	9,793 38	9,790 29	9,787 21	9,781 03
40°	9,801 80	9,798 72	9,795 63	9,789 46
50°	9,810 79	9,807 70	9,804 61	9,798 44
60°	9,819 24	9,816 15	9,813 07	9,806 90
70°	9,826 14	9,823 05	9,819 97	9,813 80

La valeur internationale de « g » adoptée par la Commission Internationale des Poids et Mesures est 9,806 65 m/s², correspondant approximativement à la latitude de 45° et au niveau de la mer.

IECNORM.COM: Click to view the full document
 0306137963

TABLE II

Variation of the acceleration due to gravity “g” with Earth’s latitude and height above mean sea level.

Latitude	Height in metres above mean sea level			
	0	1 000	2 000	4 000
Degrees	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²
0°	9.780 49	9.777 40	9.774 32	9.768 15
10°	9.782 04	9.778 96	9.775 87	9.769 70
20°	9.786 52	9.783 43	9.780 34	9.774 17
30°	9.793 38	9.790 29	9.787 21	9.781 03
40°	9.801 80	9.798 72	9.795 63	9.789 46
50°	9.810 79	9.807 70	9.804 61	9.798 44
60°	9.819 24	9.816 15	9.813 07	9.806 90
70°	9.826 14	9.823 05	9.819 97	9.813 80

The international standard value of “g” adopted by the International Commission for Weights and Measures is 9.806 65 m/s² corresponding approximately to latitude 45° and sea level.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60047-1:1963

CHAPITRE III — NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES TECHNIQUES

1. Généralités

Un contrat contient les garanties principales de puissance et de rendement d'une turbine et quelquefois des garanties complémentaires concernant les variations de vitesse et de pression, la vitesse d'emballlement et l'érosion par cavitation.

Le client mettra à la disposition du fournisseur de la turbine les caractéristiques complètes, exactes et correctes du circuit hydraulique depuis la prise d'eau jusqu'à la restitution, de toutes les parties et équipements s'y rattachant, de toute la mécanique entraînée, électrique ou non, et de ses parties tournantes, enfin, des organes de régulation et des vannes ainsi que tous leurs mécanismes.

Le fournisseur ne sera pas responsable des valeurs des hauteurs de chute et débits à partir desquelles sont déterminées les puissances ou d'autres garanties, même si les mesures nécessaires à cette détermination ont été effectuées par lui-même ou par ses agents.

Si le générateur électrique doit être utilisé comme moyen indirect de mesure de la puissance, ce générateur et ses auxiliaires doivent faire l'objet d'un essai de réception approprié auquel le fournisseur de la turbine ou ses représentants auront le droit d'assister. Moyennant accord, une copie conforme des calculs et résultats du générateur sera donnée au fournisseur de la turbine.

2. Garanties principales

2.1 Puissance

La garantie concernant la puissance de la turbine est respectée si la turbine fournit une puissance au moins égale à sa valeur garantie pour la hauteur de chute nette et la vitesse garantie correspondante. Les garanties peuvent être données pour différentes hauteurs de chute nette.

2.2 Rendement

2.2.1 Les garanties de rendement sont respectées si les rendements obtenus ne sont pas inférieurs à ceux garantis. Les garanties peuvent être données pour la puissance ou le débit garantis et diverses charges ou débits partiels, sous l'une des formes suivantes :

2.2.1.1 Rendements moyens pondérés dans une gamme de charges ou de débits (II.2.8.2).

2.2.1.2 Rendements moyens arithmétiques dans une gamme de charges ou de débits (II.2.8.3).

2.2.1.3 Rendements moyens planimétrés dans une gamme de charges ou de débits (II.2.8.4).

Ces garanties peuvent être demandées et données pour diverses hauteurs de chute nette.

2.2.2 Si la puissance ou le débit garantis devaient être dépassés aux essais, le fournisseur aurait la possibilité de fixer une puissance ou un débit n'excédant pas la puissance ou le débit garantis de plus de 10%, comme base pour le calcul du rendement moyen. Il aurait le droit de choisir cette nouvelle valeur de la puissance ou du débit pour réduire le montant des pénalités; s'il y a des primes, celles-ci doivent être réduites au minimum.

2.2.3 Cette nouvelle puissance (ou débit) ainsi choisie doit être considérée comme puissance (ou débit) garantie pour toutes les autres garanties.

3. Autres garanties

3.1 Variations de vitesse et de pression

Des garanties limitant l'amplitude des variations de vitesse et de pression en cas de coupure ou de charge brusque de puissances spécifiées au contrat peuvent faire l'objet de garanties complémentaires.

CHAPTER III — NATURE AND EXTENT OF TECHNICAL GUARANTEES

1. General

A contract contains main guarantees for output and efficiency of a turbine and sometimes additional guarantees covering speed and pressure variations, runaway speed and cavitation erosion.

The purchaser shall arrange for the supplier of the turbine to be provided with true, full and acceptable data respecting the waterways from intake to the tailrace, and all parts and equipment relating thereto, and all the driven machinery whether electrical or not and the revolving parts thereof, and the governor, valves and gates and all allied mechanisms.

The supplier shall not be responsible for the values of head and discharge on which the outputs and other guarantees are to be based, even though he himself or his agent has made measurements necessary for them.

If the electric generator is to be used as an indirect means of measuring output, then the electric generator and its auxiliaries shall be given an appropriate acceptance test at which the supplier or his representative shall have the right to be present. By agreement, a certified copy of the generator test calculations and results shall be given to the supplier.

2. Main guarantees

2.1 Output

The guarantee concerning the turbine output is met if the turbine delivers not less than its guaranteed output at the specified guarantee net head and speed. The guarantees may be given for different net heads.

2.2 Efficiency

2.2.1 The guarantees regarding efficiency are met if the efficiencies obtained are not less than those guaranteed. The guarantees may be given for the guaranteed output or discharge and different partial loads or discharges.

2.2.1.1 As weighted average efficiencies over a load or discharge range (II.2.8.2).

2.2.1.2 As arithmetical average efficiencies over a load or discharge range (II.2.8.3).

2.2.1.3 As planimetric average efficiencies over a load or discharge range (II.2.8.4).

These guarantees may be asked for and given for different net heads.

2.2.2 If the guaranteed output or discharge should be exceeded on test, the supplier shall have the option of naming an output or discharge not greater than 10% above the said guaranteed output or discharge, as a basis for determining average efficiency. He may use these newly chosen values of output or discharge to reduce the amount of penalty; if premiums are concerned, the premiums must be reduced to a minimum.

2.2.3 This newly chosen output or discharge shall be considered as guaranteed output or discharge for all other guarantees.

3. Other guarantees

3.1 Speed and pressure variations

The extent of speed and pressure variations when specified outputs are suddenly thrown off or on may be the subject of an additional guarantee.

3.2 *Vitesse d'emballlement*

La vitesse d'emballlement peut faire l'objet d'une garantie stipulant que, sous une chute donnée, sous les conditions de l'article II.2.9.3 et un niveau aval spécifié, elle ne dépassera pas une valeur donnée.

3.3 *Erosion par cavitation*

Une garantie limitant l'importance de l'érosion par cavitation (voir II.2.12.2) peut être demandée et donnée sous réserve que la turbine soit exploitée dans les limites prescrites de puissance, de durée, de température de l'eau et la cote du plan d'eau aval (figure 5).

4. **Durée des garanties**

A moins qu'il en soit convenu autrement, les garanties proposées et données resteront continuellement en vigueur pendant un minimum de 12 mois jusqu'à un maximum de 24 mois depuis la date fixée d'un commun accord, à partir de laquelle la turbine entre en service industriel.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:2018

Withdrawing

3.2 *Runaway speed*

A guarantee may be made that the runaway speed at a specified head will not exceed a specified value under the conditions of Clause II.2.9.3 and specified tailwater level.

3.3 *Cavitation erosion*

A guarantee limiting the amount of cavitation erosion (see II.2.12.2) may be asked for and given on the assumption that the turbine is operated within the prescribed limits of output, duration, water temperature and tailwater level (Figure 5).

4. **Period of guarantee**

Unless otherwise agreed, the guarantees offered and given shall be in force continuously for a minimum of 12 months to a maximum of 24 months from the agreed day on which the turbine is taken into industrial operation.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:2003

Withdram

CHAPITRE IV — CONDITIONS A REMPLIR POUR LES ESSAIS

1. Dispositions à prévoir sur l'installation

Au moment de l'étude de l'installation, il est recommandé que toute l'attention voulue soit donnée aux dispositions à prévoir en vue des essais. Ceci s'applique en particulier à la mesure des débits et de la hauteur de chute. La méthode à utiliser pour la mesure des débits devrait être examinée et choisie à ce stade.

Les conditions d'essais devraient également être envisagées lorsque l'acheteur éventuel ou ses ingénieurs soumettent une demande d'offres à des fournisseurs possibles. Il devrait être spécifié que les essais de réception seront effectués conformément aux exigences du présent code. S'il devait y avoir des dérogations quelconques à ce code, elles devraient être clairement spécifiées.

2. Ecart admissible par rapport aux conditions contractuelles

2.1 Exploitation pratique de la centrale

L'exploitation pratique des centrales implique en règle générale certaines variations de la hauteur de chute. Il est recommandé, en conséquence, d'indiquer au fournisseur au moment d'un appel d'offres les chutes normales, minimales et maximales prévues auxquelles devront s'appliquer les garanties de puissance et de rendement. S'il existe pendant les essais des écarts par rapport aux conditions contractuelles, ils doivent rester dans les limites suivantes :

2.2 Fluctuations pendant un essai individuel

Les essais doivent être exécutés dans des conditions de chute constante, de puissance constante, de vitesse constante, les organes de réglage de la turbine (distributeur et pales) étant fixés, dans les limites de fluctuations suivantes au cours d'un essai individuel.

2.2.1 Les fluctuations de la puissance ne doivent pas excéder $\pm 1,5\%$ de la puissance moyenne.

2.2.2 Les fluctuations de la chute ne doivent pas excéder $\pm 1\%$ de la chute moyenne.

2.2.3 Les fluctuations de la vitesse ne doivent pas excéder $\pm 0,5\%$ de la vitesse moyenne.

2.3 Ecart par rapport à la chute spécifiée

2.3.1 La chute (vitesse) moyenne réelle pour chaque essai individuel pendant tout l'essai de réception ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 3\%$ ($\pm 1,5\%$) de la valeur spécifiée, si la vitesse (chute) est maintenue à la valeur spécifiée suivant IV.2.2.

2.3.2 L'écart sur la chute peut atteindre au maximum $\pm 10\%$ de la valeur contractuelle, si la vitesse d'essai réelle n_n est ajustée suivant la formule :

$$\frac{n_n}{n_r} = \sqrt{\frac{H_n}{H_r}}$$

Les indices r et n se réfèrent respectivement aux valeurs garanties et d'essai.

2.3.3 S'il n'est pas possible d'ajuster la vitesse de rotation pour s'adapter aux écarts de chute dépassant $\pm 3\%$, la correction sur les résultats d'essais peut être effectuée, après accord mutuel, pour les écarts de chute (vitesse) en se servant des courbes d'essais sur modèle quand elles existent. Cependant si un nombre suffisant de valeurs garanties est disponible pour différentes chutes, la valeur correspondante de chute et les valeurs correspondantes de puissance et de rendement seront déterminées par interpolation.

CHAPTER IV — TEST CONDITIONS TO BE FULFILLED

1. Adequate provision for the test when the plant is designed

It is recommended that when the plant is being designed attention should be given to provisions for testing. This applies particularly to the arrangements for measurement of the quantity of flow and the head. The method to be used for measurement of flow should be considered and chosen at this stage.

The test conditions should also be considered when the intending purchaser, or his engineers, submits an inquiry to possible suppliers. A statement should be included that the acceptance test shall be performed in accordance with the requirements of this code. If there are to be any deviations from the code, they should be clearly stated.

2. Permissible deviation from specified conditions

2.1 *Practical plant operation*

Practical plant operation as a rule involves some variation in head. It is therefore recommended that, when a request is made for tenders, the data submitted to the supplier shall state the anticipated normal, minimum and maximum heads to which the guarantees of output and efficiency are to apply. Should deviations from the specified conditions exist during the tests, they shall be limited as follows:

2.2 *Fluctuations during individual test run*

Tests shall be made under conditions of constant head, constant load, constant speed and with fixed gate openings and positions of runner blades within the following limits of fluctuations during an individual run.

2.2.1 Fluctuations in load shall not exceed $\pm 1.5\%$ of the average load.

2.2.2 Fluctuations in head shall not exceed $\pm 1\%$ of the average head.

2.2.3 Fluctuations in speed shall not exceed $\pm 0.5\%$ of the average speed.

2.3 *Deviation from specified head*

2.3.1 The actual average head (speed) for each individual test run during the whole acceptance test may deviate from its specified value by not more than $\pm 3\%$ ($\pm 1.5\%$) if the speed (head) is kept at its specified value as per IV.2.2.

2.3.2 The head may deviate by not more than $\pm 10\%$, if the actual speed n_n is adjusted to satisfy the relation.

$$\frac{n_n}{n_r} = \sqrt{\frac{H_n}{H_r}}$$

The subscripts r and n refer to specified and actual conditions respectively.

2.3.3 If the speed cannot be adjusted to suit head deviations beyond $\pm 3\%$, the correction of test results may, by mutual agreement, be made for head and/or speed deviations by the use of model test curves when they are available, or if sufficient guaranteed values for different heads are available, then the corresponding guaranteed head and the corresponding guaranteed values of output and efficiency will be established by interpolation.

2.4 Niveau aval

Pour les turbines à réaction, le niveau aval ne doit pas tomber au-dessous de celui qui correspond à la hauteur maximale d'aspiration indiquée au contrat. Si la chute réelle s'écarte de la chute garantie dans les conditions prévues au IV.2.3, les conditions de cavitation calculées pour cette chute réelle ne doivent pas être plus défavorables que celles données pour la chute garantie.

Pour les turbines Pelton, le niveau aval maximal ne doit pas monter plus haut que le niveau maximal prévu dans le contrat.

3. Examen sur place

Les conditions permettant de satisfaire aux exigences de la section IV 2 ainsi que celles relatives aux méthodes de mesure projetées en conformité avec le chapitre VIII doivent faire l'objet d'un examen sur place avant le début des essais. L'état de l'eau doit être compris dans cet examen. L'eau ne doit pas contenir des quantités exagérées d'écorces, de feuilles, d'herbes ou corps étrangers similaires susceptibles de s'accrocher aux bords des aubes des roues et d'affecter dans un sens défavorable l'écoulement à l'intérieur de la turbine.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:2013

2.4 Tailwater level

For reaction turbines, the tailwater level must not fall below the level which corresponds to the maximum suction head stated in the contract. If the actual head deviates from the guaranteed head according to IV.2.3, the cavitation conditions computed for this head must not be worse than for the guaranteed head.

For impulse turbines, the highest tailwater level must not exceed the maximum level stated in the contract.

3. Investigation at the site

Conditions satisfying the above mentioned item IV.2, as well as conditions for the planned measuring methods according to Chapter VIII shall be investigated at the site prior to the test. The condition of the water shall be included in this investigation. The water must not carry undue quantities of bark, leaves, weeds or similar foreign elements which may cling to the edges of the runner blades and unfavourably affect the flow in the turbine.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:1994

Withdawn

CHAPITRE V — MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS

1. Personnel

Le choix du personnel dirigeant les essais et les dispositions à prendre à ce sujet sont de la plus grande importance.

1.1 *Autorité pour les essais*

Sauf spécification contraire prévue au contrat, les deux parties contractantes ont des droits égaux pour la détermination des méthodes et du mode d'exécution des essais ainsi que pour le choix du personnel d'essais. Il est préférable, cependant, que les essais soient confiés à des experts ayant une position indépendante vis-à-vis des deux parties.

1.2 *Chef des essais*

Un Chef des essais doit être désigné d'un commun accord entre les parties. Il doit exercer son autorité sur tous les observateurs. Il doit conduire et surveiller les essais et rendre compte des conditions d'essais. Il est responsable pour toutes les mesures. Il est responsable pour le calcul des résultats et pour la préparation du rapport final. Pour toutes les questions se rapportant aux essais et leur exécution, sa décision sera définitive.

1.3 *Personnel, nombre et compétence*

Un ingénieur hydraulicien expérimenté doit être choisi pour la mesure des débits, de même qu'un ingénieur électricien expérimenté pour la mesure des puissances. Les autres membres de l'équipe d'essais doivent posséder l'expérience nécessaire pour leur permettre de noter de façon exacte et sûre les indications des appareils qui leur sont confiés.

1.4 *Représentation aux essais*

Le client et le fournisseur de la turbine auront le droit de se faire représenter par des membres de leur personnel.

2. Préparation des essais

2.1 *Communication des dessins et documents*

Tous les dessins, présentant une importance pour les essais, ainsi que tous les documents, données, spécifications, certificats et rapports sur les méthodes d'exécution, doivent être mis à la disposition du Chef des essais.

2.2 *Inspection sur place*

Dans les deux jours qui précèdent le début des essais, la turbine doit être soumise à un examen en vue de s'assurer :

2.2.1 Que le matériel est complet conformément à la spécification.

2.2.2 Que les graduations indiquant les ouvertures du distributeur ou de l'injecteur et les orientations des pales correspondent bien aux mesures réellement faites.

2.2.3 Que les passages de l'eau ne sont pas obstrués ou réduits par la présence de corps étrangers.

2.2.4 Qu'aucune usure anormale ne s'est produite sur des parties vitales.

CHAPTER V — TEST PROCEDURE

1. Personnel

The selection of personnel to conduct the test and procedures in connection therewith are matters of prime importance.

1.1 Authority for test

Unless otherwise provided in the contract, both parties to the contract shall have equal rights in determining the test methods and procedures and in selecting the test personnel. It is preferable, however, that the test be entrusted to experts who hold an independent position toward both parties.

1.2 Chief of Test

A Chief of Test shall be appointed by agreement between the two parties. He shall exercise authority over all observers. He shall conduct and supervise the test and report on test conditions. He shall be responsible for all measurements. He shall be responsible for the computation of results and the preparation of the final report. On any question pertaining to the test or its execution, his decision shall be final.

1.3 Personnel, number and competence

An experienced hydraulic engineer shall be selected for the measurement of flow and an experienced electrical engineer for the measurement of power output. Other members of the testing team will have the experience necessary to enable them to secure accurate and reliable records from the instruments entrusted to them.

1.4 Presence at the tests

The purchaser and the supplier of the turbine shall be entitled to have present members of their staff.

2. Preparation for test

2.1 Submission of drawings and relevant data

All drawings of importance for the test and all relevant data, documents, specifications and certificates and reports on operating conditions, shall be placed at the disposal of the Chief of Test.

2.2 Inspection on site

Within two days before the start of the tests, the turbine shall be subjected to inspection. The purpose of this is to verify:

- 2.2.1 That the machinery is complete according to specifications.
- 2.2.2 That the scales of guide vane or nozzle openings and blade angles correspond with actual measurements taken.
- 2.2.3 That water passages are not obstructed or restricted by any foreign material.
- 2.2.4 That no undue wear has taken place on vital parts.

2.2.5 Que toutes les prises de pression, les tubes manométriques et les tuyaux de raccordement sont exempts d'obstruction et convenablement placés et exécutés.

2.3 Mesures préalables

Lorsque ces renseignements sont nécessaires, il est recommandé de mesurer avec précision les dimensions et les longueurs des conduites entre les prises de pression avant que l'unité ne soit mise en service.

2.4 Examen après les essais

Après exécution des essais, un examen de contrôle de l'ensemble du conduit hydraulique et des tubes piézométriques devra être effectué dans le but de s'assurer que ceux-ci sont exempts de tout corps étranger.

3. Accord sur le programme d'essais

3.1 Accord préalable

Le programme à suivre pendant les essais doit être déterminé par le Chef des essais en prenant en considération les dispositions prises antérieurement, conformément à IV.1. Toutes les dispositions prises ainsi que tous les programmes sont à soumettre suffisamment à l'avance au client et au fournisseur pour examen et accord. L'acceptation ou les objections doivent être formulées par écrit

3.2 Programme général

Les essais de réception ne doivent pas avoir lieu avant que la turbine, à la suite d'une période de service industriel convenable, ait été mise à la disposition du client en vue de son exploitation commerciale. Il appartient au client de décider, compte tenu de l'exploitation de la Centrale et des conditions de débit, de la date des essais de réception. Ces essais devront avoir lieu aussitôt que possible après que la turbine aura été mise à la disposition du client, mais avant l'expiration de la période de garantie, sauf accord contraire écrit entre les parties. Le programme général doit être rédigé par le Chef des essais et comprendre les renseignements particuliers concernant les points ci-après.

3.2.1 *Etendue et durée probable des essais.* Cette indication doit comprendre la liste des essais individuels et les valeurs des charges auxquelles ils seront effectués.

3.2.2 *Nombre de groupes à essayer.* Il y a lieu d'indiquer si plusieurs unités ou une seule d'un groupe de turbines identiques devront être essayées en vue de la détermination du rendement.

3.2.3 *Détails des mesures.* Les méthodes qui seront utilisées pour la mesure de débit, de la puissance et de la chute doivent être indiquées.

3.2.4 *Turbines Kaplan, avec ou sans came.* Les essais de rendement et de puissance des turbines Kaplan devront être effectués en supprimant l'action de la came de conjugaison entre les ouvertures du vannage et l'orientation des pales de la roue en vue de vérifier que la relation entre ces deux réglages est correcte. Une série d'au moins cinq essais de rendement devra être exécutée pour chaque valeur de l'orientation des pales, pour différentes ouvertures du distributeur voisines de celle présumée correcte pour l'orientation des pales choisies. Le tracé graphique de ces essais indique la meilleure conjugaison. Pour gagner du temps, ces essais peuvent être effectués sous la forme « d'essais relatifs » en n'utilisant que des valeurs relatives du rendement, s'ils sont

2.2.5 That all pressure tapings, tubes and connections are clear of obstruction, properly formed and located.

2.3 *Measurements before test*

It is recommended that dimensions and length of conduits between pressure tapings, in cases where such information is required, be measured accurately before the unit is operated.

2.4 *Inspection after test*

After completion of the test, a check inspection of the water and piezometric passages shall be made to verify that these are free from foreign material.

3. Agreement on test procedure

3.1 *Consent to procedure*

The procedure to be followed in the test shall be outlined by the Chief of Test under consideration of plans made up previously according to IV.1. All arrangements and plans are to be submitted to the purchaser and supplier in ample time for consideration and agreement. Consent or objection is to be given in writing.

3.2 *General programme*

The acceptance test shall not take place until after the turbine, following due test running, has been handed over to the purchaser for commercial operation. It is for the purchaser to decide, with respect to plant operation and flow conditions, on the date of the acceptance test. This should be as soon as possible after the turbine is handed over to the purchaser, but within the specified guarantee period unless otherwise agreed by both parties in writing. The general programme shall be drafted by the Chief of Test and shall include particulars concerning the following items:

- 3.2.1 *Extent and estimated duration of test.* This shall include a statement of the runs and the load points at which these are to be made.
- 3.2.2 *Units to be tested.* This shall state whether several or only one of a group of similar units are to be tested with regard to efficiency.
- 3.2.3 *Details of measurement.* The methods to be used for measurement of discharge, output and head shall be stated.
- 3.2.4 *Kaplan turbine, with or without cam.* Tests for efficiency and output of Kaplan turbines shall be carried out, if possible with cam control between guide vane opening and blade angle disconnected, as this offers a means of checking the correct relationship between these settings. A series of not less than five efficiency tests for each fixed blade angle shall be run at different guide vane openings near the presumed correct opening for the selected blade angle. A graph of these tests reveals the best combination. These may, in order to save time, be carried out as "index tests" with only relative values of the efficiency, if they are amended by suitable accepted methods, at the determined correct guide vane opening. If the best blade angle relationship has previously

corrigés par des méthodes appropriées et reconnues, pour la détermination de la position correcte du vannage. Si la conjugaison optimale des pales de la roue a été précédemment déterminée par la méthode des rendements relatifs, les cinq points de mesure ci-dessus peuvent être réduits jusqu'à concurrence de trois. Après accord, les essais peuvent être effectués avec la came de conjugaison en service.

- 3.2.5 *Dispositions concernant les rendements pondérés.* Lorsque les garanties sont basées sur des rendements pondérés, qui donnent une importance commerciale différente aux diverses valeurs de la puissance ou du débit, les mêmes dispositions doivent être prises et l'exactitude maximale doit être recherchée pour tous les essais individuels et non pas seulement pour ceux correspondant aux charges ou aux débits auxquels se rapportent les rendements pondérés, car il est nécessaire de tracer des graphiques dignes de foi couvrant la gamme entière des essais. Le Chef des essais doit décider pour quels points il y a lieu de répéter les essais.

4. Instruments

4.1 Fourniture des appareils

Le nom du constructeur, le numéro de fabrication et le propriétaire des instruments doivent être mentionnés dans le compte rendu final. Tous les repères de nivellement utilisés pour la mesure des hauteurs doivent être conservés jusqu'à l'approbation du rapport d'essais final.

4.2 Etalonnage des appareils

Tous les appareils qui ne peuvent être étalonnés sur place doivent être accompagnés d'un certificat d'étalonnage valable émanant d'une institution officielle.

Après exécution des essais, un nouvel étalonnage doit être effectué sauf accord contraire. La date et le lieu d'étalonnage doivent figurer dans le rapport final. L'institution officielle d'étalonnage décidera si les écarts entre les deux étalonnages restent dans des limites normales. Dans ce cas leur moyenne arithmétique sera utilisée, dans le cas contraire un accord spécial doit être conclu.

5. Relevés

- 5.1 Pour les différents postes de mesure, il sera préparé un nombre suffisant de feuilles de relevés comportant une désignation claire des grandeurs à mesurer.

Les feuilles de relevés devront être préparées en un nombre suffisant d'exemplaires afin que chacune des parties et le Chef des essais puissent recevoir aussitôt un jeu complet de feuilles de relevés.

- 5.2 Toutes les lectures seront faites, soit en fonction du temps et à intervalles réguliers, soit sur signaux donnés simultanément à tous les observateurs.
- 5.3 Toutes les lectures momentanées s'étendront sur le même intervalle de temps pour chaque poste de mesure. La moyenne arithmétique des lectures sera utilisée pour le calcul des résultats d'essai.
- 5.4 Avant les essais, les ouvertures des injecteurs ou des directrices et, pour les turbines Kaplan, les positions des pales, seront soigneusement mesurées pour différentes positions des mécanismes de commande, et des échelles graduées appropriées devront être approvisionnées. Ces échelles devront être accessibles pendant les essais et leurs indications relevées pour chaque essai. Les résultats des essais pourront se référer à ces indications (voir V.2.2.2).
- 5.5 Avant les essais, seront préparées et rassemblées les courbes d'étalonnage et de correction de tous les instruments employés afin de permettre un nombre suffisant de calculs provisoires représentatifs, dans les délais les plus courts et avant la fin des essais. Toutes les erreurs alors constatées devront être éliminées si possible ou prises en considération et c'est seulement dans ces conditions que l'on pourra clore les essais et que l'appareillage d'essais pourra être démonté (voir V.4.2).

been determined by index test, the five test points required herein above may be reduced to a minimum of three points. By agreement, the tests may be run with the cam connected.

3.2.5 *Procedure when weighted efficiencies are used.* When weighted efficiencies which give different commercial importance to different values of output and/or discharge are specified as the basis for guarantees, the same procedure should be followed and the maximum accuracy sought for all test runs and not only for those loads to which the weighted efficiencies refer, since reliable graphs must be drawn covering the whole range of tests. The Chief of Test shall decide at which points repeat tests shall be made.

4. Instruments

4.1 *Provision of instruments*

Maker, manufacturing number and owner of instruments shall be stated in the final record. All level reference points in the head measuring system are to be reserved until the approval of the final test report.

4.2 *Calibration of instruments*

All instruments which cannot be calibrated on site shall carry valid calibration certificates of an official institution.

After completion of the test a repeat calibration shall be made, unless omitted by agreement. The date and place of calibration shall be stated in the final record. This calibration institution shall decide whether both calibrations lie within normal limits. If such is the case, their arithmetical mean shall be used. If not, a special agreement must be made.

5. Observations

5.1 A sufficient number of suitable observation sheets with a clear indication of the items to be measured should be prepared for use at the various observation points.

The observation sheets will be prepared in a sufficient number of copies, so that each party to the test and the Chief of Test can immediately be handed a complete set.

5.2 All readings should be taken in relation to time and at regular intervals, or the readings can be taken on signals to all observers.

5.3 All momentary readings shall extend over the same interval of time at each measuring point. The arithmetical mean of the momentary readings will be used for the test computations.

5.4 Before carrying out a test, the openings of the needle nozzle or the guide vanes and, in the case of Kaplan turbines, the positions of the movable runner blades, for various positions of the operating mechanisms, shall be accurately measured and suitable scales provided. These scales must be accessible in operation and recorded for each run. The test results can be referred to such recorded positions. (See V.2.2.2).

5.5 Before carrying out the test, the necessary correction and calibration curves of all instruments employed shall be available, so that within a short time following a test run, a sufficient number of representative calculations can be made. All errors hereby determined shall be eliminated where possible or taken into account. Only on this basis may the tests be terminated and the test instruments removed (see V.4.2).

5.6 Toutes les dispositions nécessaires aux méthodes de mesure prévues dans le code sont décrites dans la deuxième partie.

6. Signature des comptes rendus

Les relevés d'essais doivent être signés par le Chef des essais.

7. Procédure en cas de contestation ou de répétition

Après l'achèvement des essais, les relevés doivent être examinés par les deux parties et des résultats représentatifs doivent être calculés provisoirement sur place avant la dispersion du personnel d'essais. S'il y a une contestation quelconque concernant les essais pour des raisons clairement expliquées par écrit, la partie qui ne s'estime pas satisfaite a le droit de demander l'exécution d'un nouvel essai.

Si un accord final concernant l'exécution d'un tel essai ne peut pas être obtenu, il y a lieu de porter le différend devant un arbitre indépendant acceptable pour les deux parties.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60077-2

5.6 All arrangements necessary for any method of measurement provided in the code are described in Part 2.

6. Signing of records

The test records shall be signed by the Chief of Test.

7. Procedure in case of dispute or repetition

After completion of the test, the records shall be examined by both parties and representative results shall be provisionally computed on site before dispersal of the testing staff. If there is any dissatisfaction with the tests for clearly explained reasons stated in writing, the dissatisfied party shall have the right to demand a new test.

If final agreement as to the conduct of such test cannot be reached, the matter shall be referred to an independent arbitrator acceptable to both parties.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60047-1:2003

CHAPITRE VI — CALCUL DES RÉSULTATS

1. Conversion aux conditions garanties

- 1.1 En utilisant les méthodes de mesure décrites dans la deuxième partie du code, les résultats d'essai doivent fournir, pour chaque position des directrices ou des injecteurs, le débit d'eau (Q), la chute (H_n) et la puissance (P_t) de la turbine.

Lorsque l'on tiendra compte d'une pondération dans les rendements, et que des essais répétés seront effectués pour les charges ou les débits les plus importants, les ouvertures de la turbine étant maintenues constantes, deux ou plusieurs valeurs correspondantes de Q , H_n et P_t seront alors calculées pour la même ouverture (voir V.3.2.5).

- 1.2 Si les conditions d'essai ne diffèrent pas de celles stipulées au Chapitre IV, en particulier en ce qui concerne la chute nette d'essai (H_n), les résultats d'essai peuvent être ramenés aux conditions de garantie (H_r) (voir VI.3.1).

Les équations suivantes doivent être employées :

$$Q_r = Q \left(\frac{H_r}{H_n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad P_r = P_t \left(\frac{H_r}{H_n} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Le rendement de la turbine qui est maintenu inchangé par cette conversion, est :

$$\eta_r = \eta_t = \frac{P_t}{k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n} \quad \text{où } k = \frac{1000}{102}$$

- 1.3 Si la chute d'essai (H_n) s'écarte des limites permises par rapport à la chute garantie (H_r), la vitesse pourra être ramenée à la vitesse garantie :

$$n_r = n_n \left(\frac{H_r}{H_n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Inversement, cette équation peut servir à calculer la vitesse de rotation d'essai n_n lorsque la chute d'essai (H_n) diffère notablement de la chute (H_r) (voir IV.2.3).

- 1.4 En utilisant les équations de l'article VI.1.2, les rendements η_t pour chaque point peuvent être calculés et portés en fonction de P_t ou Q .

2. Incertitude de mesure

- 2.1 Toute mesure est inévitablement entachée d'incertitude, même quand les méthodes, les instruments et les modes de calculs employés correspondent exactement aux règles du présent code. Lors de la comparaison des résultats d'essais avec les valeurs garanties, il faudra tenir compte de façon appropriée de ces incertitudes de mesure. Ceci peut se faire de différentes façons.

- 2.2 L'expérience résultant des essais d'un grand nombre de turbines hydrauliques a montré que les erreurs intervenant lors des mesures de chute, de débit, de puissance et de vitesse peuvent souvent se compenser mais quelquefois aussi se cumuler. Lorsqu'un essai est effectué en se conformant à ce code, on peut s'attendre à une valeur moyenne globale de l'erreur à craindre sur η_t comprise entre $\pm 1\%$ et $\pm 2\%$. La valeur de cette erreur globale de mesure à craindre est à déterminer lors de la signature du contrat, en accordant toute la considération voulue aux méthodes de mesures prévues. Lors de la comparaison des résultats des essais de réception avec les valeurs garanties, il faudra tenir compte de cette incertitude de mesures sur η_t (voir VI.3).

CHAPTER VI — COMPUTATION OF RESULTS

1. Reference to guaranteed conditions

- 1.1 Using the methods of measurement described in Part 2, the test data shall provide, for each setting of the turbine guide vanes or needle nozzle, the quantity of water (Q), the head (H_n) and the turbine output (P_t).

When weighted efficiencies are used and repeated tests are carried out for the more important output and/or discharge with unchanged turbine openings, two or more correlated sets of Q , H_n , and P_t will then be calculated for the same opening (see V.3.2.5).

- 1.2 If the test conditions do not differ from those set forth in the requirements of Chapter IV, particularly with respect to the net operating head (H_n), the test results can be converted to the guaranteed conditions (H_r) (see VI.3.1).

The following equations should be used:

$$Q_r = Q \left(\frac{H_r}{H_n} \right)^{1/2} \quad P_r = P_t \left(\frac{H_r}{H_n} \right)^{3/2}$$

The turbine efficiency, which is taken over unchanged for this conversion, is:

$$\eta_r = \eta_t = \frac{P_t}{k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n} \quad \text{where } k = \frac{1000}{102}$$

- 1.3 If the test head (H_n) varies beyond the permissible limits of guaranteed head (H_r), the speed can be corrected to guaranteed speed as follows:

$$n_r = n_n \left(\frac{H_r}{H_n} \right)^{1/2}$$

conversely, this relation can be used to compute the test speed n_n when the estimated test head (H_n) differs substantially from the guaranteed head (H_r) (see IV.2.3).

- 1.4 Using the equations in VI.1.2, the efficiencies η_t for each point can be calculated and plotted against P_t or Q .

2. Inaccuracies in measurement

- 2.1 Every measurement is attended by unavoidable inaccuracies in measurement, even when the methods, instruments and calculations employed correspond exactly with this code. When comparing the results of the tests with the guarantee figures, these inaccuracies in measurement must be taken into account in a suitable manner. This can be done in various ways.

- 2.2 Experience with tests on a large number of hydraulic turbines has shown that the inaccuracies which occur when measuring head, flow, output and speed may often offset each other, but in some cases they can also be cumulative. If a test is carried out in accordance with this code, the resulting average overall error in the results for η_t should be between $\pm 1\%$ and $\pm 2\%$. The value of such overall errors may be agreed upon when signing the contract, with due consideration to the measuring methods to be adopted. When comparing the results of acceptance tests with the guarantee figures, the inaccuracy for η_t in measurement shall be taken into consideration (see VI.3).

2.3 La valeur estimée de l'incertitude moyenne sur η_t peut être obtenue en considérant les erreurs à craindre pour chaque grandeur individuelle (les détails sont donnés à la section VI.4). Les incertitudes de mesure probables f_Q , f_H et f_P sur la mesure de Q , H et P ne peuvent en effet être calculées, strictement parlant, que lorsque tous les résultats des mesures sont réunis; l'erreur à craindre f_η sur le rendement η_t sera alors déterminée selon l'article VI.4.6.

2.4 Les incertitudes se réfèrent uniquement aux mesures elles-mêmes et non aux performances de la turbine.

3. Comparaison avec les garanties

3.1 Pour certaines centrales dont les chutes sont sujettes à variations, les garanties concernant P_t et η_t sont souvent données pour plusieurs chutes H_r .

3.2 Dans un tel cas, la courbe de garantie pour la chute moyenne d'essai H_{n_m} pourra être déterminée par interpolation. Ceci évite l'adaptation de la vitesse de rotation d'essai n_m à la chute d'essai H_n . Ce procédé simplifiera et facilitera dans bien des cas les essais.

3.3 Dans la figure 8, le rendement de la turbine est transcrit en fonction de la puissance de la turbine P_t convertie pour une chute garantie constante H_r ou pour H_{n_m} . Pour chaque point d'essai, on tracera un trait vertical pour mettre en évidence l'incertitude de mesure choisie selon VI.2.2 ou déterminée suivant VI.2.3. Les extrémités supérieures et inférieures de ces traits verticaux seront reliées entre elles par deux courbes régulières. Ceci donnera une bande pour le rendement d'essai de la turbine. Tous les points de rendement situés à l'intérieur de cette bande sont également valables.

3.4 Si la courbe des rendements garantis est située en totalité à l'intérieur de cette bande, la garantie de rendement pour cette chute doit être considérée comme remplie (voir figure 8).

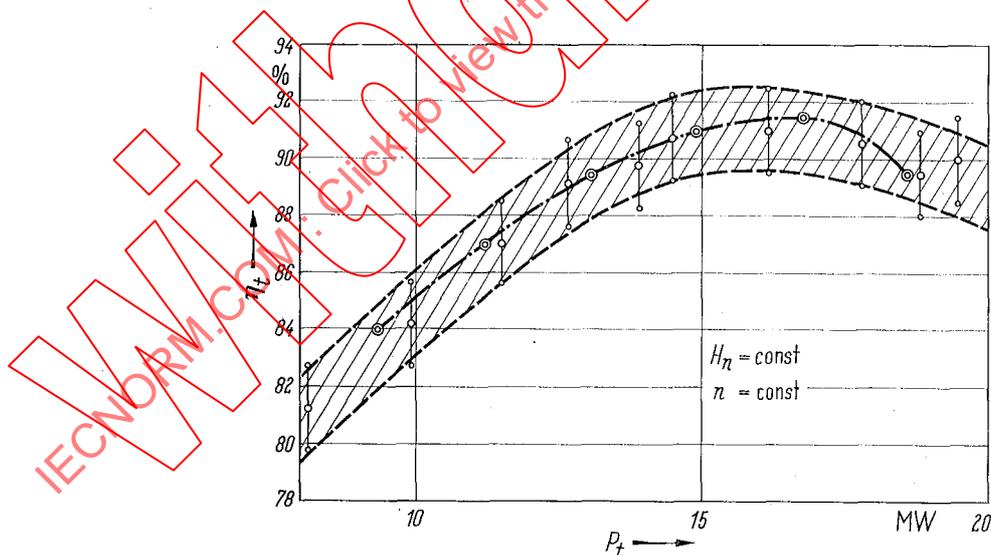


FIG. 8. — Comparaison des valeurs mesurées aux valeurs garanties.
Garantie à l'intérieur de la bande des imprécisions de mesure.

3.5 Si, comme le montre la figure 9, la courbe des rendements garantis est située en totalité ou en partie au-dessus de la limite supérieure de la bande de rendement, la garantie doit être considérée

2.3 The estimated value of the average inaccuracy for η_t of test results may be arrived at by considering the possible errors of each individual value (detailed data is given in VI.4). The probable inaccuracies in measurement f_Q , f_H and f_P for the measurement of Q , H and P can, strictly speaking, only be calculated when the results of the measurements are complete; the inaccuracy in measurement f_η for the efficiency η_t is then determined according to VI.4.6.

2.4 Inaccuracies relate only to the measurements themselves and do not relate to the performance of the turbine.

3. Comparison with guarantee

3.1 In the case of power stations having heads which are subject to variations, guarantees with regard to P_t and η_t are frequently given for several heads H_r .

3.2 In such instances the guarantee curve for the mean test head H_{nm} can be determined by interpolation. In this way the adjustment of the test speed n_n to the various test heads H_n can often be dispensed with and thus facilitate and simplify the acceptance tests.

3.3 In Figure 8 the turbine efficiency is plotted against turbine output P_t , converted to a constant guarantee head H_r or to H_{nm} . For each test point a vertical line is drawn to show the inaccuracy in measurement as agreed according to VI.2.2 or as determined according to VI.2.3. The upper and lower ends of these vertical lines are connected by two smooth curves. This gives a band of test efficiency for the turbine. All efficiency points within this band are of equal value.

3.4 If the curve of the guaranteed efficiencies is entirely within this band, as illustrated by Figure 8 then the guarantee as to efficiency for the respective head shall be regarded as having been fulfilled

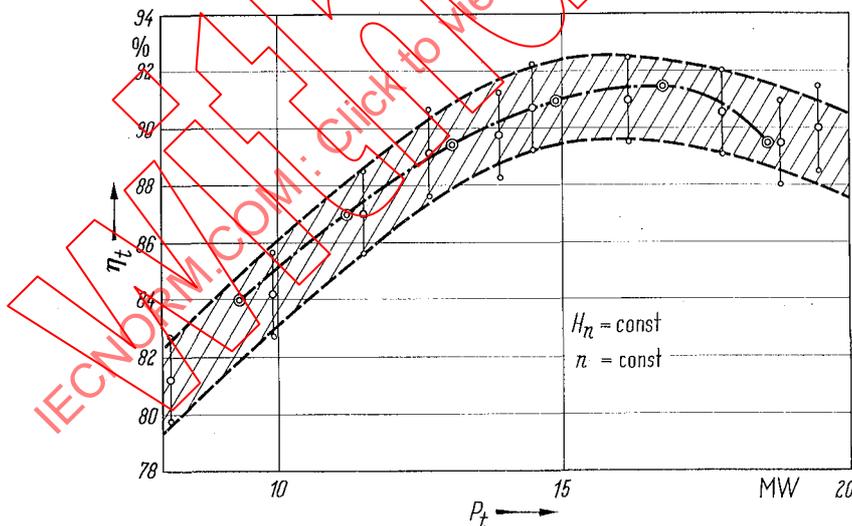


FIG. 8. — Comparison of test values with guarantee values.
Guarantee within band of inaccuracies of measurement.

3.5 If the guarantee curve is entirely or partly above the upper limit of the efficiency band, then the guarantee for these ranges of output or discharge must be regarded as not having been fulfilled.

comme non remplie pour les zones de puissance ou de débit correspondantes. C'est pour ces zones de la courbe de garantie situées en dehors de la bande de rendements que sera calculée une pénalité prévue éventuellement dans le contrat (voir A — figure 9).

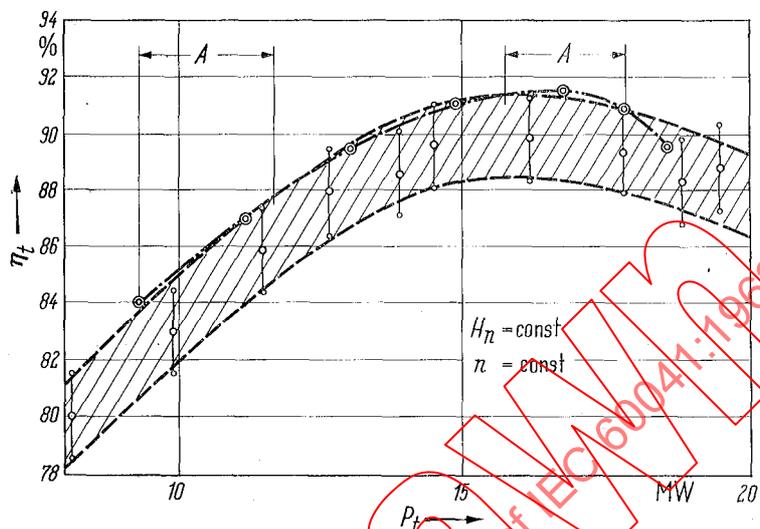


FIG. 9. — Comparaison des valeurs mesurées aux valeurs garanties.
Courbe de garantie partiellement au-dessus de la bande des imprécisions de mesure (A).

3.6 Si, d'autre part, la courbe des rendements garantis est située en totalité ou en partie, au-dessous de la limite inférieure de la bande de rendements, les primes doivent être calculées seulement pour les zones de la courbe de garantie situées en dehors de la bande de rendements (voir B — figure 10).

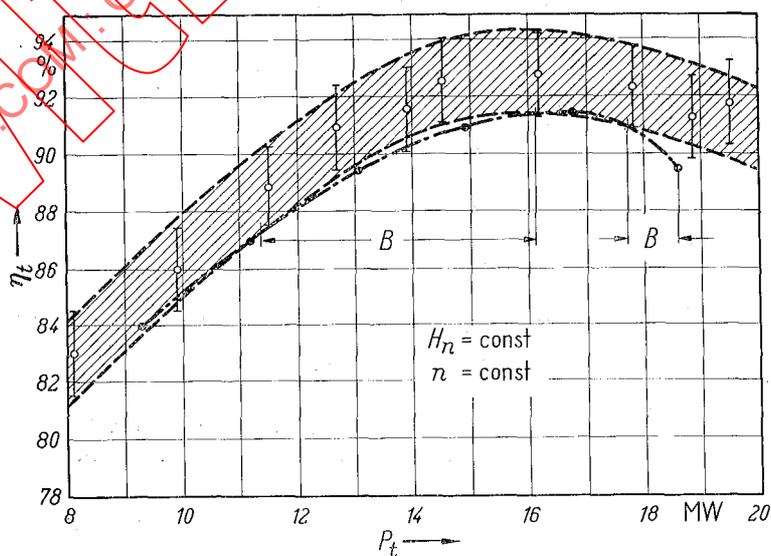


FIG. 10. — Comparaison des valeurs mesurées aux valeurs garanties.
Courbe de garantie partiellement au-dessous de la bande des imprécisions de mesure (B).

If a penalty is provided for in the contract, then it shall be calculated only for those sections of the guaranteed curve lying outside of the efficiency band (see A in Figure 9).

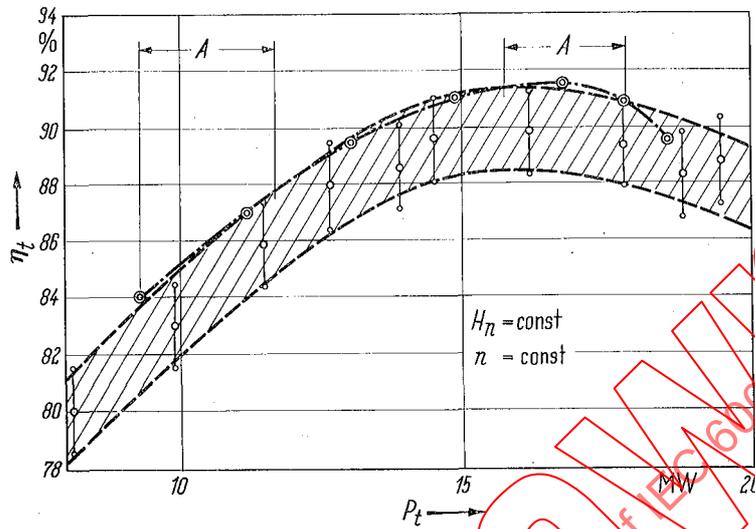


FIG. 9. — Comparison of test values with guarantee values. Guarantee partly above band of inaccuracies of measurement (A).

3.6 If on the other hand the guaranteed curve is entirely or partly below the lower limit of the efficiency band, then the premium must be calculated for those sections only lying outside of the efficiency band (see B in Figure 10).

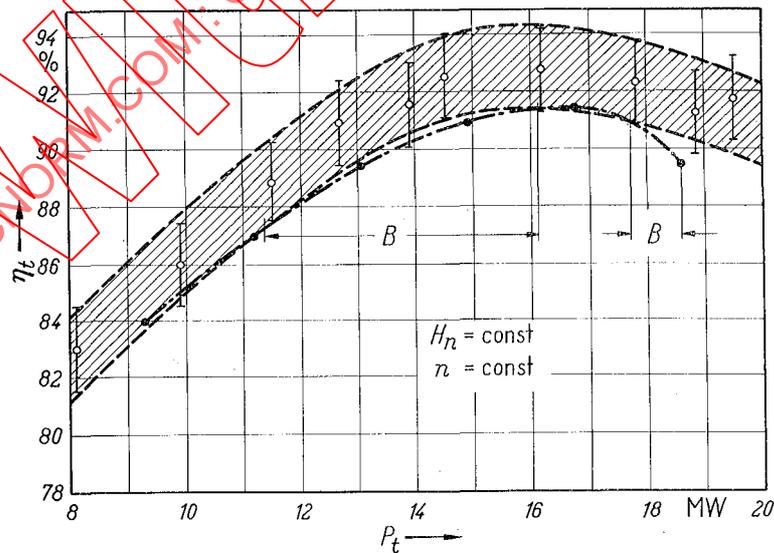


FIG. 10. — Comparison of test values with guarantee values. Guarantee partly below band of inaccuracies of measurement (B).

- 3.7 Si cela a été convenu d'un commun accord dans le contrat, une procédure semblable pourra également être appliquée pour chaque point séparé de garantie.
- 3.8 On pourra considérer comme puissance maximale (puissance 100%) toute puissance P_t atteinte effectivement par la turbine qui sera située entre 100% et 110% de la puissance garantie pour la chute correspondante H_r (voir III.2.2.2 et III.2.2.3).
- 3.9 La même règle est valable lorsque les rendements sont garantis en fonction du débit.
- 3.10 Tous les points de mesure qui se trouvent en dehors de la bande de rendements doivent être considérés comme non valables.
- 3.11 Si plus d'un quart de la totalité des points de mesure n'est pas valable, on devra déclarer que la totalité de l'essai de réception est sans valeur, car la précision demandée par le présent code n'aura pas été atteinte.
- 3.12 Une autre méthode pour contrôler la dispersion des points d'essais consiste à reporter les valeurs du débit (Q) et de la puissance (P_t) ramenés à une chute nette (H_n) constante (voir VI.1.2, VI.3.1 et VI.3.2) en fonction de l'ouverture du mécanisme de commande du distributeur ou de l'injecteur (VI.3.1). De même, la puissance sera reportée en fonction du débit.

On tracera des courbes régulières pour représenter les moyennes obtenues dans ces différents cas et les trois courbes (débit-ouverture, puissance-ouverture, puissance-débit) seront comparées et rectifiées jusqu'à ce qu'elles s'accordent toutes entre elles.

En utilisant la dernière équation de l'article VI.1.2, on peut calculer le rendement pour différents points tout au long de ces courbes primaires et en tracer une courbe en fonction de la puissance (figure 11).

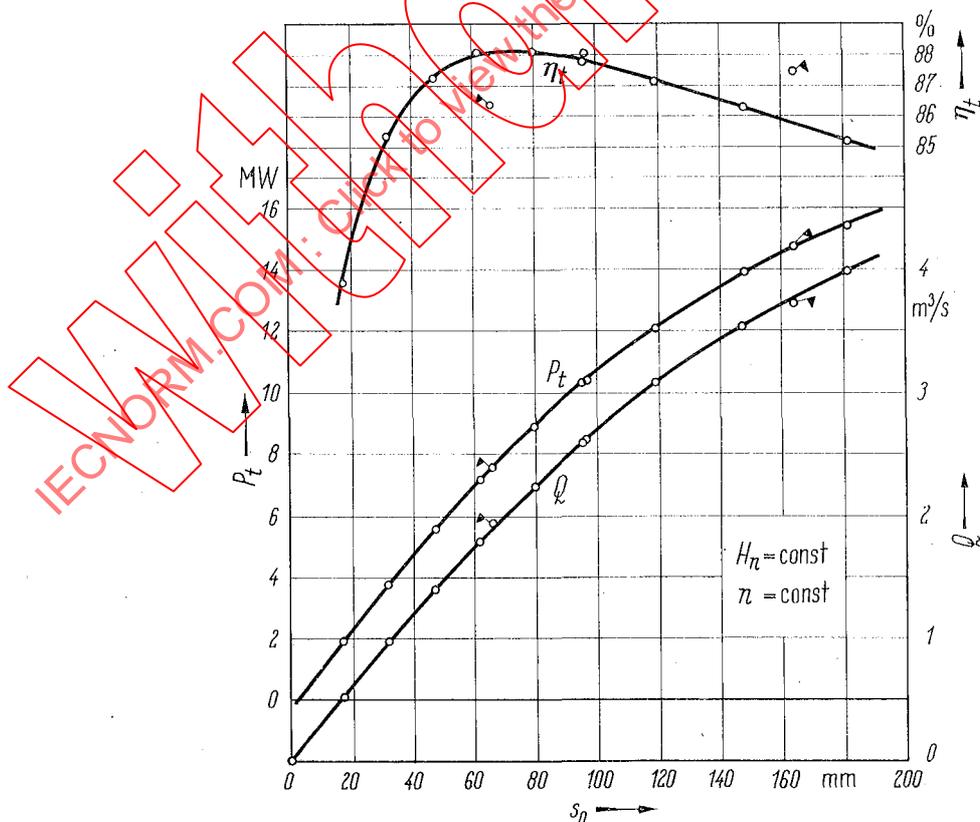


FIG. 11. — Valeurs mesurées en fonction de l'ouverture s_0 de la turbine.

- 3.7 If mutually agreed upon in the contract, a similar procedure can also be applied to each separate guarantee point.
- 3.8 Full load output (100% output) can be designated as any output P_t , actually attained by the turbine, which lies between 100% and 110% of the output guaranteed for the respective head H_r (see III.2.2.2 and III.2.2.3).
- 3.9 A similar designation is permissible when the efficiencies are guaranteed in relation to the quantity of water.
- 3.10 Measured points lying outside the efficiency band must be considered invalid.
- 3.11 If more than $\frac{1}{4}$ of all measured points are invalid, then the whole acceptance test is to be declared invalid as the accuracy called for in this code has not been attained.
- 3.12 Another method to check the scatter of test points consists in plotting the values of discharge (Q) and output (P_t), adjusted to a constant net head (H_n) (see VI.1.2, VI.3.1 and VI.3.2) with respect to the guide vane or needle operating mechanism (see VI.3.1). Similarly output shall be plotted with respect to discharge.

Smooth curves shall be drawn to represent the means of the various observations and the three curves (discharge-opening, output-opening and output-discharge) shall be compared and adjusted until all are in agreement.

Using the last equation in VI.1.2, the efficiency can be calculated for various points along the whole range of these primary curves and a derived efficiency curve plotted against output (Figure 11).

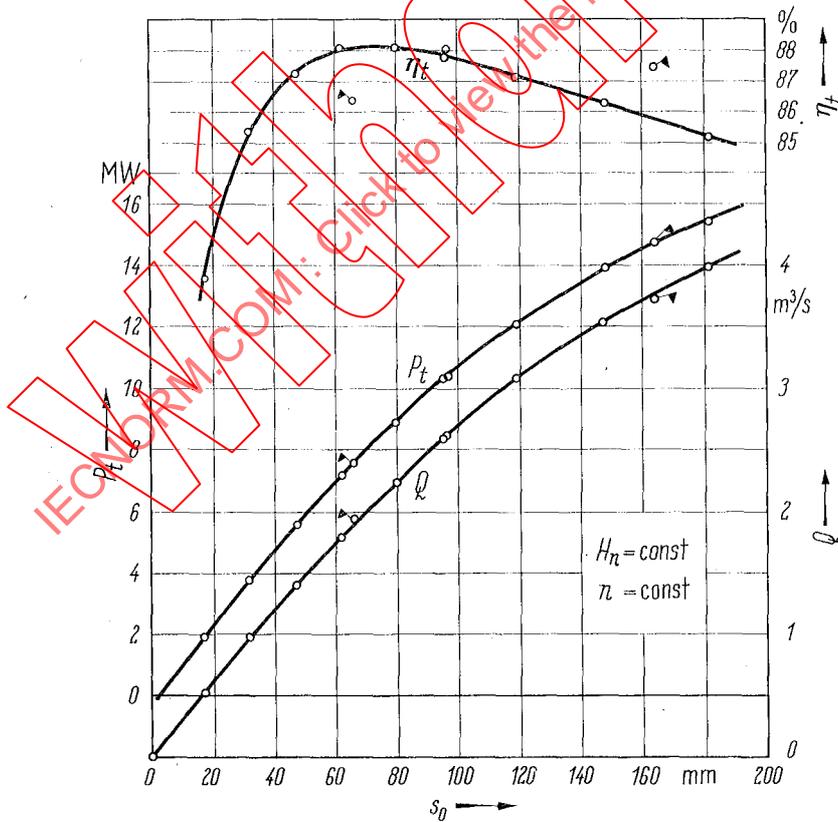


FIG. 11. — Curves of test values in function of gate opening s_0 .

4. Erreurs de mesures partielles

Le tableau suivant peut être utilisé comme guide dans le calcul de la valeur de l'incertitude f_n (VI.2.3) à partir des valeurs estimées des erreurs à craindre sur chacune des grandeurs individuelles mesurées.

4.1	<i>Débit</i>	<i>Erreurs à craindre f_Q</i>
4.1.1	Mesures au moulinet :	
	— en canaux découverts	$\pm 1,5\%$
	— dans les ouvrages d'entrée de turbine et dans les conduites de 1,2 à 1,5 m de diamètre	$\pm 1,2\%$
	— dans les conduites de plus de 1,5 m de diamètre	$\pm 1,0\%$
4.1.2	Mesure au déversoir sans contraction latérale	$\pm 1,5\%$
4.1.3	Capacité jaugée	$\pm 0,3\%$
4.1.4	Ecran mobile	$\pm 0,3\%$
4.1.5	Méthode pression-temps	$\pm 1,0\%$
4.1.6	Méthode de l'écran salé	$\pm 1,0\%$
4.1.7	Tube de Pitot	$\pm 1,5\%$
4.1.8	Méthode de dilution en conduite	$\pm 1,5\%$
4.2	<i>Surface libre</i>	
	Mesure de la différence d'altitude h (en m) entre deux plans d'eau libres (excepté pour un déversoir).	<i>Erreurs à craindre f_h</i>
4.2.1	Avec pointe de mesure flotteur air comprimé	$\frac{1}{h} \%$
4.2.2	Avec règle plate échelle fixe	$\frac{5}{h} \%$
4.3	<i>Pression</i>	<i>Erreurs à craindre f_p</i>
4.3.1	Manomètre à poids	$\pm 0,1\%$
4.3.2	Manomètre à colonne de mercure (h en m)	$\pm \frac{0,1}{h} \%$
4.3.3.	Manomètre à ressort si l'étalonnage à lieu sur place	$\pm 0,5\%$
4.4	<i>Puissance</i>	<i>Erreurs à craindre f_p</i>
4.4.1	Par mesure du couple et de la vitesse de rotation	$\pm 1,0\%$
4.4.2	Par mesure de la puissance aux bornes du générateur :	
	— en courant continu	$\pm 1,0\%$
	— en courant alternatif	$\pm 0,8\%$

Selon la méthode utilisée pour la détermination des pertes dans le générateur et dans le cas où l'on emploie des shunts pour la mesure d'intensités élevées, en courant continu, f_p peut être augmentée.

4. Individual errors in measurement

The following table can be used as a guide for the calculation of a value for probable inaccuracy f_η (see VI.2.3) from the estimated inaccuracies of each individual item measured.

4.1	<i>Rate of water flow</i>	<i>Probable inaccuracy f_Q</i>
4.1.1	Currentmeter method in open channels	$\pm 1.5\%$
	Closed turbine inlets and pipes from 1.2 to 1.5 m diameter	$\pm 1.2\%$
	In pipes of more than 1.5 m diameter	$\pm 1.0\%$
4.1.2	Weir measurement (without lateral contraction)	$\pm 1.5\%$
4.1.3	Reservoir	$\pm 0.3\%$
4.1.4	Moving screen	$\pm 0.3\%$
4.1.5	Pressure-time method	$\pm 1.0\%$
4.1.6	Salt velocity method	$\pm 1.0\%$
4.1.7	Pitot tube	$\pm 1.5\%$
4.1.8	Dilution in penstocks	$\pm 1.5\%$
4.2	<i>Free level</i>	
	Measurement of free water level differences h (in m) (Not for weir measurement).	<i>Probable inaccuracy f_h</i>
4.2.1	With pointed hook, float gauge, compressed air	$\frac{1}{h} \%$
4.2.2	With plate gauge, fixed scales	$\frac{5}{h} \%$
4.3	<i>Pressure</i>	<i>Probable inaccuracy f_p</i>
4.3.1	Weight manometer	$\pm 0.1\%$
4.3.2	Mercury column manometer (h in m)	$\pm \frac{0.1}{h} \%$
4.3.3	Spring pressure gauge, if calibrated at site	$\pm 0.5\%$
4.4	<i>Output</i>	<i>Probable inaccuracy f_p</i>
4.4.1	By measurement of torque and speed	$\pm 1.0\%$
4.4.2	By measurement of the electric power at the terminals of:	
	— d.c. generators	$\pm 1.0\%$
	— a.c. generators	$\pm 0.8\%$

Depending upon the method employed for the determination of the generator losses, and in cases where shunts are used for high direct currents, f_p may be increased.

4.5 Hauteur de chute

L'erreur à craindre f_H peut se calculer avec une bonne approximation à partir de l'erreur à craindre f_h sur le niveau h , de l'erreur à craindre f_p sur la pression p et du poids spécifique γ par :

$$f_H = \frac{(f_h \cdot h) + (f_p \cdot p/\gamma)}{h + p/\gamma}$$

4.6 Rendement

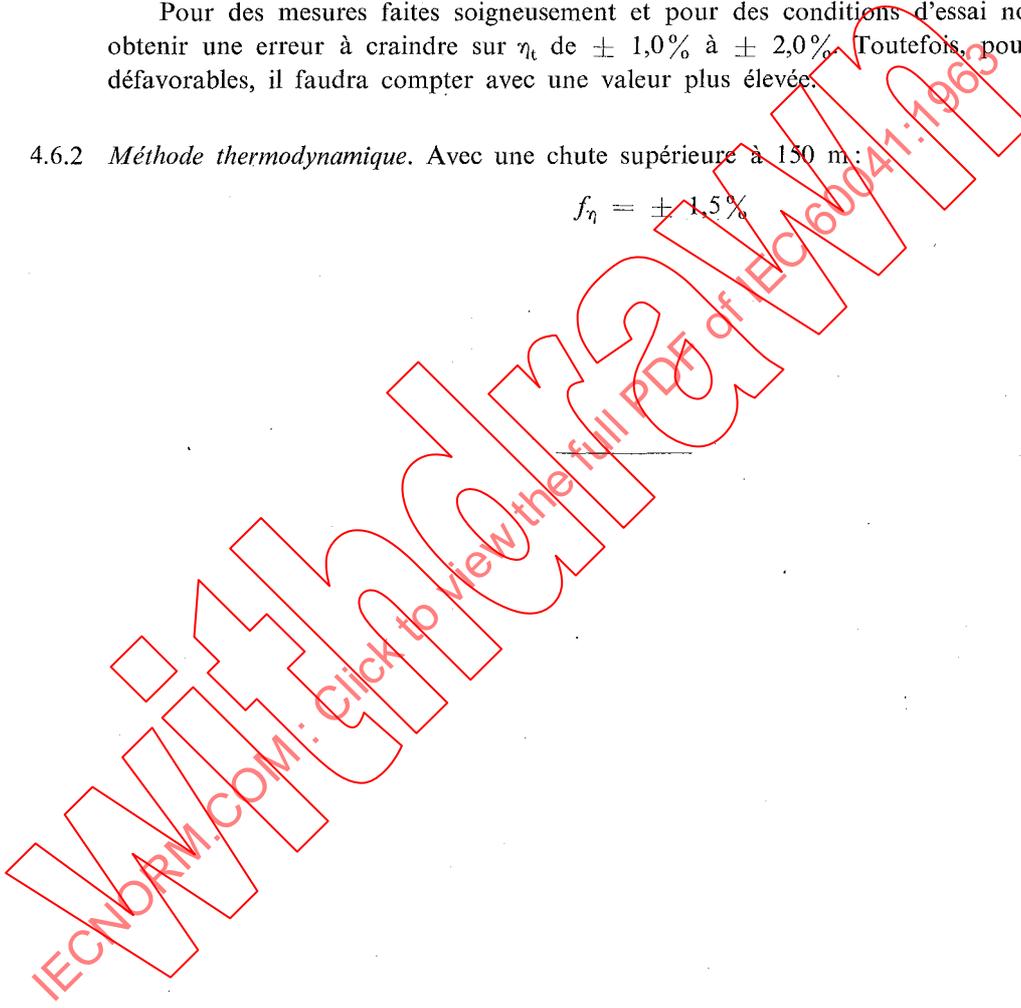
4.6.1 L'erreur à craindre f_η sur la détermination du rendement de la turbine est calculée à partir des valeurs estimées des erreurs à craindre individuelles par la relation :

$$f_\eta = \pm \sqrt{f_Q^2 + f_H^2 + f_P^2}$$

Pour des mesures faites soigneusement et pour des conditions d'essai normales, on peut obtenir une erreur à craindre sur η_t de $\pm 1,0\%$ à $\pm 2,0\%$. Toutefois, pour des conditions défavorables, il faudra compter avec une valeur plus élevée.

4.6.2 *Méthode thermodynamique.* Avec une chute supérieure à 150 m :

$$f_\eta = \pm 1,5\%$$



4.5 Head

This inaccuracy f_H can be computed with a fair approximation from the inaccuracy f_h of the head h , from the inaccuracy f_p of the pressure p , and from the specific weight γ by

$$f_H = \frac{(f_h \cdot h) + (f_p \cdot p/\gamma)}{h + p/\gamma}$$

4.6 Efficiency

4.6.1 The inaccuracy f_η of the turbine efficiency determination is computed from the estimated individual inaccuracies by

$$f_\eta = \pm \sqrt{f_Q^2 + f_H^2 + f_p^2}$$

For careful measurement and normal testing conditions an inaccuracy in η_t of $\pm 1.0\%$ to $\pm 2.0\%$ may be obtained; for unfavourable conditions, however, a higher value has to be considered.

4.6.2 *Thermodynamic method.* When applied with net head above 150 m

$$f_\eta = \pm 1.5\%$$

Watermark: IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:1988

CHAPITRE VII — RAPPORT FINAL

1. Préparation du rapport

Le rapport final sera rédigé par le Chef des essais. Il devra être préparé sous forme de projet, et soumis à l'acheteur et au fournisseur de la turbine afin d'obtenir l'approbation des deux parties quant aux détails des calculs et à la présentation des résultats. Les divergences éventuelles entre les points de vue seront réglées entre les deux parties, chacune jouissant de droits égaux en ce qui concerne la détermination de la forme définitive à donner au rapport.

2. Teneur du rapport final

Le rapport final doit comprendre les matières suivantes, l'ordre indiqué ci-après n'étant pas obligatoire :

- 2.1 But des essais.
- 2.2 Transcription de tous les accords préliminaires intéressant les essais.
- 2.3 Personnel participant aux essais.
- 2.4 Description de l'unité et précisions concernant le service et les conditions de charge auxquelles a été soumise la turbine jusqu'au moment de l'essai. Indication des données figurant sur la plaque signalétique de la turbine, du rendement et de la puissance garantis par le contrat.
- 2.5 Description de l'équipement et des étalonnages utilisés pour mesurer la puissance, la chute et le débit.
- 2.6 Procédure adoptée pour les essais.

Propriétaire _____ Usine de _____
 Essai de rendement de la turbine N° _____ du _____ au _____
 Détermination de la puissance et du rendement

Essai N°	Date heure	Ouverture de la turbine	Débit Q	Chute nette H_n	Puissance hydraulique disponible P_d	Puissance élect. du générateur $P_{gén.}$	Rendement du générateur ou pertes $\eta_{gén}$	Puissance nette de la turbine P_t	Rendement de la turbine η_t	Résultats à m de chute	
										Débit Q	Puissance de la turbine P_t
		mm (in)	m ³ /s (ft ³ /s)	m (ft)	kW	kW	%	kW	%	m ³ /s (ft ³ /s)	kW

FIG. 12. — Tableau des résultats de l'ensemble des mesures.

CHAPTER VII — FINAL REPORT

1. Preparation of report

The final report shall be written by the Chief of Test. It shall be prepared in draft form and submitted to the purchaser and supplier of the turbine to obtain approval of both parties as to the details of calculation and the presentation of results. Any differences in viewpoint shall be resolved by both parties with each having equal rights in determining the final form.

2. Content

The final report shall contain, but not necessarily in this order, the following:

- 2.1 Object of test.
- 2.2 Record of any preliminary agreements pertinent to the test.
- 2.3 Personnel taking part in the test.
- 2.4 Description of whole generating unit and particulars concerning service and load conditions of the turbine to the time of the test, nameplate data of the turbine, efficiency, and output guaranteed by contract.
- 2.5 Description of equipment and calibrations used for load, head and flow measurements.
- 2.6 Procedure in making the test.

Company _____ Plant _____

Results of power tests of turbine No. _____ from _____ to _____

Determination of output and efficiency

No. of test	Timing of test	Turbine opening	Flow	Net head	Turbine input	Generator output	Generator efficiency or loss	Net turbine output	Turbine efficiency	Results at m (ft) head	
			Q	H_n	P_d	$P_{gen.}$	$\eta_{gen.}$	P_t	η_t	Flow Q	Turbine output P_t
		mm (in)	m ³ /s (ft ³ /s)	m (ft)	kW	kW	%	kW	%	m ³ /s (ft ³ /s)	kW

FIG. 12. — Tabulation of results of all measurements.

- 2.7 Exemple de calcul, pour un essai individuel au moins, en indiquant tous les détails depuis les données d'origine jusqu'au résultat final.
- 2.8 Registre quotidien du déroulement de l'essai.
- 2.9 Diagrammes utilisés pour l'essai individuel calculé (diagrammes pression-temps, courbe obtenue par la méthode de l'écran salé, explorations de vitesse au moulinet, etc.).
- 2.10 Tabulation des résultats de toutes les mesures, y compris les données intermédiaires, les résultats des calculs de la chute, les mesures du débit jusqu'aux résultats finals corrigés avec conversion des valeurs d'essai aux conditions contractuelles H_r et n_r pour Q et P_t , ainsi que la mesure de la puissance électrique et la détermination du rendement de l'alternateur (figure 12).
- 2.11 Déclaration relative à l'erreur à craindre pour chaque catégorie de mesure, ainsi qu'à l'erreur à craindre pour des résultats basés sur des combinaisons de mesures. Les influences défavorables pendant les essais doivent être notées.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:1963

Withdram

- 2.7 Sample calculation for at least one run in detail from original data to final result.
- 2.8 Daily Log of the events of the test.
- 2.9 Diagrams used for the calculated run (pressure-time diagrams, salt velocity curve, currentmeter velocity traverses, etc.).
- 2.10 Tabulation of results of all measurements including the intermediate data, results of calculations for the head, the flow measurements, through to final corrected results with reduction of the tested values to guarantee conditions H_r and n_r for Q and P_t , as well as the measurement of electrical output and determination of the efficiency of generator (Figure 12).
- 2.11 Statement as to inaccuracy of each class of measurement and inaccuracy of data based on combined measurements. Unfavourable influences during the tests shall be recorded.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60041:1963

Withdrawn

Deuxième partie — Méthodes de mesure

CHAPITRE VIII — MÉTHODES DE MESURE DU DÉBIT

Les méthodes de mesure du débit peuvent être divisées en plusieurs groupes principaux comme il suit :

- a) Méthodes applicables aux grands débits :
- Ecran salé (Allen);
 - Pression-temps (Gibson);
 - Moulinets;
 - Dilution.
- b) Méthodes applicables aux faibles débits.
- Toutes les méthodes ci-dessus, quand les dimensions le permettent, et de plus :
- Déversoirs;
 - Méthodes gravimétriques et volumétriques;
 - Ecran mobile;
 - Appareils déprimogènes.
- c) Méthodes de mesures du débit qui peuvent ne pas être encore acceptées de façon générale pour que l'on puisse les classer dans les paragraphes ci-dessus, mais qui peuvent être utilisées néanmoins dans des cas spéciaux, après entente préalable entre le fournisseur et le client.

1. Méthode de l'écran salé ^{1) 2) 3) 4)}

1.1 La méthode de l'écran salé développée à l'origine par le Professeur C. M. Allen se base sur le fait que le sel dissous augmente la conductivité de l'eau et qu'un nuage de solution dans une conduite contenant de l'eau courante reste individualisé. La solution salée est introduite dans une section de la conduite située à l'amont de deux ou plusieurs jeux d'électrodes, et on enregistre graphiquement à la fois son passage au droit de chaque jeu d'électrodes et le temps écoulé. Le vrai débit est obtenu en divisant le volume de la conduite entre les plans des électrodes par le temps moyen nécessaire au nuage salin pour passer entre les électrodes.

Afin de satisfaire aux exigences de ce code, le débit sera seulement mesuré par la méthode différentielle, c'est-à-dire entre deux sections d'électrodes. La mesure du débit utilisant le volume compris entre la section d'injection et une section d'électrode peut être utilisée après accord mutuel.

1.2 La solution est préparée dans une cuve ouverte et brassée de manière continue. Sa concentration sera ajustée aux exigences du dispositif d'enregistrement entre 120 g/l (1,2 lb/gal) et 3 g/l ($\frac{1}{33}$ lb/gal). Un filtre est prévu afin d'éviter que des particules solides pénètrent dans le système d'injection (figure 13).

1.3 La solution sera introduite dans la conduite par un système de tuyauterie et de valves qui l'injectent sous forme d'un écran mince perpendiculaire à l'écoulement. Ces valves doivent être munies d'un ressort créant une contrepression d'environ 0,35 kp/cm² (5 lbf/in²) afin d'obtenir une fermeture

¹⁾ Trans. Am. Soc. of Mech. Eng. — Volume 45, 1923, Paper n° 1902, pages 285-341, par C. M. Allen et E. A. Taylor.

²⁾ « Fields Checks of the Salt Velocity Method », Trans. A.S.M.E., Nov. 1940, pages 663-676 par O. H. Dodkin.

³⁾ « Salt Velocity Measurements at Low Velocities in Pipes », par L. J. Hooper, Trans. A.S.M.E. 1940, pages 651-661.

⁴⁾ « Contribution à l'étude de la mesure des débits d'eau par la méthode d'Allen », par M. Mason, Revue générale de l'Hydraulique, Vol. V, 1939.

Part 2 — Methods of measurement

CHAPTER VIII — METHODS OF DISCHARGE MEASUREMENT

Methods of discharge measurement may be divided into several main groups as follows:

- a) Methods suitable for large rates of flow:
 - Salt velocity (Allen);
 - Pressure-time (Gibson);
 - Currentmeter;
 - Dilution.
- b) Methods suitable for small rates of flow:
 - All the above methods where size permits, with the addition of:
 - Weir;
 - Gravimetric and volumetric methods;
 - Travelling screen;
 - Differential-pressure meters.
- c) Methods of water measurement which may not yet be generally accepted for inclusion above but which might, nevertheless, be used in special cases by agreement between supplier and purchaser.

1. Salt velocity method ¹⁾ ²⁾ ³⁾ ⁴⁾

1.1 The salt velocity method originally developed by Professor C. M. Allen depends upon the fact that salt in solution (brine) increases the conductivity of water and that a slug of brine in a conduit containing flowing water does not lose its identity. Salt solution is introduced at a section in the conduit upstream from two or more sets of electrodes and its passage past the electrodes together with the elapsed time are recorded graphically. The true discharge is found by dividing the volume of the conduit between the planes of the electrodes by the mean time of passage required for the salt cloud to pass between the electrodes.

In order to meet the requirements of this code the discharge shall only be measured by the differential method, that is between two sets of electrodes. The measurement of discharge using the volume between the brine injection station and one set of electrodes may be used by mutual agreement.

- 1.2 The brine is mixed in an open tank and continually agitated. Its concentration can be varied to suit the requirements of the recording system, between 120 g/l (1.2 lb/gal) to 3 g/l ($\frac{1}{33}$ lb/gal). A filter is fitted to prevent solid material from entering the injection system (Figure 13).
- 1.3 The brine shall be injected into the conduit through a piping system and injection valves which discharge the brine in a flat sheet at right angles to the conduit flow. These pop-valves shall be spring loaded with a back pressure of about 0.35 kp/cm² (5 lbf/in²) to provide positive closure and

¹⁾ Transactions, Am. Soc. Mech. Eng. (A.S.M.E.) Volume 45, 1923: Paper No. 1902, Pages 285 to 341 inclusive, by C. M. Allen and E. A. Taylor.

²⁾ "Field Checks of the Salt Velocity Method", Trans. A.S.M.E. Nov. 1940, Pages 663-676 inclusive by O. H. Dodkin.

³⁾ "Salt Velocity Measurements at Low Velocities in Pipes" by Leslie J. Hooper, Trans. A.S.M.E. 1940, Pages 651-661 inclusive.

⁴⁾ "Contribution à l'étude de la mesure des débits d'eau par la méthode Allen", by Martin Mason, Revue Générale de l'Hydraulique, Vol. V, 1939.

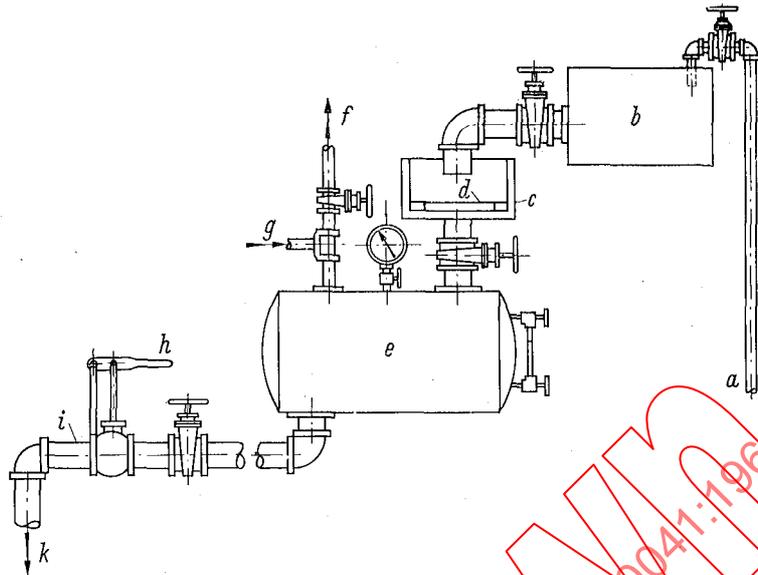


FIG. 13. — Disposition des réservoirs de sel et des tuyauteries, dans la méthode de l'écran salé.

- a) Arrivée d'eau
- b) Réservoir de mélange
- c) Boîte en bois
- d) Filtre
- e) Réservoir sous pression
- f) Mise à l'air libre
- g) Arrivée d'air
- h) Soupape à action rapide
- i) Manchette courte
- k) Vers la soupape d'injection

efficace et d'éviter les fuites, leur ouverture doit être réglable ainsi qu'on le voit sur la figure 14. La pression d'injection de la solution doit être supérieure d'au moins 2,5 kp/cm² (36 lbf/in²) à la pression régnant dans la conduite. Le tuyau d'injection doit être aussi court que possible et les poches d'air doivent être évitées.

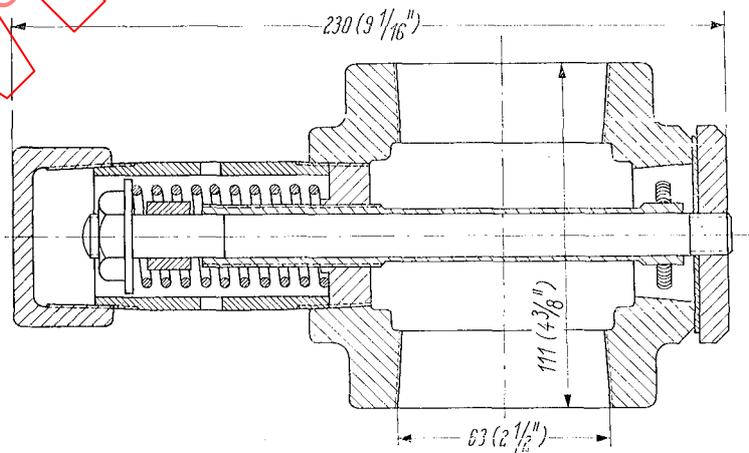


FIG. 14. — Coupe d'une soupape d'injection d'Allen.

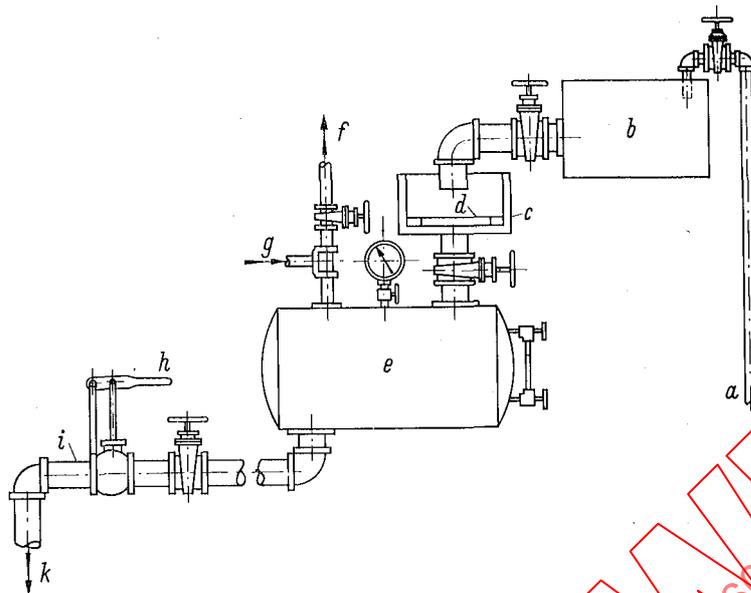


FIG. 13. — Arrangement of salt tank and piping for salt velocity method.

- a) Fresh water supply
- b) Mixing tank
- c) Wooden box
- d) Screen
- e) Pressure tank
- f) Blow-off
- g) Air supply
- h) Quick acting valve
- i) Short pipe
- k) To pop-valve

to avoid leakage, and their opening shall be adjustable as shown in Figure 14. The injection pressure of the brine shall exceed the conduit pressure by at least 2.5 kp/cm² (36 lbf/in²). The injection pipe must be as short as possible and air pockets shall be avoided.

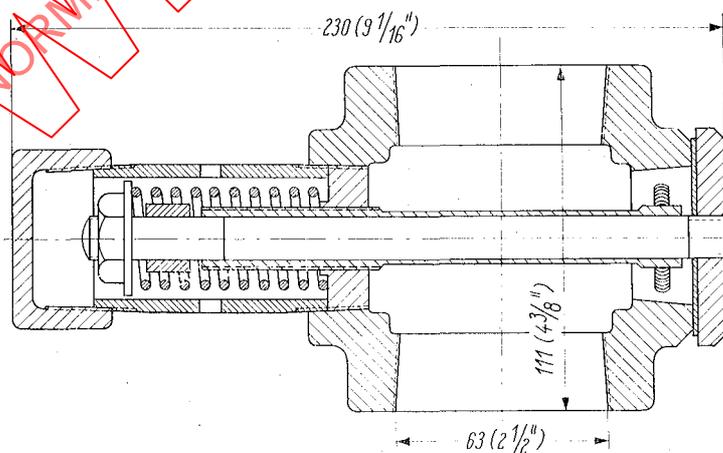


FIG. 14. — Cross section of Allen pop-valve.

1.4 Les électrodes doivent donner approximativement des conductivités égales pour des surfaces égales de la conduite. En conduite circulaire ou rectangulaire ceci peut être obtenu en divisant la section en aires égales et en plaçant les électrodes au centre de chacune d'elle.

Les électrodes peuvent être de deux types, parallèles ou courbes, et doivent intéresser la section droite totale de la conduite. Seules des électrodes parallèles constituées par des barres simples doivent être utilisées pour les sections rectangulaires. Elles doivent être placées au centre de chaque bande d'égale section au nombre de 9 ou 11 (un nombre impair est préférable).

Pour des conduites de section circulaire, des électrodes parallèles, constituées par des barres simples, et placées au centre de chaque bande d'égale section (un nombre impair est préférable) peuvent être utilisées. Il est également possible et préférable d'installer des électrodes convergentes qui constitueront effectivement deux traverses à angle droit de la conduite (figure 15). Dans ce cas l'espacement des barres sera modifié de manière à donner approximativement des conductivités égales pour des anneaux d'égale surface dans la conduite.

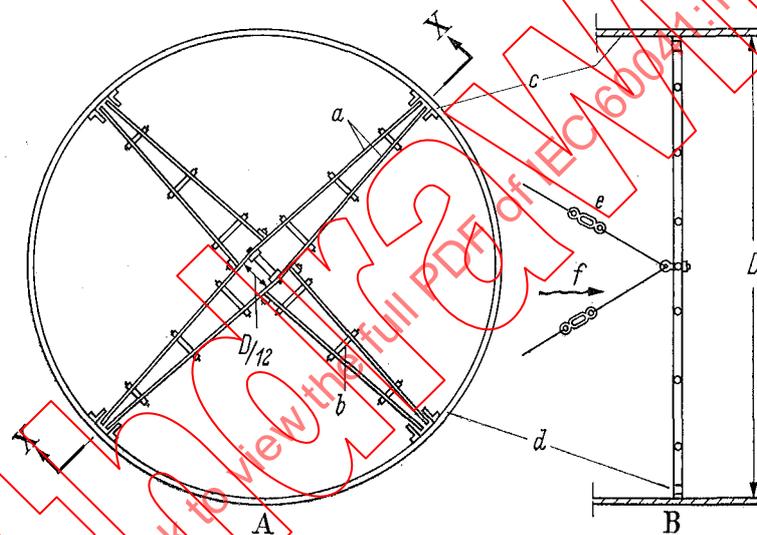


FIG. 15. — Disposition des électrodes.

A. Vue d'amont

- a) Electrodes
- b) Entretoises isolées
- c) Conduite forcée
- d) Supports isolés
- e) Haubans isolés avec tendeurs
- f) Direction de l'écoulement
- D) Diamètre de la conduite, à contrôler sur place

Note. — Espace du bout et distance entre électrodes = $D/100$

B. Section X — X

Au moins deux jeux d'électrodes convergentes doivent être utilisés pour chaque section de mesure, chaque jeu consistant en une paire de barres espacées de $1/12$ du diamètre de la conduite au centre de celle-ci. Cet espacement doit décroître linéairement du centre vers la paroi jusqu'à un minimum de 1 centième du diamètre de la conduite. Les électrodes doivent se terminer à une distance de la paroi au moins égale à cet espacement.

Les électrodes doivent être solides, capables de résister aux vibrations et munies de haubans à l'amont afin de les retenir si elles venaient à se détacher. Les barres d'électrodes doivent être soigneusement isolées entre elles et par rapport à la conduite par des matériaux tels que les

1.4 The electrodes must give approximately equal conductivity effects to equal areas of the pipe. In both circular and rectangular conduits this may be done by dividing the section into a number of equal areas and locating an electrode at the centre of each strip.

The electrode bars may be of two types parallel or “bowed” and shall be applied to the full cross-section of the conduit. Only parallel electrodes consisting of single bars shall be used for rectangular conduits. They shall be placed at the centres of each of 9 or 11 (an odd number is required) strips of equal area.

For circular conduits, parallel electrodes may be used consisting of single bars placed at the centre of each equal area strip (an odd number is required). It is also possible and preferable to install tapered electrodes which will in effect accomplish two traverses at right angles across the pipe (Figure 15). In this case the spacing of the bars is varied to give approximately equal conductivity effects to rings of equal area in the pipe cross-section.

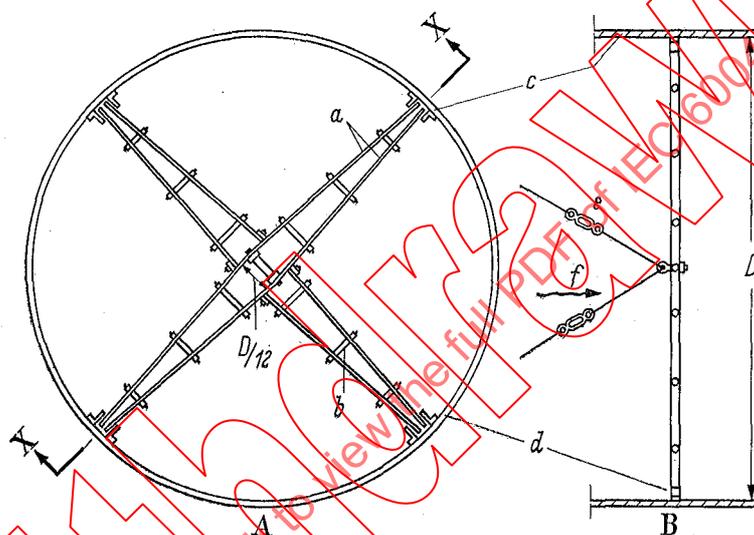


FIG. 15. — Electrode arrangement.

A. Looking downstream

- a) Electrode bars
- b) Insulated stiffeners
- c) Penstock wall
- d) Insulated connection to pipe wall
- e) Insulated head guys with turnbuckles
- f) Direction of flow
- D) Diameter, to be checked in field

Note. — End spacing and distance between electrode bars = $D/100$

B. Section X — X

Not less than two sets of tapered electrodes shall be used at any measuring section, each set consisting of a pair of bars spaced $\frac{1}{12}$ th of the conduit diameter apart, at the centre of the conduit. The spacing shall decrease linearly from the centre towards the outer wall to a minimum of one hundredth of the conduit diameter. Electrodes shall terminate at a distance from the conduit wall, not less than this spacing.

The electrodes must be strong, able to withstand vibration, and provided with upstream guys to hold the electrode if it becomes loose. The electrode bars must be carefully insulated from each other and the conduit by materials such as phenolic compounds which have sufficiently high

compounds phénoliques qui ont une résistance mécanique et électrique suffisamment élevée pour éviter toute rupture due aux vibrations. Toutes les surfaces ne devant pas jouer le rôle d'électrodes actives doivent être recouvertes de peinture isolante, y compris les arêtes et les faces extérieures des électrodes, les supports terminaux, les haubans et les parois de la conduite si elles sont conductrices jusqu'à 1 m de l'extrémité des électrodes.

- 1.5 Les connexions entre le circuit électrique et les électrodes doivent être aussi courtes que possible. Tous les conducteurs à l'intérieur de la conduite doivent être bien isolés et supportés rigidement, de préférence sous forme d'un câble électrique. Les barres d'électrodes doivent être connectées alternativement en parallèle à l'appareil enregistreur, qui peut être un ampèremètre ou un oscillographe ainsi qu'on le voit sur les figures 16 et 17. Dans les deux cas il est recommandé de garder les deux parties du circuit électrique isolées de la terre.

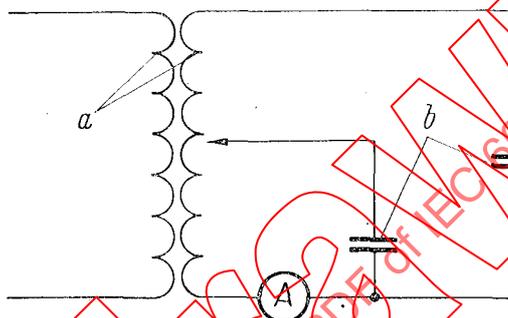


FIG. 16. — Principe du circuit avec un ampèremètre enregistreur.

- A) Ampèremètre enregistreur
- a) Transformateur
- b) Electrodes

Note. — L'enroulement secondaire à prise travaille isolé de la terre.

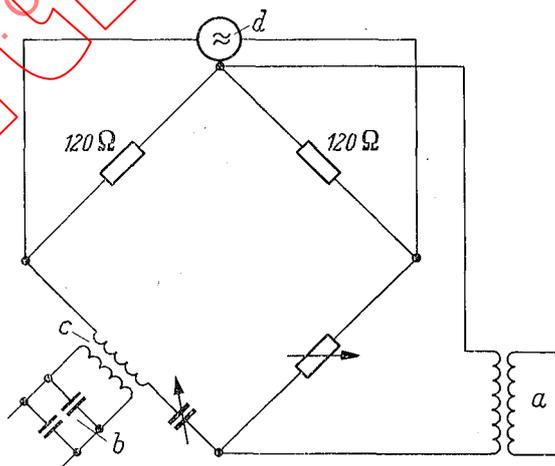


FIG. 17. — Principe du circuit avec un oscillographe enregistreur.

- a) Oscillateur de 2 500 Hz
- b) Electrodes en parallèle
- c) Transformateur de 120 ohms d'impédance au primaire, impédance secondaire variable de 50, 25 et 10 ohms
- d) Oscillographe

mechanical and electrical strength to prevent breakdown due to vibration. All surfaces not intended to be used as active electrodes shall be coated with insulating paint, including the edges and outside faces of the electrodes, the end supports, guys and the conduit wall, if conducting, within 1 m of the end of the electrodes.

1.5 The connections between the electrical circuit and the electrodes should be as short as possible. All leads inside the conduit must be well insulated and rigidly supported, preferably in electrical conduit. Alternate electrode bars shall be connected in parallel to the recording instrument, which can be an ammeter or an oscillograph as shown in Figures 16 and 17. In both cases it is desirable to keep both sides of the electrical circuit isolated from earth.

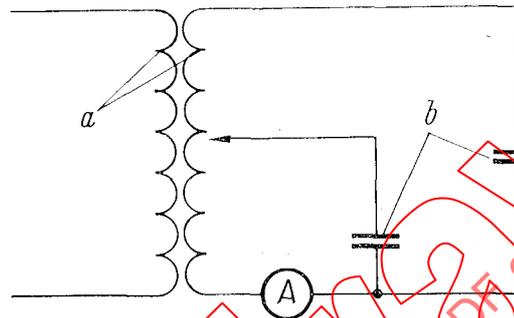


FIG. 16. — Typical recording ammeter circuit

- A) Recording ammeter
- a) Two-circuit transformer
- b) Electrodes

Note. — Tapped secondary winding which operates ungrounded.

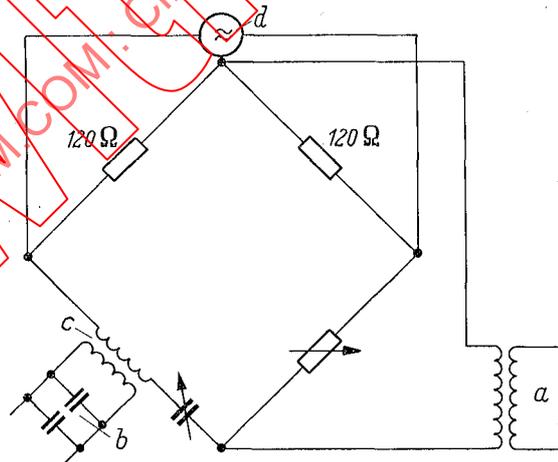


FIG. 17. — Typical oscillograph recording circuit.

- a) 2 500 Hz (c/s) oscillator
- b) Electrodes connected in parallel
- c) Matching transformer from 120 ohms impedance in primary to variable secondary 50, 25 and 10 ohms
- d) Oscillograph

La période naturelle non amortie d'un instrument enregistreur ne doit pas être plus grande que 1,5 s ou 1/5 du temps de passage selon la grandeur la plus petite. Des oscillographes à inscription directe ou à enregistrement photographique sont recommandés, car leur sensibilité permet l'utilisation d'une saumure de faible densité et parce qu'ils ont une période naturelle non amortie extrêmement petite.

Une base de temps précise doit être prévue sur l'enregistrement au moyen d'horloges électriques ou mécaniques sûres qui peuvent être étalonnées de manière continue pendant l'essai.

- 1.6 La section transversale intérieure de la conduite et la longueur entre les centres des sections munies d'électrodes doit être mesurée sur place avec une précision suffisante pour déterminer le volume de la section d'essai avec une précision de 0,2%. Les dessins de construction ne doivent être utilisés que comme un contrôle sur place.
- 1.7 Avant le remplissage de la conduite, le système d'injection sera purgé, réglé et essayé de manière à s'assurer que les valves d'injection s'ouvrent simultanément et se ferment rapidement. Les valves qui fuient doivent être réparées. On contrôlera la continuité et l'isolation des électrodes et des circuits électriques.
- 1.8 Après remplissage de la conduite, il est souhaitable de mesurer la résistance de chaque électrode entre barres et également entre chaque barre et la terre, de manière à s'assurer que les deux stations d'électrodes fonctionnent de manière similaire et que tout défaut sera corrigé. Pour un débit aisé à obtenir, des injections d'essai seront effectuées pour déterminer la concentration convenable de la saumure, la pression dans le réservoir, la durée d'ouverture des valves (celle-ci doit être environ de 1 s) la tension des électrodes et la sensibilité de l'instrument afin d'obtenir un enregistrement d'une hauteur convenable pour une évaluation précise. Une limite inférieure de la vitesse à l'intérieur de la conduite pour un essai convenable est donnée par :

$$v^2 = 0,2 gD \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_w} - 1 \right)$$

- où v = vitesse moyenne dans la conduite en m/s (ft/s);
 g = accélération de la pesanteur en m/s² (ft/s²);
 D = diamètre de la conduite en mètres (pieds);
 γ_b = poids spécifique de la saumure kp/dm³ (lbf/ft³);
 γ_w = poids spécifique de l'eau kp/dm³ (lbf/ft³).

- 1.9 Chaque essai consistera en au moins 5 injections individuelles de sel et la moyenne des 5 temps de passage de la solution, ou plus, sera utilisée dans le calcul du débit pour chaque essai.
- 1.10 Afin de satisfaire aux exigences de ce code, les conditions minimales suivantes doivent être satisfaites.
 - 1.10.1 La méthode de l'écran salé doit être seulement utilisée en écoulement turbulent.
 - 1.10.2 Le premier jeu d'électrodes doit être à au moins 4 diamètres (ou 4 fois la dimension maximale de la conduite) à partir de la section d'injection. Le second jeu d'électrodes doit être au moins à 4 diamètres (4 fois la dimension maximale de la conduite) à l'aval ou à 15 m (50 ft) selon la distance la plus longue.
 - 1.10.3 L'ensemble de la section d'essai comprenant toute la longueur depuis la section d'injection jusqu'aux électrodes les plus éloignées doit être de préférence de section uniforme ou décroissante. S'il existe de légers coudes à l'intérieur de la section de mesure proposée, leur longueur sur l'axe doit être ajoutée aux longueurs minimales de VIII.1.10.2, à la condition que de tels coudes soient entièrement compris entre les sections d'électrodes.

The undamped natural period of a recording chart instrument shall be no greater than 1.5 s, or one-fifth of the passage time, whichever be the shorter. Oscillographs, either direct-writing or photo-recording, are recommended since their sensitivity permits the use of brine of lower density and they have an extremely small undamped natural period.

An accurate time base shall be provided on the recording chart by means of reliable mechanical or electrical timers which can be continuously calibrated during the test.

- 1.6 The cross-sectional areas of the interior of the conduit and the length between the centre-lines of the electrode stations shall be measured in the field with sufficient precision to determine the volume of the test section within two tenths of one percent. Construction drawings shall be used only as a check upon field measurements.
- 1.7 Before filling the conduit, the injection apparatus should be flushed out, adjusted and tested to make sure that the pop-valves open simultaneously and close rapidly. Leaky pop-valves should be corrected. The electrodes and circuits should be tested for continuity and insulation.
- 1.8 After filling the conduit, it is desirable to measure the resistance to each electrode between bars and also from each bar to earth to ensure that both electrode stations are operating similarly and all faults corrected. At a convenient discharge, trial injections should be made to determine suitable brine concentration, tank pressure, duration of valve opening (this should be about 1 s), electrode voltage and instrument sensitivity to obtain chart records of suitable height for accurate evaluation. A lower limit of conduit velocity for satisfactory operation is given by;

$$v^2 = 0.2 gD \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_w} - 1 \right)$$

where v = mean pipe velocity in m/s (ft/s);
 g = acceleration due to gravity m/s² (ft/s²);
 D = pipe-diameter in metres (feet);
 γ_b = specific weight of brine in kp/dm³ (lbf/ft³);
 γ_w = specific weight of water in kp/dm³ (lbf/ft³).

- 1.9 Each test run shall consist of at least five individual salt injections and the average of the five or more times of passage of the brine shall be used in computing the flow rate for each test run.
- 1.10 In order to comply with the requirements of this code, the following minimum conditions shall be satisfied:
 - 1.10.1 The salt velocity method can only be used in turbulent flow.
 - 1.10.2 The first set of electrodes shall be at least 4 diameters (or 4 times the maximum conduit dimension) from the brine injection valves. The second set of electrodes shall be at least 4 diameters (or 4 times the maximum conduit dimension) downstream or 15 m (50 ft), whichever be the longer.
 - 1.10.3 The whole test section, comprising the entire length from the injection station to the further electrode shall preferably be of uniform or decreasing area. If there are slight bends within the proposed test section, their centreline lengths shall be added to the minimum lengths of VIII.1.10.2, provided such bends occur wholly between electrode stations.

1.10.4 Les valves d'injection doivent être placées de manière aussi uniforme que possible dans toute la section transversale comme le montre la figure 18. Il doit y avoir au moins une valve pour 2 m² (21,5 ft²) de section transversale à la station d'injection et pas moins de 4 valves pour les conduites circulaires.

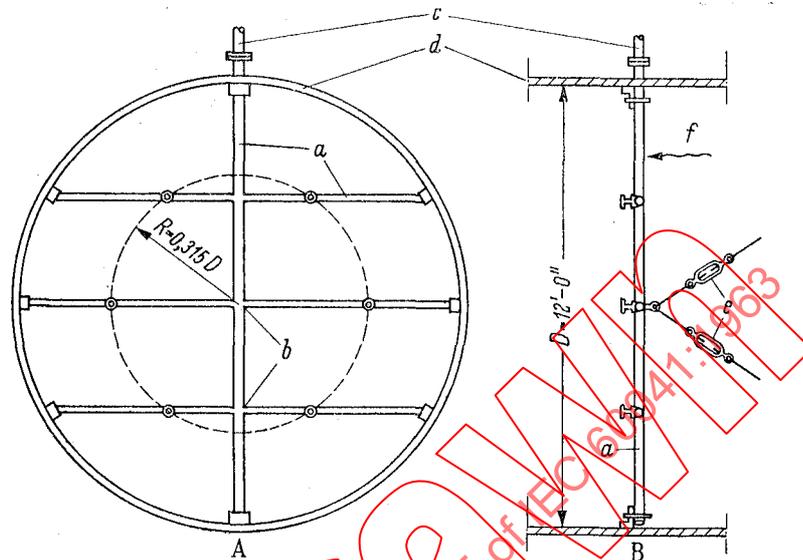


FIG. 18. — Disposition d'injection.

A. Vue d'aval

- a) Dispositif de tuyauteries d'injection
- b) Jointure soudée
- c) Tuyau d'alimentation
- d) Conduite forcée
- e) Haubans
- f) Direction de l'écoulement

B. Vue de profil

Dimensions valables pour une section de conduite forcée = 113 ft² ou 10,5 m².
 Nombre de soupapes d'injection = 6.
 Section par soupape d'injection = 18,9 ft.² ou 1,70 m².

Les valves d'injection doivent être situées au centre de subdivisions à peu près carrées et égales de la section transversale. Dans les conduites circulaires, nécessitant 4 valves, elles doivent être espacées également sur un cercle de diamètre égale à 0,63 fois le diamètre de la conduite.

1.10.5 Pour des instruments enregistreurs conventionnels, le temps de passage de la solution entre les électrodes ne doit pas être inférieur à 9 secondes pour la pleine charge. Avec les oscillographes, des temps plus courts peuvent être tolérés après mutuel agrément. En aucun cas les courbes correspondant aux électrodes amont et aval ne doivent se chevaucher.

1.10.6 L'horloge doit être étalonnée avant et pendant l'essai de sorte que son indication soit connue avec une erreur absolue inférieure à 0,05%.

1.10.7 Des écarts par rapport aux exigences ci-dessus peuvent être tolérés après mutuel agrément.

1.11 Le débit est égal au volume de la section d'essai entre les deux jeux d'électrodes divisé par le temps moyen de passage de la solution.

La courbe d'enregistrement du passage de la solution à chaque électrode doit être portée en coordonnées rectangulaires temps et courant (figure 19). Seule la portion de courbe au-dessus de la valeur moyenne du courant initial doit être utilisée. Le temps moyen de passage est la distance

1.10.4 Pop-valves should be located as uniformly as possible over the cross-section as shown in Figure 18. There shall be at least one pop-valve for each 2 m² (21.5 ft²) of cross-sectional area at the injection station and never less than 4 pop-valves for circular conduits.

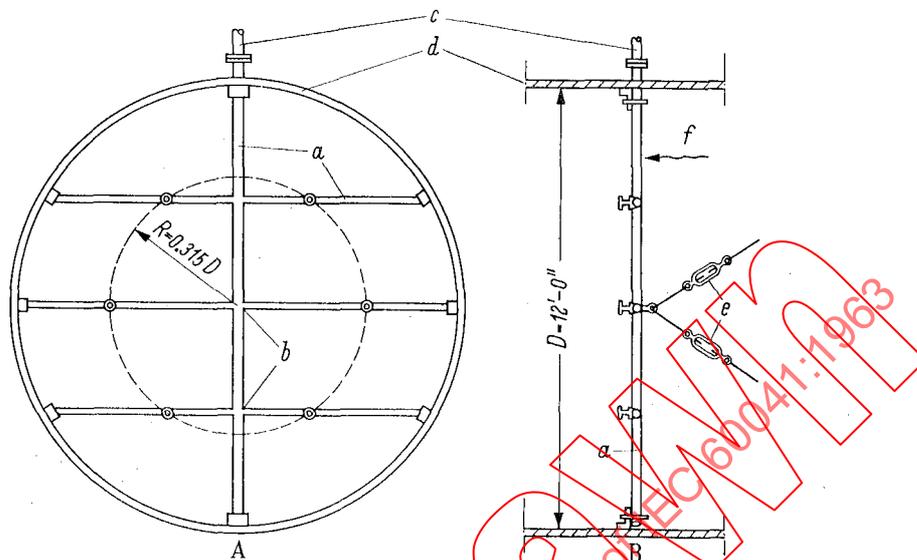


FIG. 18. — Injection arrangement.

A. Looking upstream

- a) Injection piping system
- b) Welded joints
- c) Supply pipe
- d) Penstock wall
- e) Head guys
- f) Direction of flow

B. Side View

Dimensions valid for an area of penstock = 113 ft² or 10.5 m².
 No. of pop-valves = 6.
 Area for each pop-valve = 18.9 ft² or 1.70 m².

Injection pop-valves are to be located at the centres of approximately square equal subdivisions of the cross-sectional area. In circular conduits requiring 4 pop-valves they shall be equally spaced on a circle 0.63 times the diameter of the conduit.

1.10.5 For conventional recording chart instruments, the time of passage of the brine between electrodes shall be no less than 9 seconds at full load. With oscillographs, shorter times are permissible by agreement. In any case the trace from the upstream and downstream electrodes must not overlap.

1.10.6 The timer shall be calibrated before and during the test so that its rate is known within an absolute error of 0.05%.

1.10.7 Deviations from the above requirements may be permissible by mutual agreement.

1.11 The discharge is equal to the volume of the test section between the two sets of electrodes divided by the average time of passage of the brine.

The recorded curve of brine passing each electrode shall be plotted on rectilinear co-ordinates of time and current (Figure 19). Only that portion of the curve above the steady value of the initial current shall be used. The average time of passage is the distance measured in seconds

mesurée en secondes entre les centres de gravité des deux surfaces obtenues pour chaque injection en utilisant la base de temps de l'enregistrement.

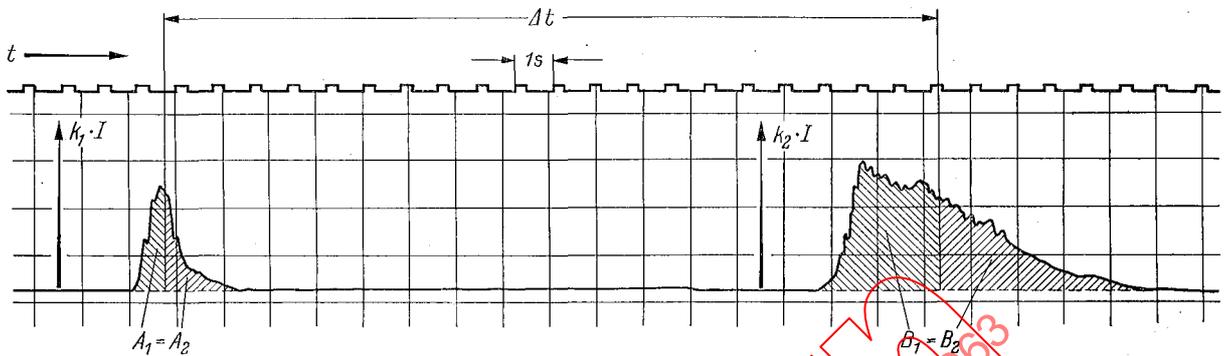


FIG. 19. — Courbe caractéristique d'un essai par la méthode de l'écran salé.

Δt — Temps de passage entre les centres de gravité
 k_1, k_2 — Echelle

Si les courbes n'ont pas été enregistrées dans des coordonnées rectangulaires uniformes, elles doivent être retracées avant de déterminer les positions des centres de gravité.

2. Méthode pression-temps ⁵⁾ ⁶⁾

2.1 Cette méthode de mesure du débit développée par N. R. Gibson est applicable lorsque l'eau circule dans une conduite fermée de section droite, uniforme ou variable (mais non divergente).

2.2 Elle est basée sur 2 principes fondamentaux; le premier est la deuxième loi du mouvement de Newton connue sous le nom de théorème des quantités de mouvements et théorème du moment cinétique, et le second, un corollaire du premier, qui donne la relation entre la variation de pression et la variation de vitesse d'une colonne d'eau exprimée en fonction des ondes de pression qui se propagent pendant la variation.

2.3 La méthode emploie des diagrammes pression-temps du type simple ou différentiel.

2.3.1 Les diagrammes simples sont ceux qui enregistrent les variations de pression entre une section de mesure de pression unique et l'entrée de la turbine ou la première surface libre. Ils sont affectés par toutes les variations de niveau dans l'amenée, cheminée d'équilibre et tous autres points à surface libre en plus des variations principales de la pression dues aux frottements et aux variations du moment cinétique.

2.3.2 Les diagrammes différentiels sont ceux qui enregistrent les variations de pression entre deux sections de mesure de pression sans aucun point intermédiaire à surface libre et sont affectés uniquement par le frottement et la variation de moment cinétique différentiels entre ces deux points. L'effet du frottement dans la conduite hors de la section d'essai différentielle ainsi que les variations de niveau à l'amenée ou à la cheminée d'équilibre existent à chacune des sections de mesure et sont ainsi éliminés.

⁵⁾ Trans. A.S.M.E., Vol. 45, 1923, Paper No. 1903, pages 343 à 376, par N. R. Gibson.

⁶⁾ « Experience in the Use of the Gibson Method of Water Measurement for Efficiency Tests of Hydraulic Turbines », par N. R. Gibson. Trans. A.S.M.E., 1959.

between the centres of area of the two curves obtained for each injection using the time base on the recording chart.

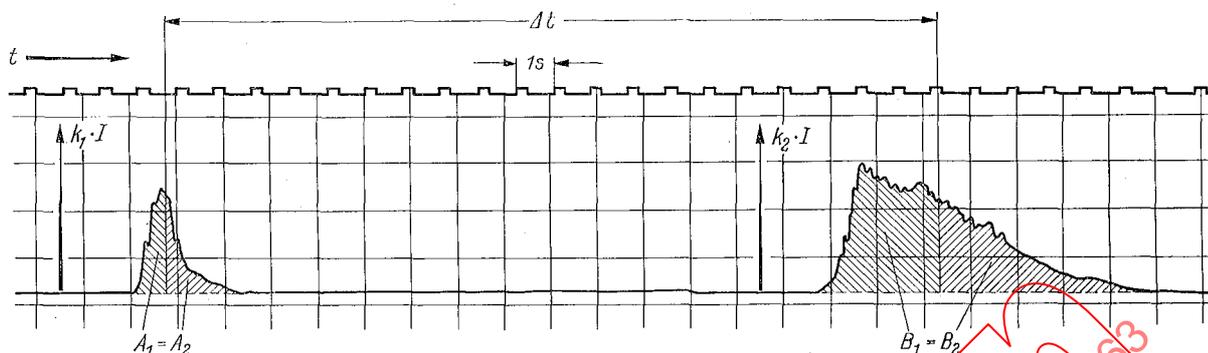


FIG. 19. — Typical salt velocity curve.

Δt — Passage time between centres of gravity
 k_1, k_2 — Scale

If the curves have not been recorded in uniform rectilinear co-ordinates, they must be replotted before evaluating the positions of the centres of area.

2. Pressure-time method ⁵⁾ ⁶⁾

- 2.1 This method for measuring the flow of water devised by N. R. Gibson is applicable where the water to be measured flows through a closed conduit of either uniform or varying (but not diverging) cross-section.
- 2.2 It is based upon two fundamental principles, the first is Newton's Second Law of Motion known as the Equation of Impulse and Momentum, and the second, a corollary of the first, which gives the relation between change of pressure and change of velocity of a column of water expressed in terms of the pressure waves propagated during the change.
- 2.3 The method makes use of pressure-time diagrams of either the simple or differential type.
 - 2.3.1 Simple diagrams are defined as those recording the pressure variations between a single pressure measurement section and the intake or first free surface section. They are affected by all variations of level in the intake, surge tanks and other free surface points in addition to the basic pressure variations due to friction and change in momentum.
 - 2.3.2 Differential diagrams are those recording the pressure variations between two pressure measurement sections with no intermediate free surface points of relief and are affected only by the differential friction and change in momentum between such two points. The effect of conduit friction outside of the differential test section, changes in intake or conduit friction outside of the differential test section and changes in intake or surge tank elevations are present at both pressure measurement sections and are thus eliminated.

⁵⁾ Trans. A.S.M.E., Volume 45, 1923, Paper No. 1903, Pages 343 to 376 inclusive, by Norman R. Gibson.

⁶⁾ "Experience in the Use of the Gibson Method of Water Measurement for Efficiency Tests of Hydraulic Turbines" by N. R. Gibson, Trans. A.S.M.E., 1959.

2.3.3 Dans le cadre de ce code, les diagrammes différentiels seront seulement utilisés.

2.4 Les conditions minimales pour l'emploi de cette méthode dans le cadre de ce code sont :

- a) Pour les conduites circulaires de diamètre uniforme, la longueur entre les deux sections de mesure de pression, pour les diagrammes différentiels, ne doit pas être inférieure à 9 m (30 ft) ou à deux fois la dimension maximale d'une section droite de la conduite, selon la valeur la plus grande; et le produit de L par v_a ne doit pas être inférieur à 18,6, expression dans laquelle v_a est la vitesse moyenne dans la section d'essai en m/s quand l'unité fonctionne à pleine charge et L la longueur en mètres de la conduite utilisée pour les essais. La valeur correspondante dans le système pied-livre-seconde est 200 lorsque v_a est la valeur moyenne en ft/s (pied/s) et L la longueur de la conduite en pieds (ft).
- b) Pour les conduites de section droite rectangulaire telles que sections d'entrée multiples ou entrée de bêche, la longueur de la conduite entre 2 sections de mesure de pression pour les diagrammes différentiels ne doit pas être inférieure à 18 m (60 ft) ou à deux fois la dimension maximale de la section droite de la conduite, selon la valeur la plus grande, et le produit de L par v_a ne doit pas être inférieur à 37,2, v_a étant la vitesse moyenne en m/s dans la section d'essai quand la conduite fonctionne à pleine charge et L la longueur en mètres de la conduite utilisée pour les essais. La valeur correspondante dans le système pied-livre-seconde est 400, v_a étant alors la vitesse moyenne en ft/s (pied/s) et L la longueur de la conduite en pieds (ft).

Dans les sections d'entrée multiples, des diagrammes pression-temps simultanés et indépendants seront effectués dans chacune des branches de l'aménée.

- 2.5 Il est recommandé que l'emplacement des prises de pression dans chaque section soit tel que l'on obtienne les diagrammes les plus sûrs et que les longueurs soient notablement plus grandes que les limites inférieures.
- 2.6 Les fuites à travers le distributeur de la turbine ou tout autre dispositif employé pour produire l'élévation de pression doivent être mesurées séparément avec le dispositif de fermeture en position fermée. De telles fuites dans les conditions d'essai ne doivent pas dépasser 5% du débit de pleine charge et doivent être déterminées avec une erreur maximale de 0,2% du débit de pleine charge.
- 2.7 Les aires des sections droites et la longueur de l'intérieur de la conduite doivent être mesurées sur place pour déterminer le facteur F de la conduite (voir VIII.2.15 et VIII.2.17) avec une précision suffisante pour atteindre 0,2%. Les plans de construction devront être utilisés seulement comme vérification lors des mesures sur place.
- 2.8 Deux prises de pression ou plus, de 9 mm (3/8 in) de diamètre minimal devront être installées dans chaque section de mesure. Elles devront être installées en des points diamétralement opposés dans un plan normal à l'axe de la section et devront être reliées à un collecteur commun convenablement installé dans chaque section. Des tuyaux partant des collecteurs de chacune des deux sections seront connectés respectivement d'un côté et de l'autre du tube en U du manomètre de l'appareil Gibson. Pour les conduites circulaires, les prises de pression devront être installées à 45° du diamètre horizontal de la section et devront être reliées à un collecteur commun convenablement placé pour chaque section. Pour les conduites rectangulaires, les prises de pression devront être placées dans les parois verticales.
- 2.9 Toutes les prises de pression doivent être reliées à une vanne individuelle de telle façon qu'elles puissent être lues séparément.

Les parois de la conduite doivent être unies et parallèles à l'écoulement au voisinage des trous sur une longueur d'au moins 450 mm (18 in) en amont et 150 mm (6 in) en aval. Les trous ne doivent pas avoir un diamètre inférieur à 9 mm (3/8 in) et leur bord doit être sans bavures ou irrégularités, de préférence arrondi avec un rayon de 1,5 mm (1/16 in) ou au moins avec un chanfrein équivalent.

2.3.3 Under this code, only differential diagrams are to be used.

2.4 The minimal conditions for the use of this method under this code are :

- a) For circular conduits of uniform diameter the length between the two pressure-measurement sections for differential diagrams shall be not less than 9 m (30 ft) nor less than twice the maximum dimension of the conduit cross-section, whichever be greater; and the product of L and v_a shall not be less than 18.6, where v_a is the mean velocity in the test section in m/s when the unit is carrying full load and L is the length of the conduit used for the tests in metres. The corresponding value in the foot-pound system is 200, where v_a is the mean velocity in ft/s and L is the length of the conduit in feet.
- b) For conduits of rectangular cross-section, such as multiple intake sections or scroll case intakes, the length of conduit between the two pressure measurement sections for differential diagrams shall be not less than 18 m (60 ft) nor less than twice the maximum dimension of the conduit cross-section, whichever be greater; and the product of L and v_a shall not be less than 37.2, where v_a is the mean velocity in the test section in m/s when the unit is carrying full load and L is the length of the conduit used for the tests, in metres. The corresponding value in the foot-pound system is 400, where v_a is the mean velocity in ft/s and L is the length of the conduit in feet.

In multiple intake sections, simultaneous independent pressure-time diagrams shall be taken in each section of the intake.

- 2.5 It is recommended that the location of pressure tapings in any test section be such that the most reliable diagrams may be obtained, and the lengths substantially greater than the minimum limit.
- 2.6 The leakage through the turbine guide vanes or other device used in producing the pressure rise must be measured separately with the closing device in the closed position. Such leakage under test conditions shall not be greater than 5% of full load discharge and shall be determined within an error of 0.2% of full load discharge.
- 2.7 The cross-sectional areas and length of the interior of the conduit shall be measured in the field with sufficient precision to determine the pipe factor F (see VIII.2.15 and VIII.2.17) within 0.2%. Construction drawings shall be used only as a check on field measurements.
- 2.8 Two or more pressure tapings 9 mm (3/8 in) minimum diameter shall be installed at each measuring section. They shall be installed in positions diametrically opposed in a plane normal to the axis of the section, and shall be connected to a common header suitably located for each section. Pipes leading from the headers of the two sections are to be connected one to each side of the Gibson apparatus U-tube manometer. For circular conduits, the pressure tapings should be located at 45° to the horizontal centreline of the section and shall be connected to a common header suitably located for each section. For rectangular conduits, the pressure-tappings should be located in the vertical walls.
- 2.9 All pressure tapings shall be so connected with individual valves that they may be read separately.

The wall of the conduit shall be smooth and parallel with the flow in the vicinity of the orifices for a distance of at least 450 mm (18 in) upstream and 150 mm (6 in) downstream. The bores of the pressure tapings shall be not less than 9 mm (3/8 in) in diameter, and their edge shall be free from burrs or irregularities and shall preferably be rounded to a radius of 1.5 mm (1/16 in) or at least an equivalent chamfer.

Les prises de pression doivent être arasées à la paroi de la conduite; leurs trous doivent être perpendiculaires à la paroi et d'un diamètre constant sur une profondeur d'au moins 2 fois le diamètre.

- 2.10 Toutes les liaisons avec les instruments de mesure doivent être étanches et doivent être purgées et vérifiées avant et après l'essai. Les lectures des piézomètres doivent être vérifiées avant et après l'essai par comparaison avec les niveaux d'eau quand la turbine est arrêtée et la conduite dans des conditions statiques. Si, pendant l'essai, l'une des prises de pression donne des résultats visiblement erronés, pour une raison locale ou autre, indiquant une charge totale différente de la charge initiale disponible correspondant à la cote du niveau de l'eau diminué de la perte de charge dans la conduite, la cause d'erreur doit être trouvée et supprimée ou la prise de pression doit être éliminée.

Les mesures de la chute sur la turbine sont décrites dans le chapitre IX.

- 2.11 Pour assurer la précision de l'enregistrement de pression du diagramme Gibson, les conditions liées à la conduite, comprenant la distribution de vitesse, la longueur de la partie rectiligne de la conduite et les conditions liées aux orifices de prises de pression, doivent être telles qu'aucune lecture effectuée à une prise de pression quelconque ne varie de plus de 20% de la hauteur dynamique par rapport à la moyenne de toutes les prises dans la section correspondante. La moyenne des lectures d'une paire quelconque de prises opposées ne doit pas varier par rapport à la moyenne d'une autre paire de prises de plus de 10% de la hauteur dynamique.
- 2.12 Le débit qui doit être mesuré dans la conduite sera fixé en bloquant le distributeur ou l'ouverture de l'injecteur de la turbine dans la position désirée.

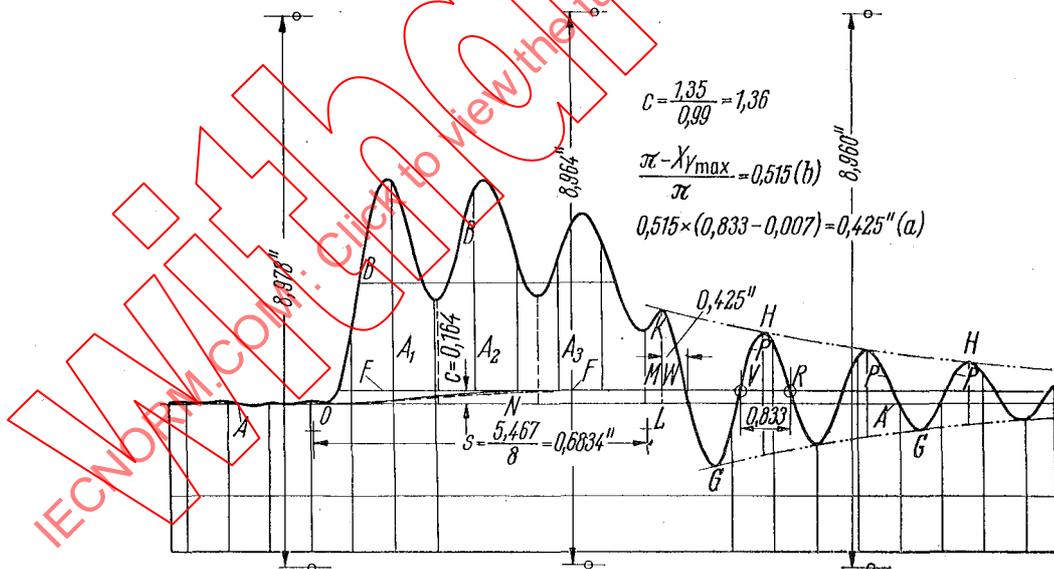


FIG. 20. — Exemple d'un diagramme pression-temps.

- a) Valeur à l'extrémité du diagramme
 b) Taux d'harmonique (voir figure 22)
 c) Rapport entre les ondulations

- 2.13 Un diagramme pression-temps (figure 20) sera alors obtenu en fermant graduellement le distributeur ou l'injecteur d'un mouvement continu et en enregistrant graphiquement la variation résultante de pression sur le papier d'un dispositif enregistreur tel l'appareil de Gibson (figure 21)

The pressure tappings shall be flush with the surface of the conduit wall; their bore shall be normal to the wall, and uniform for a depth of at least twice the bore.

- 2.10 All gauge connections shall be tight against leakage, and shall be flushed out and checked before and after the test. Pressure readings shall be checked before and after the test by comparison with headwater elevation when the turbine is shut down and static conditions exist in the conduit. If, during the test, any pressure tapping be obviously in error due to some local cause or other condition showing a total head differing from initial available head corresponding to the elevation of the surface of headwater less the conduit head loss, the source of discrepancy shall be found and removed, or the tapping shall be eliminated.

Measurements of the head acting upon the turbine are described in Chapter IX.

- 2.11 To ensure accuracy of the pressure recording of the Gibson diagrams, conduit conditions, including velocity distribution, length of straight run of conduit, and conditions of tapping orifices shall be such that no pressure tapping shall vary in its readings by more than 20% of the velocity head from the average of all tappings in the cross-section. The average of readings of any pair of opposite tappings shall not vary from the average of any other pair by more than 10% of the velocity head.
- 2.12 The rate of flow which is to be measured in the conduit shall be fixed by locking the guide vane or nozzle opening of the turbine in the required position.

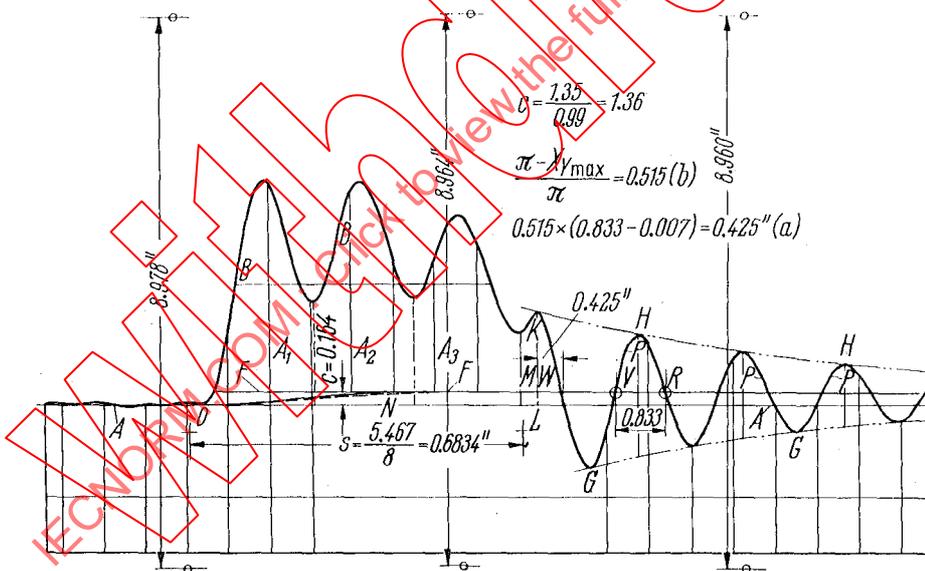


FIG. 20. — Typical pressure-time diagram.

- a) Diagram end point value
- b) Harmonic ratio (see Fig. 22)
- c) Ratio of wave heights

- 2.13 A pressure-time diagram (Figure 20) shall then be obtained by gradually closing the guide vane or nozzle in one continuous movement and graphically recording the resultant change in pressure on the chart of a recording device such as the Gibson apparatus (Figure 21) which photographs

qui photographie, sur un film sensible se déplaçant d'un mouvement uniforme, le déplacement causé par la variation de pression, du ménisque supérieur d'une colonne de mercure dans un manomètre en U.

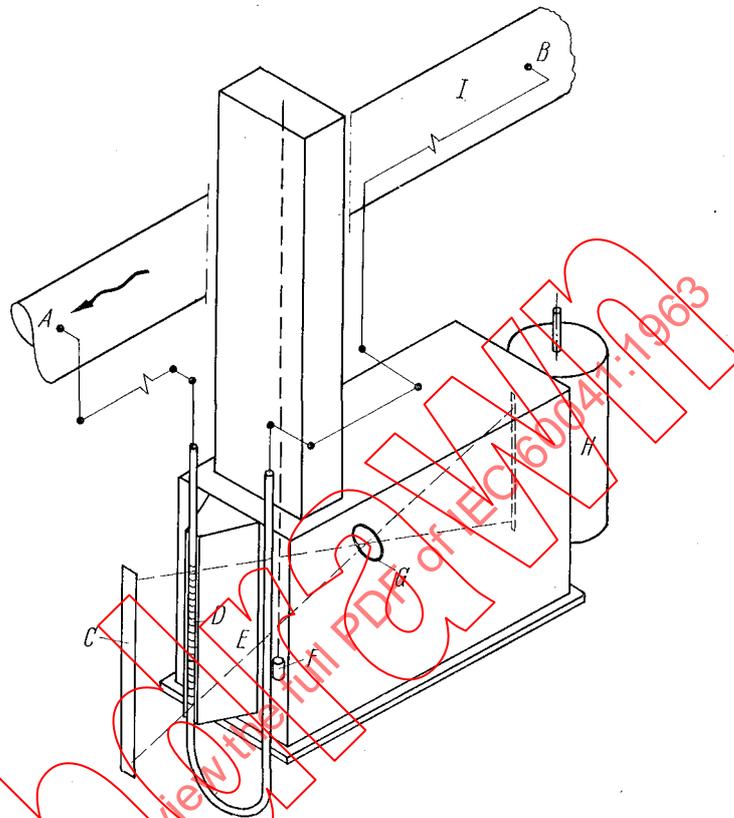


FIG. 21. — Disposition de l'appareil de Gibson.

- A) Prise de pression aval
- B) Prise de pression amont
- C) Lumière
- D) Branche en verre du manomètre
- E) Branche en acier inoxydable du manomètre
- F) Pendule
- G) Objectif
- H) Film sensible sur un enrouleur
- I) Conduite forcée

Le procédé pour délimiter et mesurer le diagramme est le suivant :

Une ligne horizontale AA, dite ligne de fonctionnement, est tracée à partir du point représentant sur le diagramme le niveau du ménisque de mercure dans le tube de verre de l'appareil, dans les conditions de fonctionnement avant que les vannes de la turbine ne commencent à fermer. Si la position permanente du mercure n'est pas stable, la ligne de fonctionnement sera la ligne moyenne des maxima et des minima.

Une ligne horizontale F, dite ligne statique, est tracée sur le diagramme à partir du point représentant le niveau du ménisque de mercure dans le tube en verre de l'appareil dans des conditions statiques après que les vannes de la turbine aient été fermées. Habituellement, cette ligne coïncide avec la ligne médiane des oscillations suivant la manœuvre PP. La ligne médiane est obtenue en prenant l'axe de symétrie des courbes enveloppes HH et GG.

on a sensitized film moving at a uniform rate, the movement caused by the pressure change of the top surface of a column of mercury in a U-tube manometer.

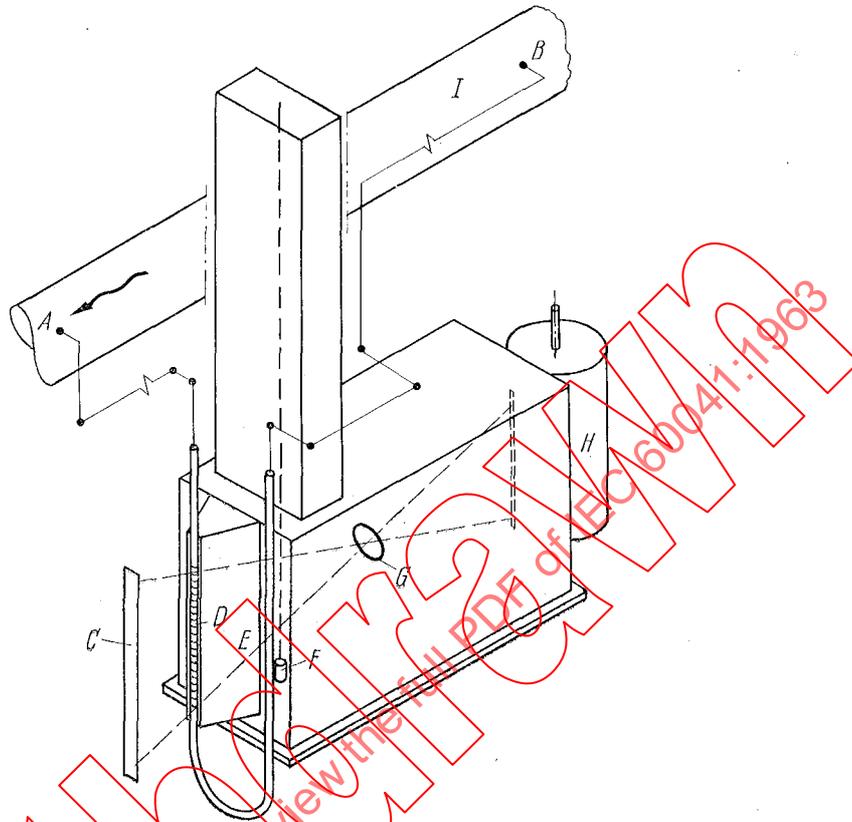


FIG. 21. — Arrangement of Gibson apparatus.

- A) Downstream pressure measuring section
- B) Upstream pressure measuring section
- C) Light source
- D) Glass tube leg of manometer
- E) Stainless steel leg of manometer
- F) Seconds pendulum
- G) Photographic lens
- H) Photographic film on revolving drum
- I) Conduit

Procedure for delineating and measuring the diagram is as follows :

A horizontal line AA, called the running line, is drawn coincident with the position on the diagram representing the level of the surface of the mercury in the glass tube of the apparatus under running conditions before the turbine guide vanes begin to close. If the running position of the mercury is wavy, the running line should be taken as the mean position of its peaks and valleys.

A horizontal line F, called the static line, is drawn coincident with the position on the diagram representing the level of the mercury in the glass tube of the apparatus under static conditions after the turbine guide vanes have been closed. Usually this line is coincident with the median line of the afterwaves shown at PP. The median line is obtained by bisecting the envelope curves shown at HH and GG.

La ligne verticale KM, indiquant la fin du diagramme, est déterminée de la façon suivante :

- Mesurer la distance horizontale le long de la ligne statique à partir de son intersection en V avec l'extrémité ascendante de la première oscillation suivant la manœuvre jusqu'à son intersection en R avec l'extrémité descendante.
- Soustraire la correction de fente de cette mesure.
- Mesurer les hauteurs au-dessus de la ligne statique des maxima de 2 oscillations adjacentes et calculer le quotient c_r des hauteurs des oscillations (voir figure 20).
- Déterminer la quantité $\frac{\pi - X_y}{\pi}$ de la figure 22 et multiplier cette quantité par la dimension obtenue en b).

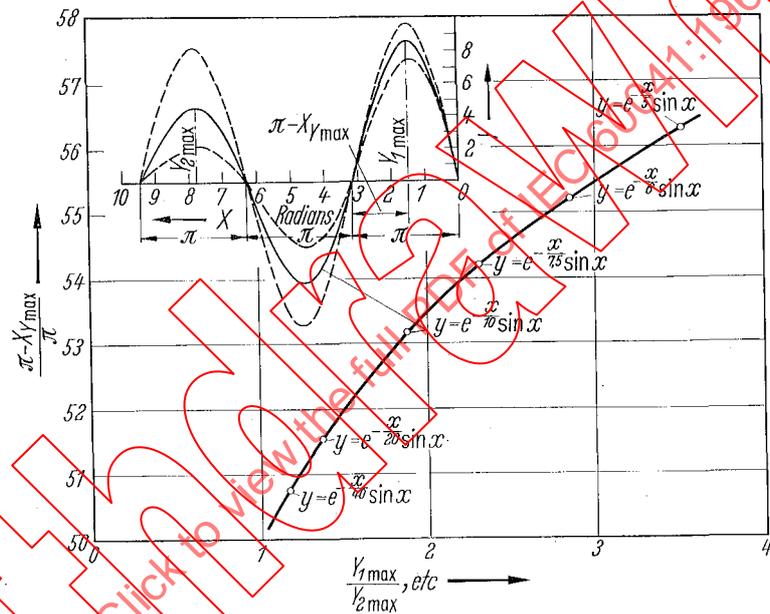


Fig. 22. — Etude des ondes harmoniques amorties.

Courbe montrant la distance horizontale entre le point d'inflexion et la verticale passant par le sommet de l'onde
 $= (\pi - X_{y_{max}})$

Les valeurs obtenues en a, b, c sont indiquées figure 20. La distance ainsi déterminée est retranchée le long de la ligne statique à partir du point W où cette ligne statique coupe l'extrémité descendante du diagramme suivant la fermeture jusqu'en un point M. Tracer une ligne verticale MK. Cette ligne détermine l'extrémité du diagramme.

- 2.14 La récupération des pertes de charge et de la hauteur dynamique sur le diagramme sera déterminée en divisant le diagramme en plusieurs parties et, par une méthode pas à pas, en déterminant les pertes de charge et les hauteurs dynamiques détruites pendant la période de fermeture. A chaque instant pendant la période de fermeture, le rapport d'une portion quelconque de la surface nette, du début du diagramme à la surface nette totale, est égal au quotient de la vitesse détruite à cet instant par la vitesse initiale,

The vertical line KM marking the end of the diagram is located as follows :

- a) Measure the horizontal distance along the static line from its intersection at V with the rising edge of the first afterwave to its intersection at R with falling edge.
- b) Subtract the slot correction from this measurement.
- c) Measure the heights above the static line of the peaks of two adjacent waves and compute the ratio c_r of wave heights as shown on Figure 20.
- d) Determine the quantity $\frac{\pi - x_y}{\pi}$ from Figure 22 and multiply this quantity by the dimension obtained in item b).

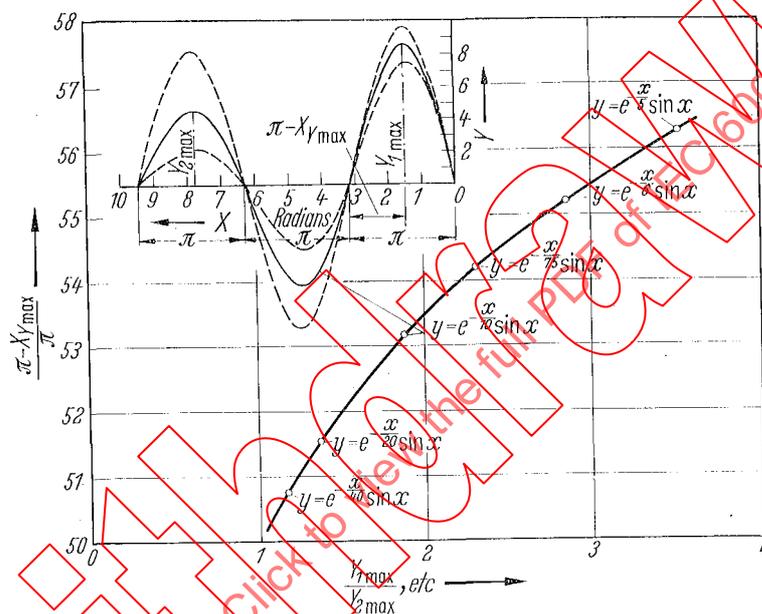


FIG. 22. — Study of damped harmonic wave.

Curve showing horizontal distance from point of inflection to vertical line through peak of wave
 $(= \pi - X_{y_{max}})$

The numerical values for items *a*, *b*, *c*, are shown on Figure 20. The distance so determined is laid off along the static line from the point W where it intersects the falling edge of the diagram following closure to a point M. Draw a vertical line MK. This line determines the end of the diagram.

2.14 The recovery of friction and velocity heads on the diagram shall be evaluated by dividing the diagram into several parts and by trial and error determining the friction and velocity heads destroyed throughout the period of closure. At any time during the closing period, the ratio of any part of the net area, from the beginning of the diagram to the whole net area, is equal to the ratio of the velocity destroyed up to that time to the initial velocity.

Le diagramme est divisé en petites surfaces élémentaires A_1, A_2, A_3 , etc. Une ligne d'essai ONM est tracée ainsi que l'indique le trait pointillé sur la figure 20. Chacune des petites surfaces au-dessus de la ligne ONM est alors planimétrée. De chacune de ces surfaces, on déduit la correction de fente.

La figure 23 est un tableau qui a été dressé de telle sorte que les démarches successives faites en mesurant un diagramme puissent être effectuées de manière systématique.

a) Les données introduites en tête de la feuille pour l'identification et les références pratiques s'expliquent d'elles-mêmes.

b) Les 5 premières colonnes de la table indiquent respectivement :

Colonne 1. — Les lettres désignant les surfaces élémentaires A_1, A_2, A_3 etc.

Colonne 2. — La hauteur verticale de chacune des surfaces élémentaires qui doit être multipliée par la largeur effective de la fente pour obtenir la correction de fente.

Note. — On pourra construire une échelle qui permettra de lire la surface de la correction de fente directement, auquel cas les mots « hauteur pour » en haut de la colonne pourront être éliminés.

Colonne 3. — Les lectures du planimètre pour chacune des surfaces élémentaires.

Note. — On obtient des mesures satisfaisantes de surface en utilisant un planimètre de précision, connu pour avoir une précision de 1/4 000. Cet instrument peut être réglé pour l'échelle 1/2. Deux déterminations séparées au moins de chaque surface devront alors être faites pour obtenir la précision nécessaire et réduire au minimum les erreurs personnelles d'observation; la somme des différences entre deux lectures distinctes après le premier réglage donne à la bonne échelle la moyenne des deux déterminations de surface.

Colonne 4. — La différence entre les lectures de planimètre.

Colonne 5. — La surface moyenne de chaque segment de surface du diagramme et la correction de fente qui doit être retirée pour donner la surface nette.

c) Les totaux partiels de la colonne 6 sont obtenus en ajoutant ensemble successivement les surfaces nettes de la colonne 5. Quand la dernière des surfaces segmentaires a été ajoutée, le total obtenu est la surface nette du diagramme au-dessus de la ligne de récupération supposée. Il n'est pas nécessaire pour le premier essai de vérifier la somme des petites surfaces en mesurant la surface totale, avant d'effectuer les calculs mais, après que la ligne finale de récupération a été trouvée, la surface totale du diagramme sera mesurée au planimètre.

2.15 La partie de la surface brute du diagramme produite par la récupération des pertes de charge et de la hauteur dynamique devra donc être éliminée en considérant que la valeur résiduelle des pertes de charge et de la hauteur dynamique est égale à

$$c \cdot (1 - r)^2$$

où

$$r = \frac{a}{A_T + A_L}$$

c = somme des pertes de charge et hauteurs dynamiques enregistrées sur le diagramme pression-temps

et

a = surface nette du diagramme mesurée jusqu'à une surface élémentaire donnée x
($a = A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_x$)

A_T = surface nette totale du diagramme pour toutes les surfaces élémentaires x

$$A_T = \sum (A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_x)$$

The diagram is divided into small segmental areas A_1, A_2, A_3 etc. A trial recovery line ONM is drawn as shown by the dotted line on Figure 20. Each of the small areas above ONM is then measured by planimeter. From each of these areas the slot correction is deducted.

Figure 23 is a tabular form which has been designed so that the successive steps to be taken in measuring a diagram may be taken in a systematic manner.

a) The data entered at the top of the form for identification and convenient reference are self-explanatory.

b) The first five columns of the table show respectively:

Column 1. The designating letters of the segmental areas A_1, A_2, A_3 etc.

Column 2. The vertical height of each segmental area to be multiplied by the effective slot width to obtain the slot correction.

Note. — A scale can be constructed which will read the area of slot correction directly, in which case the words “height for” at the head of the column may be eliminated.

Column 3. The planimeter readings for each segmental area.

Note. — Satisfactory measurements of area are obtained by using a precision type planimeter rated to have an accuracy of 1:4000. This instrument may be set to half scale. Since at least two separate determinations of each area should be made to ensure the necessary precision and minimize personal errors of observation, the sum of differences between two separate readings after the first setting gives to full scale the mean of the two determinations of area.

Column 4. The difference between planimeter readings.

Column 5. The mean area of each small segment of the diagram and the slot correction which is subtracted to give the net area.

c) The summation figures in Column 6 are obtained by adding together successively the net areas in Column 5. When the last of the segmental areas has been added in, the total will be the net area of the diagram above the assumed recovery line. It is not necessary for the first trial to check the sum of the small areas by measuring the total area, before proceeding with the computations but, after the final recovery line has been located, the final total area of the diagram is then measured by planimeter.

2.15 That part of the gross area of the diagram produced by the recovery of friction and velocity head shall therefore be eliminated by considering that the value of the friction and velocity heads remaining is equal to

$$c \cdot (1 - r)^2$$

where

$$r = \frac{a}{A_T + A_L}$$

c = sum of the friction and velocity heads recorded on the pressure-time diagram

and

a = the net area of the diagram measured up to a given segmental area x

$$(a = A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_x)$$

A_T = the total net area of the diagram for all the x segmental areas

$$A_T = \sum (A_1 + A_2 + A_3 \dots + A_x)$$

Essai de rendement par la méthode Gibson

Usine Groupe N° Date
 Propriétaire Essai N°
 Appareil N° Tube N° Colonne N° $K = \dots\dots\dots$
 Facteur de conduite $F = \dots\dots\dots$ Fuite $q = \dots\dots\dots$ m³/s (ft³/s) $A_L = \frac{q \cdot F \cdot S}{K} = \dots\dots\dots$ m² (in²)
 Echelles du diagramme pression temps :

Verticale 1 mm (in) = m (ft)
 Horizontale s = m (in)
 $h_v + h_f = c = \dots\dots\dots$ m (in)
 largeur pour la correction de fente = mm (in)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parties		Mesures au planimètre				Détermination de la ligne de récupération		
N°	Hauteur pour correction de fente	Lectures	Différences	Surf. part. Corr. fente Surface nette	Totaux col. 5 A	r	$(1-r)$	$(1-r)^2 \times C$
A_1								
A_2								
A_3								
A_4								
A_5								
A_6								
A_7								
						$= A_T$ $= A_L$ $= A_T + A_L$		
Surface totale						x Corr. de papier — = m ² (in ²) = A		

$$Q = \frac{K \cdot A}{F \cdot S} = \dots\dots\dots \text{ m}^3/\text{s (ft}^3/\text{s)}$$

fuite $q = \dots\dots\dots \text{ m}^3/\text{s (ft}^3/\text{s)}$

total $Q = \dots\dots\dots \text{ m}^3/\text{s (ft}^3/\text{s)}$

FIG. 23. — Exemple d'une feuille de résultats et de calcul pour un essai de rendement par la méthode pression-temps.

Efficiency Test by Gibson Method

Plant Unit No. Date
 Proprietor Run No.
 Apparatus No. Tube No. Riser No. $K = \frac{q.F.S}{A_L} = \dots\dots\dots \text{m}^2 (\text{in}^2)$
 Pipe Factor $F = \dots\dots\dots$ Leakage $q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s} (\text{ft}^3/\text{s})$

Pressure-Time-Diagram Scales:

Vert. 1 mm (in) = m (ft)
 Horiz. s = m (in)
 $h_v + h_f = c = \dots\dots\dots \text{m} (\text{in})$
 Width for Slot Correction = mm (in)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Segment		Planimeter Measurements				Computation of Recovery Line		
No.	Height for Slot Corr.	Readings	Difference	Seg. Area Slot Corr.	Summation of Col. 5	r	$(1-r)$	$(1-r)^2 \times C$
				Net Area	A			
A_1								
A_2								
A_3								
A_4								
A_5								
A_6								
A_7						$= A_T$		
						$= A_L$		
						$= A_T + A_L$		
Total Area						x Corr. for Print ——— = $\text{m}^2 (\text{in}^2) = A$		

$$Q = \frac{K.A}{F.S} = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s} (\text{ft}^3/\text{s})$$

$$\text{Leakage } q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s} (\text{ft}^3/\text{s})$$

$$\text{Total } Q = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s} (\text{ft}^3/\text{s})$$

FIG. 23. — Sample of a data and computation sheet of an efficiency test by the pressure-time method.

A_L = surface du diagramme correspondant aux fuites

$$A_L = \frac{q \cdot F \cdot S}{k}$$

avec q = débit de fuite à travers l'organe de contrôle de l'entrée de la turbine utilisé pour créer l'élévation de pression en m^3/s (ft^3/s).

F = constante de la conduite dite « facteur de conduite ». Si la conduite est de section droite uniforme $F = \frac{L}{A}$.

L = distance en mètres entre les deux sections de mesure de pression pour des diagrammes différentiels, mesurée le long de l'axe de la section d'essai en m (ft).

A = surface de la section droite de la conduite en m^2 (ft^2).

k = constante d'étalonnage de l'appareil enregistreur = g/y .

y = hauteur verticale en cm (in) sur le diagramme correspondant à 1 m (1 ft) de chute de pression dans la conduite. Cette constante d'étalonnage est invariable pour une installation donnée de l'appareillage.

S = constante de temps du diagramme. C'est la longueur horizontale en cm (in) correspondant à 1 seconde de temps.

Quand la valeur de c est faible, comme c'est le cas lorsque les sections de mesure inférieure et supérieure ont la même section droite, donc que les valeurs de h_v sont les mêmes aux deux sections, la ligne de récupération peut fréquemment être tracée avec une précision suffisante à vue d'œil et le procédé de division de la surface du diagramme en surfaces élémentaires peut être omis ou du moins limité à une vérification pour 1 ou 2 points.

2.16 Le débit peut être calculé par l'équation

$$Q = \frac{k \cdot A_d}{S \cdot F} + q$$

où Q = débit en m^3/s (ft^3/s).

g = accélération de la pesanteur en m/s^2 (ft/s^2) tenant compte de la latitude et de la hauteur au-dessus du niveau de la mer au lieu considéré.

A_d = surface nette finale du diagramme après établissement de la ligne de récupération, mesurée par planimétrie et corrigée de la largeur de fente et de la contraction ou de la dilatation dans l'impression du diagramme.

La surface du diagramme pression-temps est seulement une mesure du débit d'eau effectivement coupé. Si un certain débit continue à s'écouler dans la conduite après fermeture des vannes de la turbine, il doit être mesuré séparément et introduit dans le calcul pour obtenir le débit total au moment où les vannes ont commencé à fermer. La fuite sera mesurée dans les mêmes conditions de fermeture que pendant la période d'essai.

Cependant, quand le débit de fuite est relativement faible, aucune erreur appréciable n'est introduite dans le calcul du débit à partir des diagrammes en supposant que la vitesse dans la conduite correspondant à cette fuite est nulle. Le débit de fuite est simplement ajouté au débit calculé à partir du diagramme.

2.17 Si la conduite n'est pas de section droite uniforme, le facteur F est l'intégration des longueurs élémentaires rapportées à la section :

$$F = \int \frac{dl}{A}$$

où l = distance mesurée le long de la conduite en mètres (feet).

A_L = the area of the diagram corresponding to leakage flow

$$A_L = \frac{q \cdot F \cdot S}{k}$$

where q = leakage flow past the turbine inlet control device used to create the pressure rise in m^3/s (ft^3/s).

F = constant of conduit called the pipe factor. If the pipe is of uniform cross-section

$$F = \frac{L}{A}$$

L = distance in metres (feet) between the two pressure measuring sections for differential diagrams, measured along the centreline of the test section.

A = cross-sectional area of the conduit in square metres (ft^2).

k = calibration constant of the recording apparatus = g/y

y = vertical height in centimetres (inches) on the diagram corresponding to 1 m (1 ft) of pressure head change in the conduit. This calibration constant is constant for any particular set of apparatus.

S = time-constant of diagram. It is the horizontal length in centimetres (inches) corresponding to one second of time.

When the value of c is small, as it is when the upper and lower piezometer section have the same cross-sectional area and consequently the value of h_v is the same at both sections, the recovery line can, frequently, be located with sufficient precision by eye and the process of subdividing the area of the diagram into segmental parts can be omitted or at least limited to a check at one or two points.

2.16 The rate of flow shall be computed by the equation

$$Q = \frac{k \cdot A_d}{S \cdot F} + q$$

where Q = discharge in m^3/s (ft^3/s).

g = acceleration of gravity in m/s^2 (ft/s^2) adjusted for latitude and elevation above sea level for the power station.

A_d = final net area of the diagram after the recovery line has been established, measured by planimeter and corrected for width of slot and shrinkage or stretching of the print of the diagram.

The area of the pressure-time diagram is a measure of only that quantity of water actually shut off. If any quantity remains flowing in the conduit after closure of the turbine guide vanes it must be measured separately and the amount of it included to obtain the total discharge at the moment the guide vanes began to close. The leakage shall be measured under the same conditions of closure attained during the test period.

When the leakage quantity is thus relatively small, no appreciable error is introduced in the computation of discharge from the diagrams by assuring that the leakage velocity in the conduit is zero. The leakage quantity is simply added to the discharge computed from the diagram.

2.17 If the conduit be of non-uniform cross-section, F is the integration of length divided by area :

$$F = \int \frac{dl}{A}$$

where l = length along the conduit in metres (feet).

3: Jaugeage aux moulinets

3.1 Généralités

La méthode de jaugeage aux moulinets emploie un certain nombre de moulinets placés de façon appropriée dans un conduit fermé ou découvert pour mesurer les vitesses de l'eau. Leur nombre et leur emplacement doivent être choisis de manière à fournir des relevés en un nombre de points suffisants pour permettre une détermination précise du débit moyen pendant la durée de l'essai dans la section de mesure (voir VIII.3.3.6 et VIII.3.5.1).

3.1.1 Le jaugeage aux moulinets peut être employé aux emplacements suivants d'une installation hydroélectrique :

- Type (a) Canaux découverts;
- Type (b) Ouvrages d'entrée des turbines ou des conduites forcées;
- Type (c) Conduites fermées.

3.1.2 Chacune de ces dispositions d'essai sera décrite et ses limitations seront établies dans les sections correspondantes de ce code. Si la description de l'appareillage, des procédures ou des limitations s'applique à deux ou à plusieurs dispositions d'essai, on s'y référera en rappelant VIII.3.1.1 (a), (b) ou (c).

3.2 Conditions valables pour toutes les dispositions d'essai.

3.2.1 Le jaugeage aux moulinets ne doit être pratiqué qu'en régime d'écoulement stable, assuré pendant toute la durée d'un essai. Si une perturbation de débit ou de charge survient au cours d'un essai, celui-ci devra être recommencé (voir IV.2.2).

3.2.2 *Types de moulinets.* On n'utilisera que des moulinets à écoulement axial et à signalisation électrique. Le guidage de l'axe du moulinet dans ses paliers a une très grande importance. Le moulinet doit être conçu de sorte que les changements de température et les petites impuretés en suspension dans l'eau n'influencent pas sensiblement son fonctionnement.

En général, le diamètre maximal des hélices des moulinets doit être supérieur à 100 mm (3,93 in). Pour les mesures en conduites forcées d'un diamètre inférieur à 2 m (6,6 ft), des hélices de 50 à 80 mm de diamètre peuvent être utilisées au voisinage de la paroi.

Le moulinet peut être muni d'un dispositif directionnel, en vue de détecter tout contre-courant éventuel (voir VIII.3.2.8).

3.2.3 *Montage des moulinets.* Les moulinets doivent être placés avec précision, avec leurs axes parallèles à l'axe du canal ou de la conduite, et fixés sur leur support (figure 24) de manière à éviter tout déplacement et à minimiser les vibrations.

3.2.4 *Disposition échelonnée.* Si les conditions locales ne permettent pas l'utilisation des moulinets selon VIII.3.2.3, ils pourront être échelonnés selon la figure 25. L'axe des moulinets devra néanmoins rester parallèle à l'axe de la conduite.

La disposition échelonnée ne doit toutefois être utilisée que s'il existe à l'amont et à l'aval de la section de mesure une longueur suffisante en section uniforme afin que le profil des vitesses soit le même à l'entrée et à la sortie de la section de mesure. L'angle de l'échelonnement ne dépassera pas 30°.

3.2.5 *Étalonnage et contrôle des moulinets.* Les moulinets doivent être étalonnés avec le même système de fixation que celui utilisé au cours des essais. L'étalonnage doit inclure de préférence des essais avec écoulement oblique jusqu'à 10°. Toute déformation de l'hélice, postérieure à l'étalonnage, peut être détectée avantageusement au moyen de moules en plâtre ou de gabarits en métal. Les moules de contrôle doivent correspondre avec les moulinets au moment de l'étalonnage et porter la date de cet étalonnage. Les frottements de palier et l'état des paliers du moulinet seront contrôlés avant et après les essais.

3. Currentmeter method

3.1 General

The currentmeter method employs a number of individual currentmeters properly placed in a closed or open conduit to register the flow. Their number and locations shall be such as to give records at a sufficient number of individual points to permit a precise determination of the average flow in the test section during the recording time (see VIII.3.3.6 and VIII.3.5.1).

3.1.1 The currentmeter method can be applied to the following locations of test sections in a hydroelectric plant:

- Type (a) Open canals;
- Type (b) Turbine or penstock intake structures;
- Type (c) Closed conduits.

3.1.2 Each location will be described and its limitations set forth in the applicable sections of this code. Where the description of apparatus, procedures or limitations apply to two or more test section locations, they will be so stated by reference to VIII.3.1.1 (a), (b), or (c).

3.2 Provisions applicable to all test locations

3.2.1 Currentmeter measurements should only be carried out if steady flow is maintained during the whole of a measuring run. If any change of load or flow occurs during any measuring run, the run shall be repeated (see IV.2.2).

3.2.2 *Types of currentmeters.* Only axial flow electric signalling meters shall be used. The bearing arrangement is of special importance. The meter shall be so designed that changes in temperature and minor impurities in the water do not influence appreciably the functioning of the meter.

Generally, currentmeters shall have a maximum tip diameter not less than 100 mm (3.93 in). For measurements in a penstock of a diameter smaller than 2 m (6.6 ft), currentmeters of a tip diameter of 50 to 80 mm may be used in the peripheral zone.

The currentmeter may be fitted with directional flow devices to detect any possible reverse currents (see VIII.3.2.8).

3.2.3 *Mounting of currentmeters.* Currentmeters shall be accurately located with their axis parallel to the canal or pipe axis and fastened to the mounting rod as shown in Figure 24 so as to avoid deflection and minimize vibration.

3.2.4 *Staggered layout.* In so far as local conditions do not permit the use of currentmeters as in VIII.3.2.3, they can be arranged staggered as in Figure 25. The axis of the currentmeters shall nevertheless be parallel to the conduit axis.

A staggered arrangement can therefore only be used when there is a sufficient length of uniform section above and below the gauging section to ensure that the velocity distribution is the same at the entrance and exit of the section. The angle of stagger shall not exceed 30°.

3.2.5 *Calibration and checking of currentmeters.* The currentmeters shall be calibrated with the same type of mounting as that used during the tests. The calibration shall preferably include oblique flow up to 10°. Any deformation of the blades subsequent to calibration may readily be checked by using plaster moulds or metal forms. The mould must correspond with the meter as calibrated and should have the date of calibration marked on it. The bearing friction and condition of the bearings of the currentmeter shall be checked before and after the test.

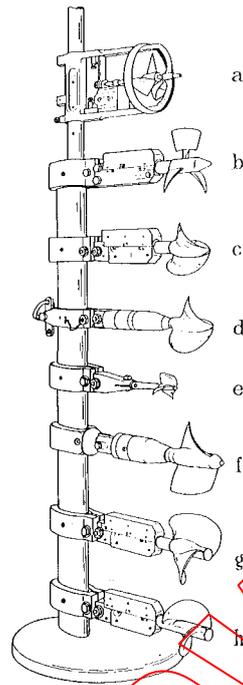


FIG. 24 — Types de moulinets pour écoulement axial et oblique.

- a) Moulinet Stoppani à ailettes, hélice diam. 90 mm, avec anneau de protection diam. 120 mm
- b) Ott, à 3 pales, diam. 120 mm

Note. — Ces deux types conviennent bien pour des jaugages en eau propre, mais ils sont facilement obstrués par des herbes, feuilles, algues. Type (a) présente des avantages dans une section mal déterminée.

- c) Moulinet Ott, à arêtes biaisées, 100 mm
- d) Moulinet Dumas/Neyrpic, à arêtes biaisées, diam. 100 mm
- e) Micromoulinet Ott, à arêtes biaisées, diam. 50 mm
- f) Moulinet Amsler, à arêtes biaisées, diam. 130 mm

Note. — Tous les types de (a) à (f) conviennent bien pour des jaugages dans des courants pratiquement axiaux; voir figure 26, α dans les limites de $\pm 10^\circ$

- g) Moulinet Ott à arêtes biaisées, type F, diam. 125 mm, pour écoulement oblique α dans les limites de $\pm 20^\circ$
- h) Moulinet Ott à arêtes biaisées, type A, diam. 100 mm, pour écoulement oblique, α dans les limites de $\pm 45^\circ$

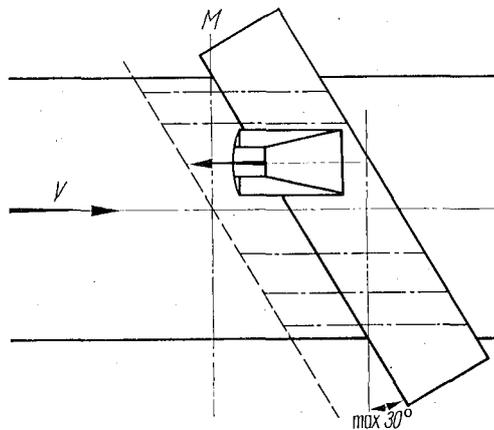


FIG. 25. — Disposition échelonnée des moulinets pour une section de jaugeage non perpendiculaire à la direction générale du courant ou à l'axe du canal ou de la conduite.

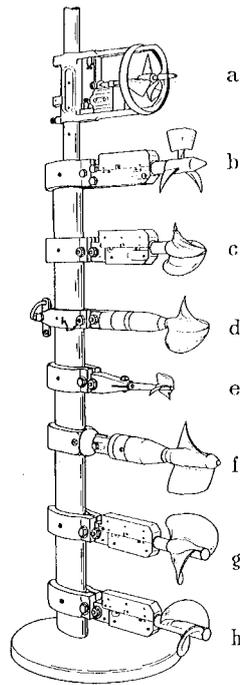


FIG. 24. — Types of currentmeters for axial and oblique flow.

a) Stoppani bladed meter with protecting ring of 120 mm diam., impeller diam. 90 mm

b) Ott-3-Blade Meter, 120 mm diam.

Note. — Both types are suitable for clean water but easily clogged by grass, leaves, algae. Type (a) is of advantage for measurements in ill determined sections).

c) Ott curved vane meter, 100 mm

d) Dumas/Neyrpic curved vane meter, diam. 100 mm

e) Ott miniature curved vane meter, diam. 50 mm

f) Amsler curved vane meter, diam. 130 mm

Note. — All types (a) to (f) are for axial flow measurements; see Fig. 26, α within about $\pm 10^\circ$.

g) Ott curved vane meter, type F, diam. 125 mm, for oblique flow, α within about $\pm 20^\circ$

h) Ott curved vane meter, Type A, diam. 100 mm, for oblique flow, α within about $\pm 45^\circ$

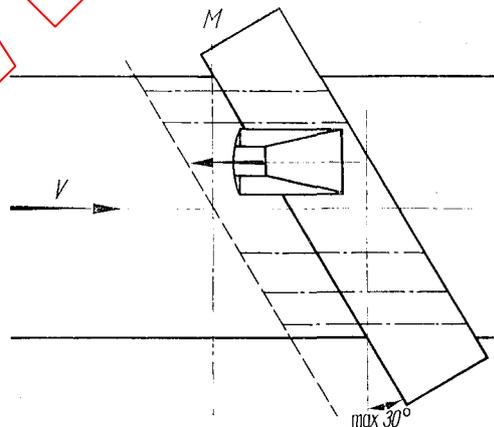


FIG. 25. — Staggered mounting of currentmeters when the measuring section is not perpendicular to the general direction of flow, or the axis of the canal or conduit.

3.2.6 *Écoulement oblique.* Les moulinets peuvent être utilisés en écoulement oblique sous réserve toutefois :

- a) que les moulinets utilisés soient étudiés pour mesurer avec précision la vraie composante axiale de la vitesse, ceci étant contrôlé par un étalonnage approprié;
- b) que la déviation maximale de l'écoulement par rapport à l'axe du moulinet ne dépasse pas 10° (figure 26).

Note. — Les moulinets usuels peuvent donner des indications correctes jusqu'à des incidences de 10° avec une précision de 1% au moins par rapport à la loi du cosinus. Il existe sur le marché des moulinets munis d'hélices autocomposantes dont la loi de réponse ne s'éloigne pas de la loi du cosinus de plus de 1%, pour des angles d'incidence supérieurs à 10° . Lorsque de tels moulinets sont utilisés, ils doivent être placés de manière à éviter que les cadres ou supports aient une influence quelconque sur leur exactitude.

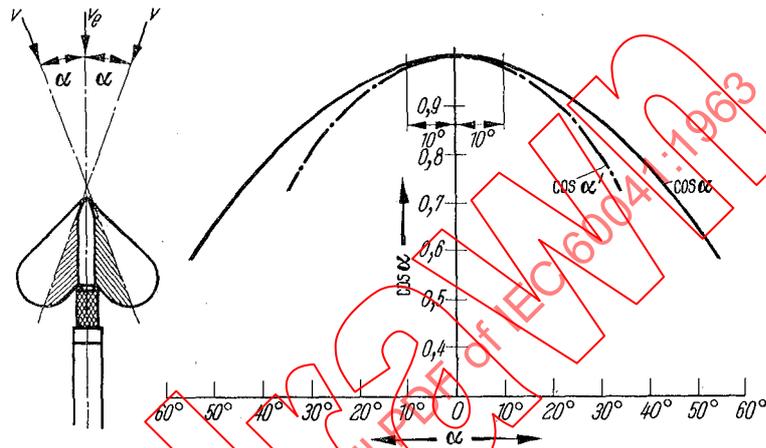


FIG. 26. — Comparaison entre la courbe d'étalonnage et la loi du cosinus dans un écoulement oblique.

v vitesse d'écoulement sous l'angle α
 v_e composante de la vitesse v , perpendiculaire à la section de jaugeage, c.-à-d. parallèle à l'axe du moulinet

Ceci peut s'écrire : $\cos \alpha = \frac{v_e}{v}$

En réalité, le moulinet indique v_e' $\cos \alpha' = \frac{v_e'}{v}$

3.2.7 *Limites de vitesse.* L'emploi de moulinets pour de grandes vitesses d'écoulement n'est limité que par la possibilité de réaliser un montage conforme à VIII.3.2.3. En aucun cas, la courbe de tarage d'un moulinet ne doit être extrapolée. La vitesse moyenne Q/A dans une section de mesure doit être au moins égale à 0,4 m/s (1,3 ft/s).

3.2.8 *Répartition des vitesses.* Tout sera mis en œuvre pour que la répartition des vitesses soit aussi uniforme que possible. La répartition des vitesses dans la section de jaugeage devra être relevée avant les essais principaux.

Si cette répartition se révèle très irrégulière dans des canaux découverts ou des ouvrages d'entrée, on l'améliorera en installant judicieusement des parois de guidage, des plafonds noyés, des grilles de tranquillisation, des radeaux, etc., jusqu'à ce que le spectre d'écoulement désiré soit obtenu (figures 27, 28).

On renoncera à effectuer toute mesure, même avec des moulinets à contact de retour, dans toute section où il existe des contre-courants ou des renversements de l'écoulement.

3.2.6 *Effect of oblique flow.* Currentmeters can be used for oblique flows provided:

- a) That the currentmeters used are designed to measure accurately the true axial component of velocity, this being checked by suitable calibration;
- b) The maximum deviation of the flow from the meter axis is not in excess of 10° (Figure 26).

Note. — The usual type of currentmeter will give correct registration for angles less than 10° , with an accuracy of 1% or less as related to the cosine law. There are types of so-called "component" currentmeters available that show departures from the cosine law of less than 1% for angles greater than 10° . Under conditions where such currentmeters are used, they must be placed to avoid any effect on their accuracy due to the frame or supports.

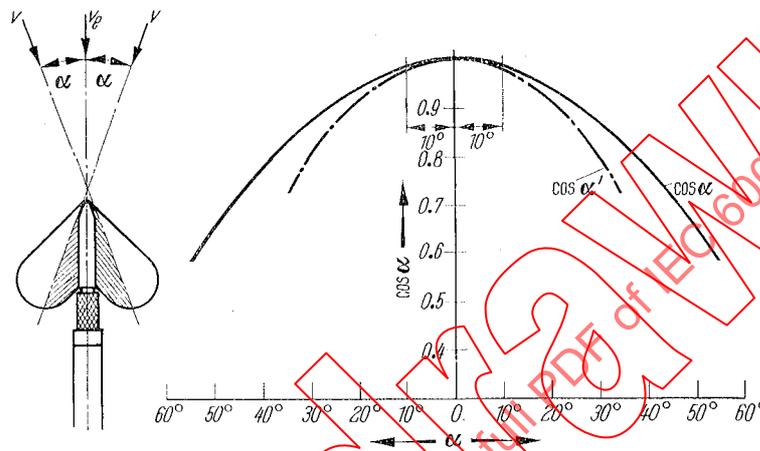


FIG. 26. — Comparison of the calibration curve with the cosine law in oblique flow.

v velocity of flow at angle α
 v_c component of the velocity v , perpendicular to the measuring section, that is parallel to the axis of the meter.

This can be expressed as: $\cos \alpha = \frac{v_c}{v}$

Actually the currentmeter indicates v_c' : $\cos \alpha' = \frac{v_c'}{v}$

3.2.7 *Velocity limits.* The use of currentmeters for high velocities is limited only by the ability to provide mounting of the meters in accordance with VIII.3.2.3. In no case may the rating curve be extrapolated. The mean velocity Q/A in the gauging section should be at least 0.4 m/s (1.3 ft/s).

3.2.8 *Velocity distribution.* Every effort is to be made to secure as uniform a velocity distribution as possible. The velocity distribution in the gauging section must be investigated before the main test.

If the velocity distribution is found to be very irregular in open channels or intakes, it shall be improved by installing appropriate guide walls, submerged roofing, stilling, racks, rafts, etc., until the desired flow pattern is secured (see Figures 27 and 28). If there are counter currents or reversals of flow in any test section, measurements shall not be carried out, even though the currentmeters are equipped with directional flow contacts.

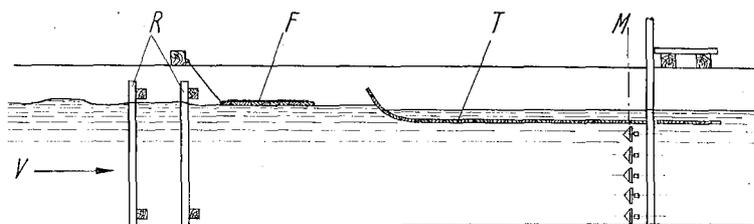


FIG. 27. — Dispositifs de tranquillisation dans un canal ouvert.

- R) grilles
- F) radeau
- T) plafond noyé
- M) section de jaugeage

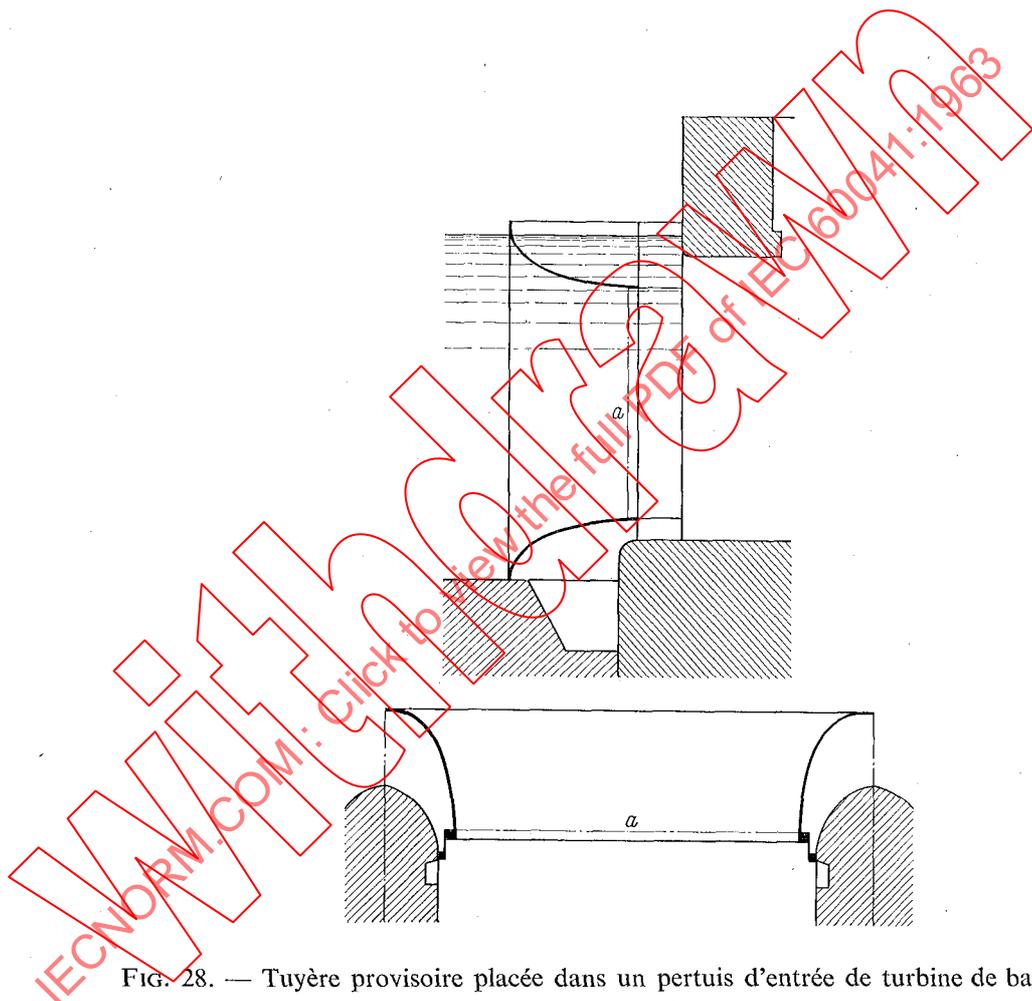


FIG. 28. — Tuyère provisoire placée dans un pertuis d'entrée de turbine de basse chute.

a) section de jaugeage

3.2.9 *Pulsation.* Afin de détecter toute pulsation éventuelle de la vitesse de l'eau, on utilisera des moulinets qui donnent au moins un signal tous les 20 tours, ou, mieux encore, tous les 10 tours de l'hélice.

3.2.10 *Nombre de moulinets.* Le nombre et la position des moulinets varieront selon le type de section de jaugeage et de conduit. Le nombre requis de moulinets est précisé, pour chaque type particulier de section, sous VIII.3.3.6 et VIII.3.5.1.

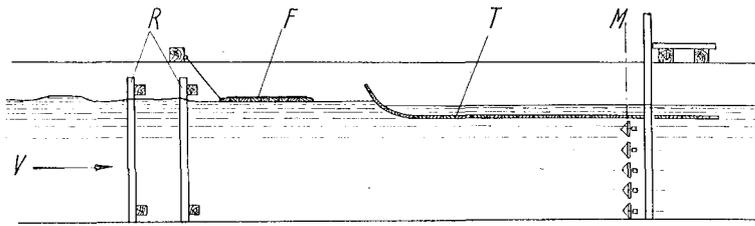


FIG. 27. — Means for stabilizing flow in an open canal.

- R) Racks
- F) Rafts
- T) Submerged roof
- M) Measuring section

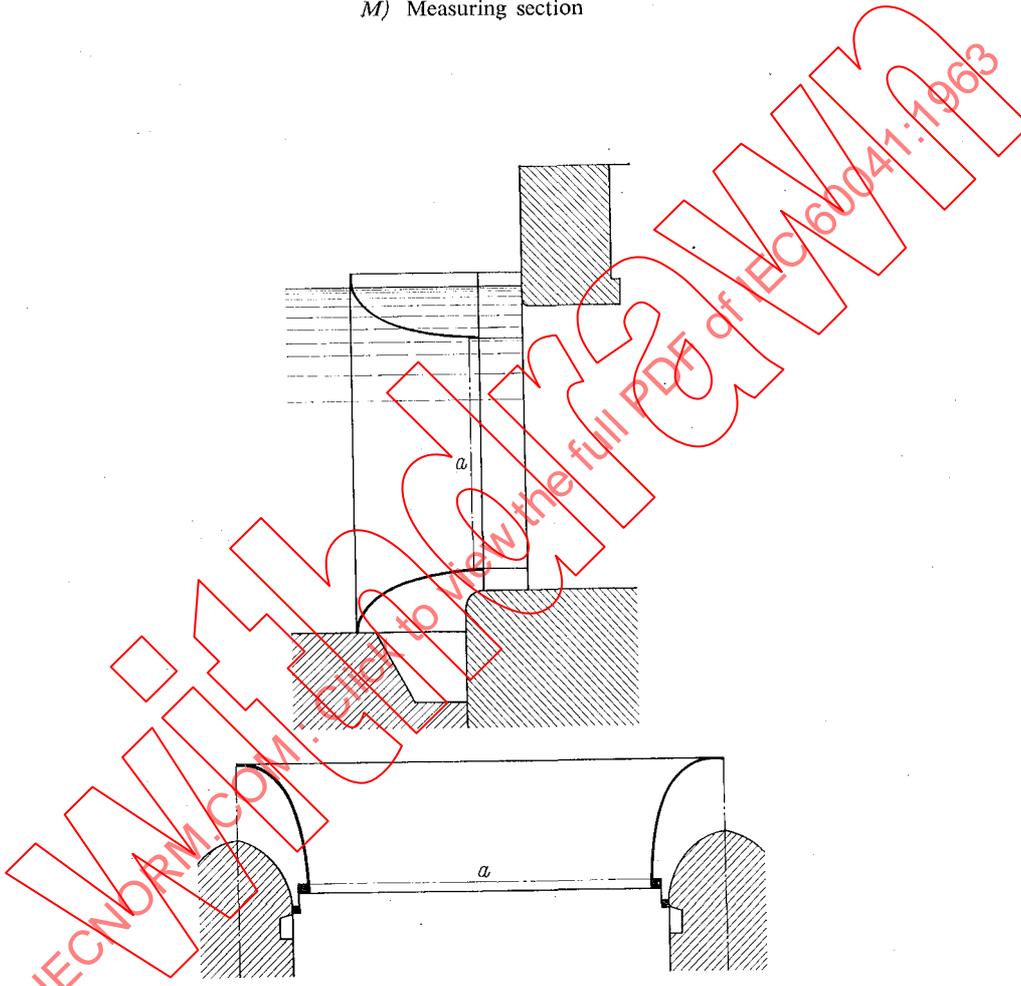


FIG. 28. — Temporary nozzle or bell mouth placed in the intake of a low head turbine.

a) Measuring section

3.2.9 *Pulsation.* In order to disclose any possible pulsation in the velocity, currentmeters shall be used which make a signal at least every 20, and preferably every 10 revolutions of the propeller.

3.2.10 *Number of currentmeters.* The number and location of currentmeters will vary according to the type of test section and conduit. The required number is specified for each particular type of test section under VIII.3.3.6 and VIII.3.5.1.

3.2.11 *Mesure du temps et de la vitesse de rotation des moulinets.* L'exactitude de la mesure du temps doit atteindre 0,05%. Si on utilise simultanément plusieurs moulinets, leurs indications peuvent être enregistrées au moyen d'un chronographe électrique ou de compteurs.

Quelle que soit la méthode utilisée, la vitesse de rotation des moulinets doit être mesurée avec une incertitude de $\pm 0,1\%$.

3.2.12 *Exécution des mesures.* Chaque mesure de débit doit intéresser toute la section de jaugeage. Il n'est donc pas admissible de calculer la vitesse moyenne, et par suite le débit, en partant de la vitesse mesurée en un seul point de la section.

Si la conduite est divisée en plusieurs sections, le débit dans chacune de ces sections doit être déterminé séparément.

3.2.13 *Durée de la mesure.* La durée de la mesure pour chaque position de moulinet sera d'au moins deux minutes.

Si la vitesse de l'eau est sujette à des pulsations périodiques, on prolongera la durée de la mesure de manière à disposer, pour l'interprétation des résultats, d'au moins deux périodes de pulsation.

Si on utilise une batterie de moulinets fixes, le temps de mesure sera porté à 5 minutes au minimum de manière à ménager un temps suffisant pour les autres mesures.

3.3 *Jaugeage aux moulinets en canal découvert. Type (a).*

La section de mesure pour un jaugeage aux moulinets doit être choisie avec une attention particulière afin d'assurer une précision aussi élevée que possible. Les points suivants sont à observer :

3.3.1 Les sections de jaugeage rectangulaires ou trapézoïdales doivent avoir les dimensions minimales suivantes :

Largeur minimale du canal $B = 0,8$ m (2,6 ft) ou 8 fois le diamètre de l'hélice du moulinet utilisé.

Hauteur d'eau minimale $T = 0,8$ m (2,6 ft) ou 8 fois le diamètre de l'hélice du moulinet utilisé.

3.3.2 Les parois du canal doivent être rectilignes et parallèles et le fond sera aussi horizontal que possible sur une longueur d'au moins 2 m (6,6 ft) en amont de la section de mesure. Les portions de canal en amont et en aval de la section de mesure doivent être libres de toute obstruction pouvant provoquer des perturbations dans l'écoulement.

3.3.3 Les axes des moulinets doivent être parallèles à la direction de l'écoulement et la section de mesure perpendiculaire à cette direction. Si les conditions locales ne permettent pas une telle disposition, les moulinets peuvent être disposés en gradins (voir VIII.3.2.4).

3.3.4 Aucune fuite ou apport d'eau ne sera toléré entre la section de jaugeage et l'entrée ou la sortie de la turbine.

3.3.5 *Dispositifs pour améliorer l'écoulement.* Si des dispositifs destinés à régulariser l'écoulement, tels que grilles, radeaux, etc., sont utilisés, ils doivent être disposés à 3 m (10 ft) au moins à l'amont de la section de jaugeage. Ils peuvent ne pas servir seulement à améliorer la répartition des vitesses, mais aussi à réaliser des conditions favorables à une mesure précise de la profondeur d'eau.

3.3.6 *Nombre de points de mesure.* Le nombre de points de mesure z dans une section A , rectangulaire ou trapézoïdale, peut être calculé d'après la relation suivante :

$$24 \sqrt[3]{A} < z < 36 \sqrt[3]{A}$$

dans laquelle A (aire de la section de jaugeage) est exprimée en mètres carrés.

3.2.11 *Measurement of time and of rotational speed of currentmeter.* The time rate measurement shall be accurate to at least 0.05%. If several currentmeters are used simultaneously, indications may be registered by means of an electric recording chronometer or by counters.

Whichever method is used, the rotational speed of the currentmeters shall be measured within an error of $\pm 0.1\%$.

3.2.12 *Measurement process.* Each flow measurement shall cover the whole area of the gauging section. The mean water velocity, and consequently the discharge, must not be computed from the velocity measured at only a single point of the section.

If the conduit is divided into several sections, the flow must be computed for each section individually.

3.2.13 *Duration of measurements.* Measurements for each currentmeter position shall last at least two minutes.

Should the water velocity be subject to periodic pulsations, the duration of the measurement shall be prolonged so that at least two periods of the pulsation are available for the calculation.

If a group of fixed-position currentmeters are used, the measuring period shall be at least 5 minutes, in order to provide sufficient time for the other measurements.

3.3 *Currentmeter measurement test sections in canals. Type (a)*

The location of the test section for currentmeter measurement shall be chosen with particular care to ensure the greatest possible accuracy. The following points should be observed:

3.3.1 The minimum dimensions for rectangular or trapezoidal gauging sections are as follows:

Minimum width of canal $B = 0.8 \text{ m (2.6 ft) or } 8 \times \text{ currentmeter tip diameter}$

Minimum depth of water $T = 0.8 \text{ m (2.6 ft) or } 8 \times \text{ currentmeter tip diameter}$

3.3.2 The sides of the canal should be straight and parallel and the bottom should be as nearly horizontal as possible for a length of at least 2 m (6.6 ft) before entering the test section. Both the approach and downstream portions of the canal shall be free from any obstructions which are liable to cause flow disturbance.

3.3.3 The test section shall be perpendicular to the direction of flow and the currentmeter axis parallel to the flow. If local conditions do not permit such an arrangement, a staggered mounting arrangement of the currentmeters may be used (VIII.3.2.4).

3.3.4 No leakage or diversion of water shall be permitted between the test section and the turbine inlet or outlet.

3.3.5 *Devices to improve flow conditions.* If devices to stabilize flow, such as baffles etc. are used, they should be placed not less than 3 m (10 ft) upstream of the gauging section. These may serve not only to improve the velocity distribution but also to obtain better conditions for an accurate measurement of the depth of water.

3.3.6 *Number of gauging points.* For canals of rectangular or trapezoidal section the number of gauging points z in a given section A can be calculated from the following formula:

$$24 \sqrt[3]{A} < z < 36 \sqrt[3]{A}$$

where A (the area of cross-section) is in square metres.

3.3.7 *Répartition des points de mesure.* Dans la zone des plus grandes variations de vitesse, c'est-à-dire à proximité des parois, du fond du canal et de la surface de l'eau, les points de mesure doivent être plus rapprochés.

3.3.8 *Distance entre l'axe des moulinets et les parois ou le niveau libre.* La distance de l'axe du moulinet le plus rapproché d'une paroi ou du fond du canal, doit demeurer dans les limites suivantes :
minimale : $0,75 \times$ diamètre de l'hélice du moulinet
maximale : 0,20 m (8 in).

Le moulinet supérieur doit être entièrement immergé et placé aussi près que possible de la surface, mais à une profondeur telle qu'aucune influence du plan d'eau ne soit sensible sur le moulinet.

3.3.9 *Permanence de l'écoulement.* Comme le niveau de l'eau dans la section de jaugeage doit servir à déterminer le tirant d'eau, il sera relevé pendant toute la durée de jaugeage. La variation du tirant d'eau, pendant un jaugeage, ne doit pas dépasser $\pm 1\%$ de la profondeur moyenne.

Le relevé de la hauteur d'eau pourra être effectué, soit au moyen d'une perche séparée servant de pointe de mesure (figure 29), soit au moyen de la perche de fixation des moulinets, l'axe du moulinet supérieur étant amené à la surface de l'eau (figure 30). Toute variation dans la vitesse moyenne doit être contrôlée pendant le temps de l'essai par un ou plusieurs moulinets.

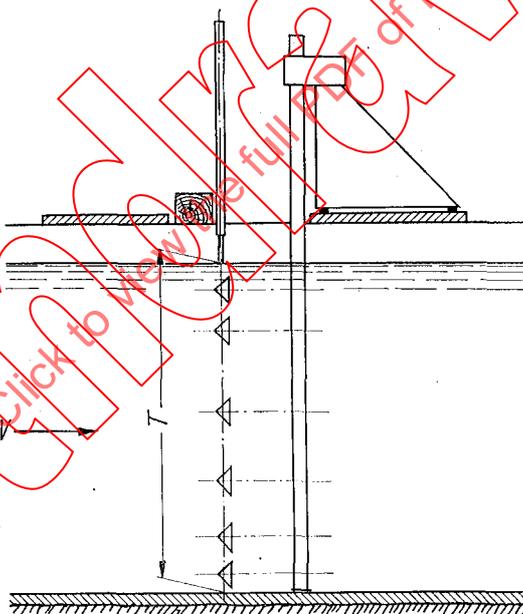


FIG. 29. — Mesure du niveau d'eau à l'aide d'un limnimètre à pointe.

3.4 *Jaugeage aux moulinets dans les ouvrages d'entrée de turbine ou de conduite forcée. Type (b).*

Dans des usines de basse chute, la section de mesure peut également être placée dans l'ouvrage d'entrée de la turbine. Dans ce cas, il est essentiel de s'assurer qu'un écoulement rectiligne et parallèle est obtenu dans toute la section, en montant des tuyères de guidage provisoires en bois, ou des toits submergés (figures 27 et 28).

3.4.1 *Jaugeage oblique en conduit convergent.* Les mesures en écoulement convergent dans une section de mesure oblique sont à éviter autant que possible, car il est difficile de tenir compte des erreurs

3.3.7 *Distribution of gauging points.* The gauging points shall be arranged closer to one another in the zones where the greater velocity variations are to be found, i.e. near the walls, the bottom of the canal and the water surface.

3.3.8 *Distance from walls and water surface.* The distance of the axis of the nearest currentmeter from a wall or the bottom of the canal shall be kept within the following limits:

minimum : $0.75 \times$ tip diameter of propeller

maximum : 0.2 m (8 in).

The topmost currentmeter must be entirely submerged and placed as close as possible to the surface, keeping a depth so that the influence of the water surface will not affect the meter.

3.3.9 *Constancy of flow.* As the water level in the gauging section is used to determine the water depth, it shall be constantly checked during the time of gauging. The variations of the water depth during measurements shall not exceed $\pm 1\%$ of the mean depth.

The water depth can be checked by means of a separate pointed measuring rod (Figure 29) or by raising the currentmeter supporting rod and setting the axis of the uppermost meter at the water surface (Figure 30). Any variations in the average velocity should be checked at the same time as the test run, with one or more currentmeters.

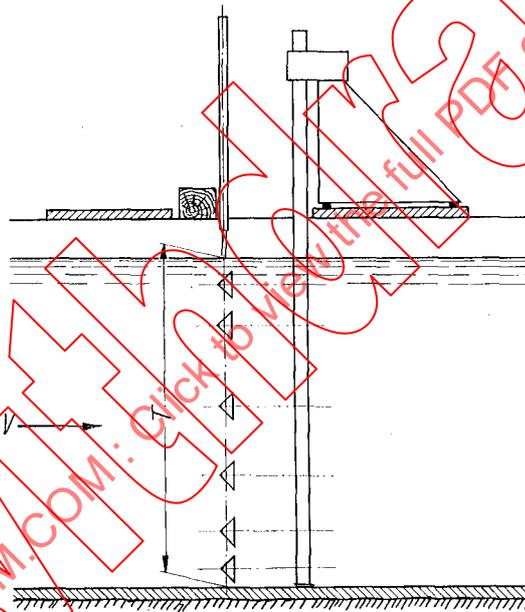


FIG. 29. — Measurement of water level with a point gauge.

3.4 *Turbine or conduit intakes. Type (b).*

With low head power stations the measuring section can also be located in the turbine intake. It is essential in such cases to ensure that a straight and parallel flow is obtained over the whole gauging section by means of temporary guide walls and a submerged roofing (Figures 27 and 28).

3.4.1 *Converging oblique conduits.* Measurement with converging flow over an oblique measuring section should wherever possible be avoided because it is difficult to allow for systematic errors

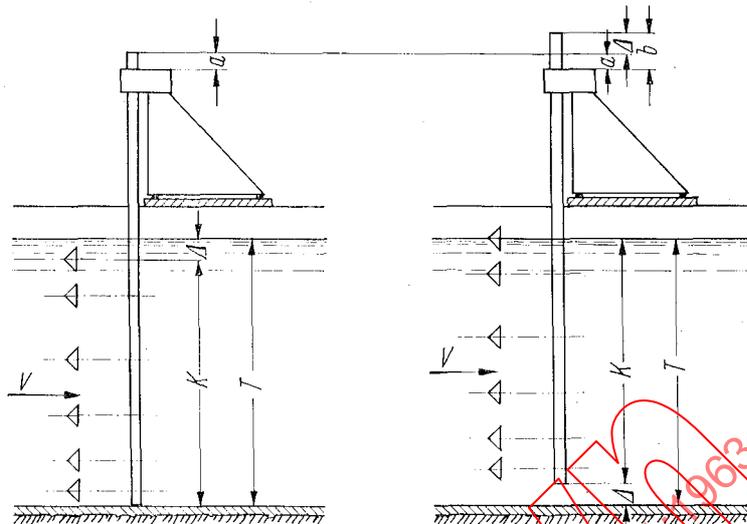


FIG. 30. — Mesure du niveau d'eau à l'aide de la pointe du moulinet supérieur, en relevant la tige support des moulinets.

systematiques pouvant se produire. De toute manière, lorsque de telles conditions de mesure se produisent, il y a lieu de n'utiliser que des hélices autocomposantes selon les indications du paragraphe VIII.3.2.6.

3.4.2 *Tuyère d'entrée.* L'emploi d'une tuyère d'entrée provisoire (figure 28) donne les avantages suivants :

- Augmentation des vitesses qui peuvent être mesurées;
- Amélioration de la répartition des vitesses;
- Elimination de la mesure de la profondeur par obtention d'une section de jaugeage d'aire constante.

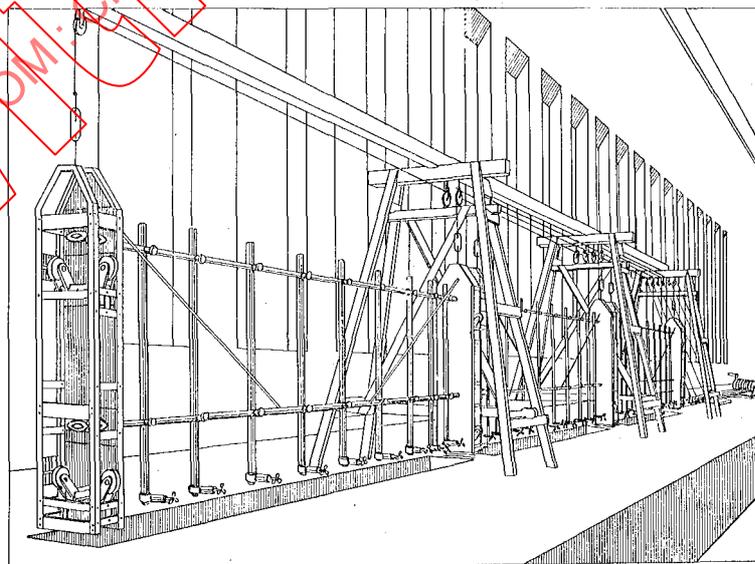


FIG. 31. — Cadres supports des moulinets pour jaugeage dans les pertuis d'entrée de grandes turbines de basse chute (Type Bitterli).

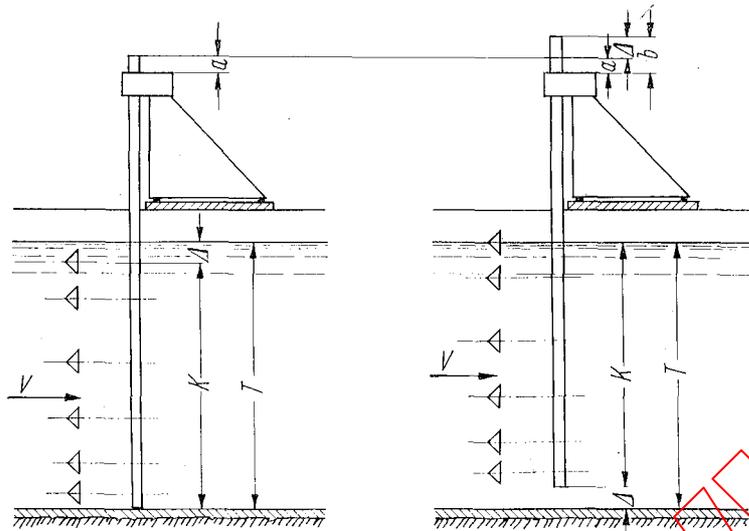


FIG. 30. — Measurement of water level using the tip of the uppermost meter and raising the supporting frame.

which can arise. In any case, with such a measurement only true cosine component currentmeters are to be used as described in VIII.3.2.6.

3.4.2 *Bell mouth nozzles.* The provision of a bell mouth nozzle (Figure 28) has the advantage of permitting:

- An increase in the velocity that can be measured;
- Improved velocity distribution;
- Elimination of water depth measurements by providing a constant area at the test section.

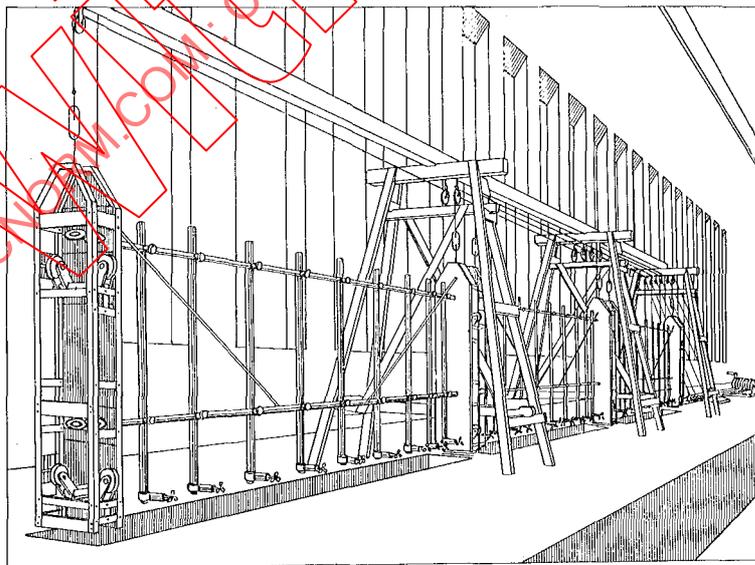


FIG. 31. — Currentmeter supporting frames for measuring flow in the intake of large low-head turbines (Bitterli-Type frame).

3.4.3 Les dispositions des paragraphes suivants doivent être observées également lors des jaugeages dans des sections du type (b):

VIII.3.3.1

VIII.3.3.6

VIII.3.3.7

VIII.3.3.8

VIII.3.3.9

3.4.4 Les mesures simultanées avec plusieurs moulinets présentent des avantages pour de grandes sections de jaugeage dans les ouvrages d'entrée. De cette manière, la durée des essais peut être raccourcie notablement. Selon les conditions locales, les relevés simultanés peuvent être effectués selon une horizontale ou une verticale (figure 31).

3.5 Conduites fermées de section circulaire. Type (c).

Des moulinets ne doivent être utilisés pour des mesures en conduites que lorsque le diamètre intérieur de ces conduites est supérieur à 1,2 m (3,9 ft). L'utilisation d'une batterie de moulinets montés sur un croisillon n'est acceptable que si le diamètre de la conduite est supérieur à 1,4 m ou 4,6 ft ou 14 fois le diamètre de l'hélice du moulinet utilisé.

Pour des conduites de grande dimension, une référence spéciale sera faite aux spécifications du paragraphe VIII.3.5.2.

3.5.1 Pour les mesures effectuées en conduite forcée au moyen d'un croisillon fixe (voir figure 32 par exemple pour un cadre à 4 bras) et de moulinets de 100 mm (3,9 in) de diamètre environ, le nombre Z de moulinets pour chaque bras du support est calculé par la relation:

$$4 \sqrt{R} < Z < 5 \sqrt{R}$$

dans laquelle le rayon R intérieur de la conduite est exprimé en mètres.

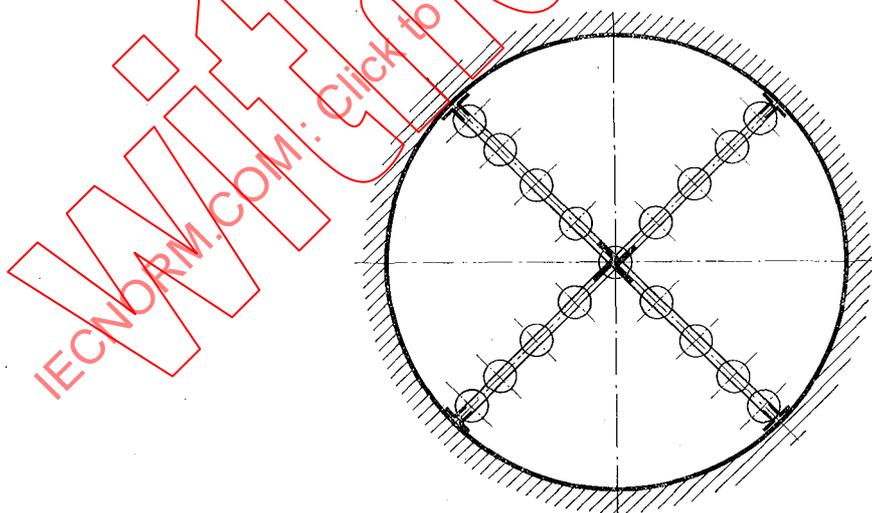


FIG. 32. — Batterie de moulinets fixes, montés sur un croisillon fixe dans une conduite.

3.5.2 Un nombre minimal de 13 points de mesure doit être utilisé dans toute section de jaugeage et quel que soit le type de cadre support. Un moulinet doit être monté au centre.

3.4.3 The provisions of the following paragraphs shall apply equally to intakes type (b).

VIII.3.3.1

VIII.3.3.6

VIII.3.3.7

VIII.3.3.8

VIII.3.3.9

3.4.4 Simultaneous measurement with several currentmeters is an advantage with large gauging sections in intakes. In this way the duration of the test can be appreciably reduced. According to the local conditions, simultaneous reading can thus be taken for complete horizontal or vertical traverses (Figure 31).

3.5 *Closed conduits of circular section. Type (c).*

Currentmeters shall only be used for measurements in penstock or closed conduits when they have an internal diameter of at least 1.2 m (3.9 ft). If a measurement is carried out with a fixed supporting frame and a larger number of currentmeters, then the minimum diameter of the pipe should not be less than 1.4 m or 4.6 ft, or $14 \times$ currentmeter diameter.

For large conduits, special reference should be made to the provisions set forth in paragraph VIII.3.5.2.

3.5.1 When making measurements in a conduit with a fixed currentmeter frame (e.g. as in Figure 32 with 4 arms) and with currentmeters of about 100 mm (3.9 in) tip diameter, the number Z of currentmeters on each arm of the support is calculated from the following formula :

$$4\sqrt{R} < Z < 5\sqrt{R}$$

where R is the internal radius of the conduit in metres.

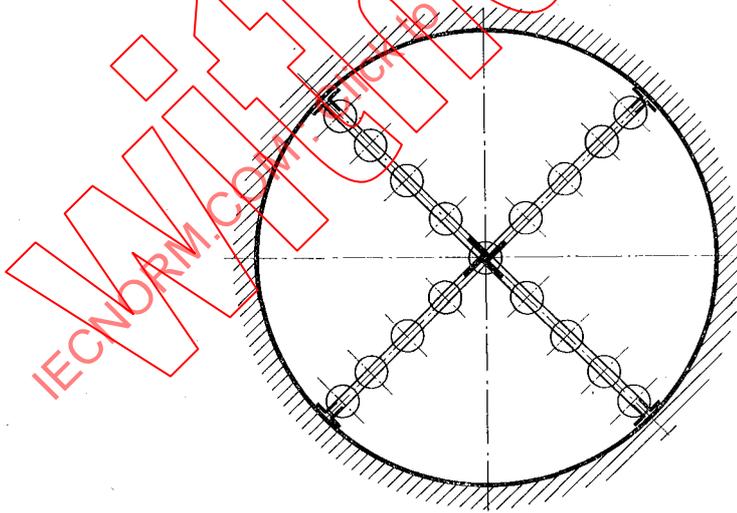


FIG. 32. — Battery of stationary currentmeters on fixed cross bars in a closed conduit.

3.5.2 A minimum of 13 measuring points must be used at any section and whatever type of supporting frame is used. A currentmeter should be mounted in the centre.

A titre d'exemple, le tableau et la figure 33 indiquent le nombre et la répartition des points de mesure dans une section circulaire. La répartition des moulinets sur un rayon du support est prévue pour donner sensiblement le même poids à tous les points de mesure.

$z = \frac{D}{4Z+1}$	D mm (in)	x	r_1	A							
				r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	
13	1 200-2 400 (48-95)	0,75 D_F	$D/2-x$	0,816	0,577						
17	2 200-3 200 (87-127)	0,75 D_F	$D/2-x$	0,866	0,707	0,500					
21	2 900-4 500 (115-179)	0,75 D_F	$D/2-x$	0,894	0,775	0,632	0,447				
25	3 800-5 500 (151-218)	0,75 D_F	$D/2-x$	0,912	0,816	0,707	0,577	0,408			
29	5 000-7 000 (198-278)	0,75 D_F	$D/2-x$	0,926	0,845	0,756	0,655	0,535	0,378		
33	6 300-8 500 (250-337)	0,75 D_F	$D/2-x$	0,936	0,866	0,791	0,707	0,613	0,500	0,354	

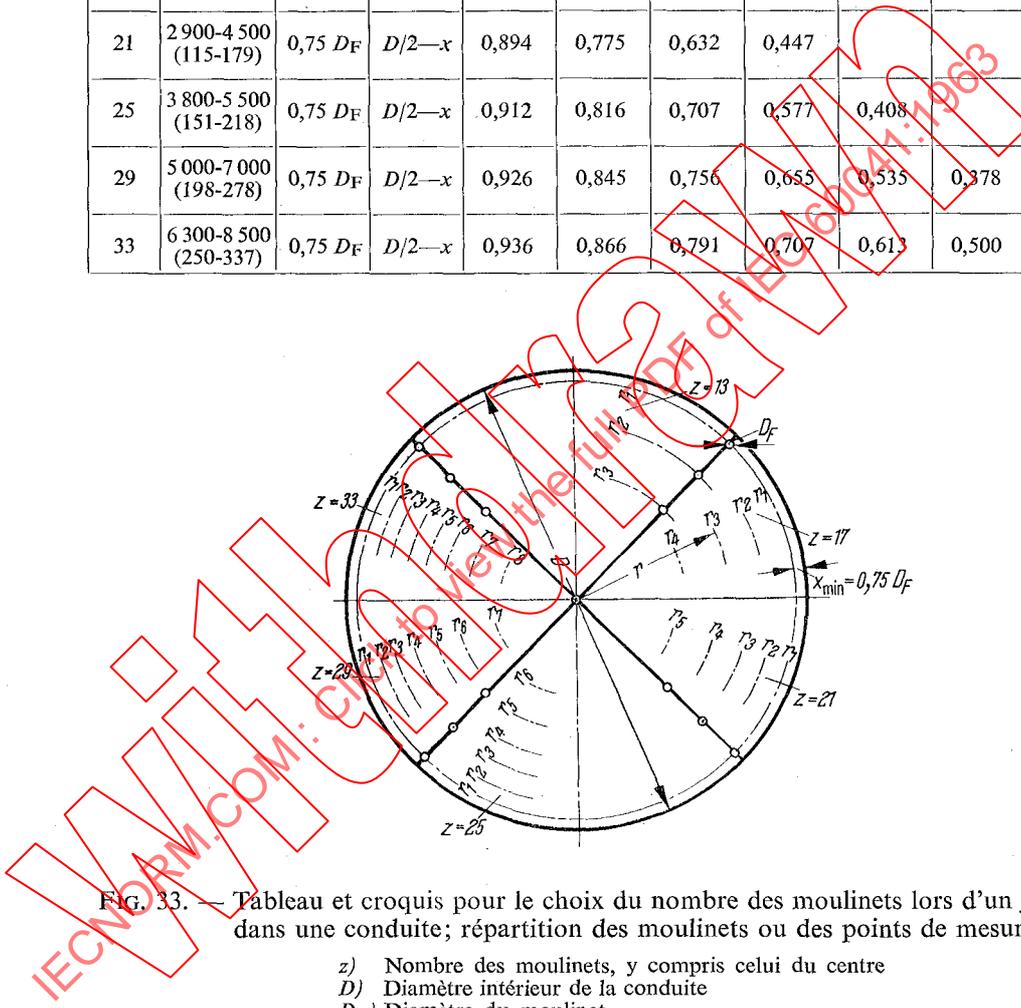


FIG. 33. — Tableau et croquis pour le choix du nombre des moulinets lors d'un jaugeage dans une conduite; répartition des moulinets ou des points de mesure.

- z) Nombre des moulinets, y compris celui du centre
- D) Diamètre intérieur de la conduite
- D_F) Diamètre du moulinet
- x) Distance de l'axe du moulinet à la paroi de la conduite
- r) Rayon à l'axe du moulinet

3.5.3 La section de jaugeage doit être située dans un alignement droit et à au moins 20 diamètres de conduite à l'aval et 5 diamètres à l'amont du plus proche coude. Toute dérogation à cette règle ne peut être permise que sous réserve d'une étude préalable de l'écoulement dans la section de mesure proposée. Dans les conduites, les mesures sont normalement prises au moins suivant deux diamètres perpendiculaires entre eux.

Figure 33 shows an example with a diagram and tabulation for the location of currentmeter measuring points in a circular conduit. The positions of the currentmeters on the radius arms of the supports are arranged to give, as closely as possible, equal weight to all measuring points.

$z = 4Z+1$	D mm (in)	x	r_1	A							
				r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	
13	1 200-2 400 (48-95)	$0.75 D_F$	$D/2-x$	0.816	0.577						
17	2 200-3 200 (87-127)	$0.75 D_F$	$D/2-x$	0.866	0.707	0.500					
21	2 900-4 500 (115-179)	$0.75 D_F$	$D/2-x$	0.894	0.775	0.632	0.447				
25	3 800-5 500 (151-218)	$0.75 D_F$	$D/2-x$	0.912	0.816	0.707	0.577	0.408			
29	5 000-7 000 (198-278)	$0.75 D_F$	$D/2-x$	0.926	0.845	0.756	0.655	0.535	0.378		
33	6 300-8 500 (250-337)	$0.75 D_F$	$D/2-x$	0.936	0.866	0.791	0.707	0.613	0.500	0.354	

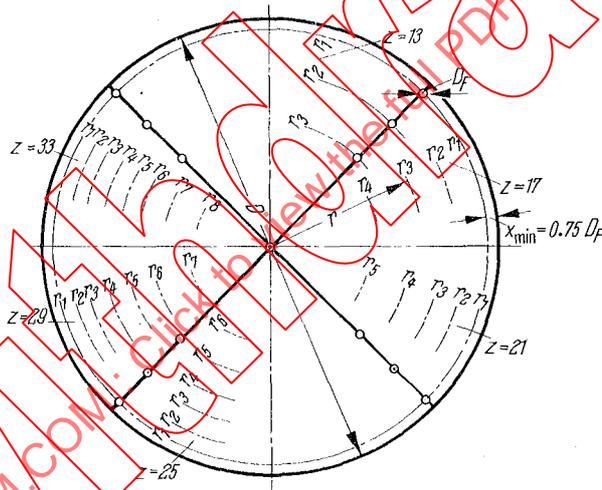


FIG. 33. — Table and diagram for selecting the number of currentmeters in a circular conduit, the location of the meters or points of measurement.

- z) Number of meters, including the centre location
- D) Inside diameter of the conduit
- D_F) Diameter of the currentmeter
- x) Distance from the axis of the meter to the wall of the conduit
- r) Radius at the axis of the currentmeter

3.5.3 Gauging sections shall lie in a straight stretch and at least 20 pipe diameters downstream and at least 5 pipe diameters upstream from the nearest bend. Departures from this rule are permissible only when the flow conditions at the proposed measuring section have been examined in advance. In pipes, measurements are normally taken along at least two diameters perpendicular to each other.

Le diamètre moyen de la conduite sera pris égal à la moyenne arithmétique des mesures effectuées suivant 6 diamètres. Une mesure du débit sur 2 diamètres seulement, perpendiculaires l'un à l'autre, est considérée comme satisfaisante si les débits déduits des relevés effectués sur chacun d'eux ne diffèrent pas de plus de $\pm 2\%$ de leur valeur moyenne.

Si les distances amont et aval de la section de mesure au coude le plus proche sont inférieures aux valeurs ci-dessus, le client et le fournisseur doivent se mettre d'accord sur une valeur plus élevée de l'erreur de mesure sur le débit ou, si possible, explorer la section suivant plus de deux diamètres.

A la condition que les exigences du paragraphe VIII.3.2.3 soient satisfaites, on pourra utiliser l'un ou l'autre des dispositifs suivants de jaugeage :

- mesure au moyen d'une batterie de moulinets fixés à demeure dans la conduite (figure 32);
- exploration au moyen d'un seul moulinet, avec vanne à sas (méthode Dufour, figure 34);
- utilisation de un ou plusieurs moulinets coulissant sur un rail fixe.

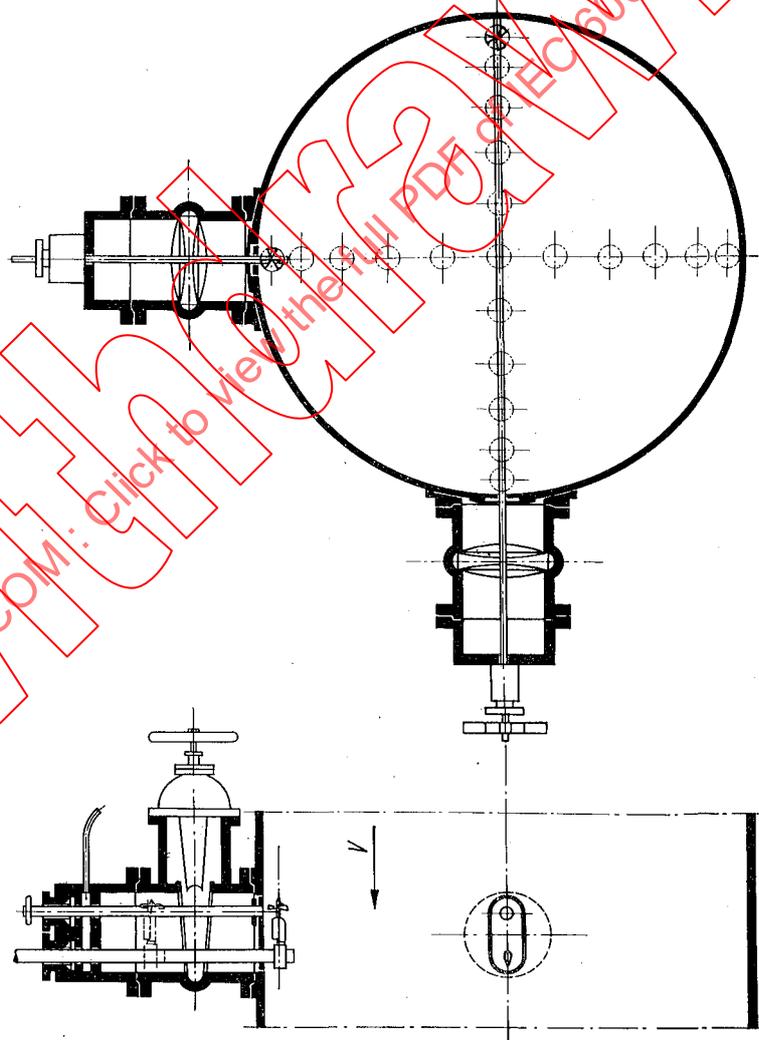


FIG. 34. — Exploration au moyen d'un seul moulinet, avec vanne à sas, sur 2 diamètres perpendiculaires (Méthode Dufour).

The mean diameter of the pipe shall be taken as the arithmetical mean of six measured diameters. Measurements of flow using two diameters perpendicular to each other are considered satisfactory if the flows computed for each diameter do not differ by more than $\pm 2\%$ of their mean.

If the distances downstream or upstream from a bend are less than those specified above, the purchaser and the manufacturer must agree on a greater allowance for inaccuracies in the flow measurement or, if possible, use traverses on more than two diameters.

Provided the requirements of VIII.3.2.3 are satisfied, the gauging can be carried out as follows :

- with several currentmeters permanently mounted in the penstock (Figure 32);
- with a single currentmeter and valves (Dufour method, Figure 34);
- with one or more currentmeters sliding along a fixed bar.

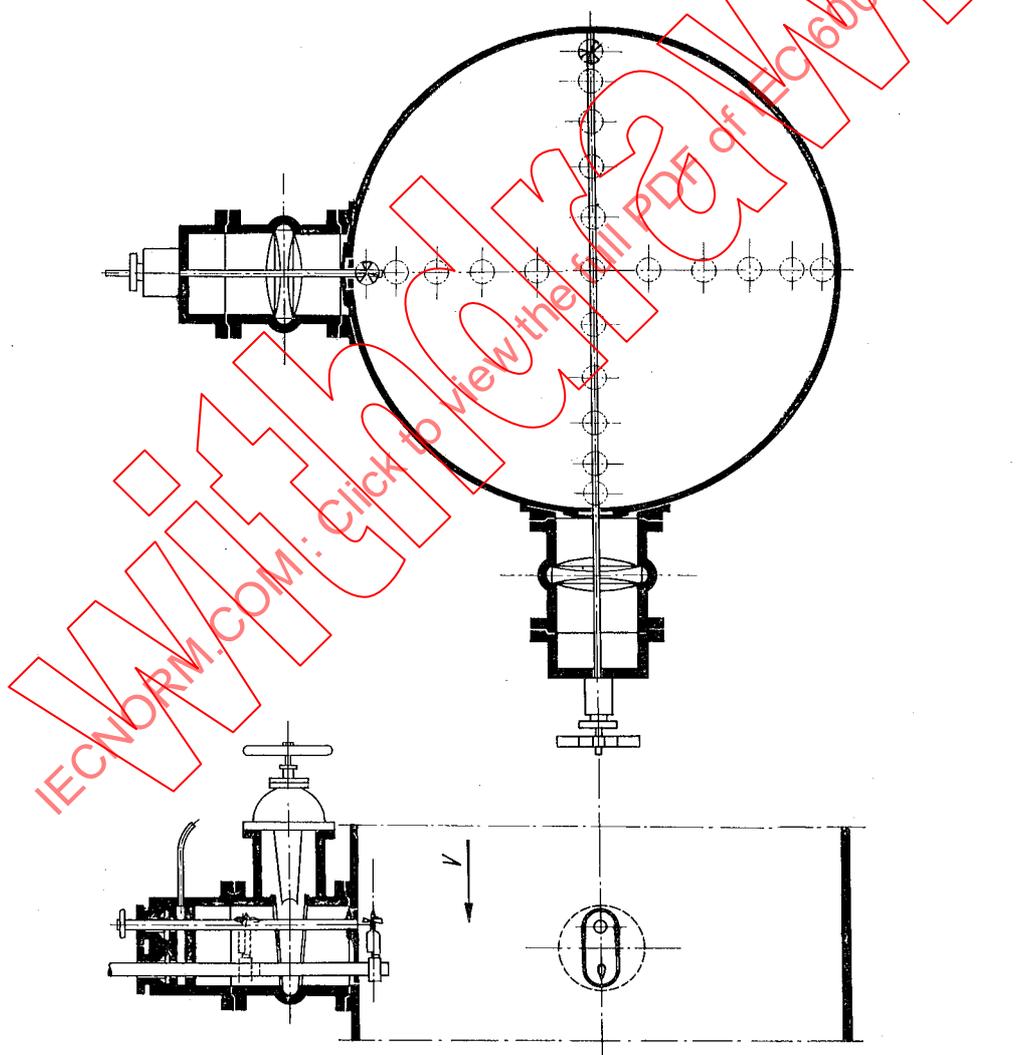


FIG. 34. — Traverse across conduit by means of a single currentmeter with a lock valve on two perpendicular diameters (Dufour Method).

Si les conditions locales ne permettent pas d'utiliser l'un des dispositifs précédents, le jaugeage peut toutefois être effectué après entente entre les parties, à l'aide d'un moulinet fixé sur une tige et susceptible de se déplacer axialement et angulairement dans tout le plan de la section de jaugeage pour réaliser approximativement la mesure selon deux diamètres.

Une autre disposition utilise un support tournant avec un certain nombre de moulinets montés sur les bras (figure 35).

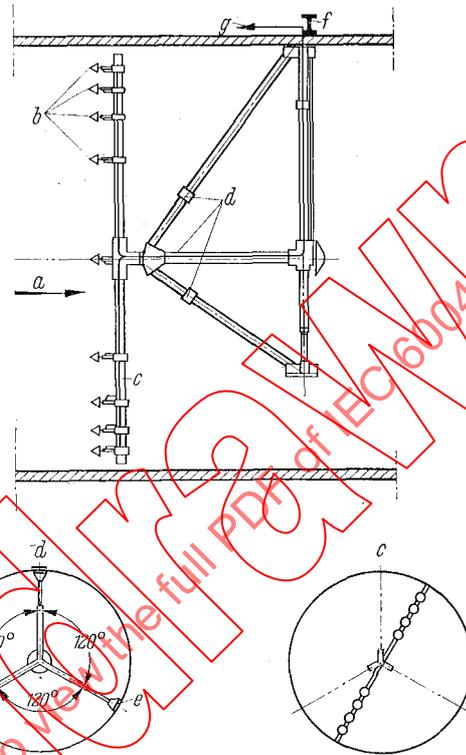


FIG. 35. — Jaugeage en conduite par moulinets. Dispositif de bras diamétral tournant.

- a) Sens du courant
- b) Moulinets
- c) Bras tournant
- d) Support tripode
- e) Semelle de fixation
- f) Commande du bras tournant
- g) Vers le chronographe

3.6 Exploitation des résultats

3.6.1 *Calcul des vitesses moyennes.* L'interprétation des mesures aux moulinets doit être faite graphiquement en reportant la vitesse mesurée en fonction de l'aire de la section de jaugeage et en déterminant au moyen d'un planimètre le débit correspondant au produit de la vitesse et de l'aire. Les résultats devraient être contrôlés arithmétiquement.

L'emploi de papier millimétré n'est pas recommandé à cause de l'imprécision et de l'irrégularité de l'impression. On tiendra compte du retrait du papier.

Le planimètre utilisé sera contrôlé avant, pendant et après les calculs. On se servira de préférence d'un planimètre linéaire, à galets et guidages. Les échelles seront choisies de telle sorte que le degré de précision de l'intégration graphique soit au moins aussi élevé que celui de la

Should local conditions not permit the use of one of the above mentioned methods, gauging can also be carried out, if the two parties agree, by means of a currentmeter mounted on a rod which can be moved both axially and swung from side to side over the whole gauging section to approximate two diameter traverses.

Another arrangement uses a rotating support with a number of currentmeters mounted on the arms (Figure 35).

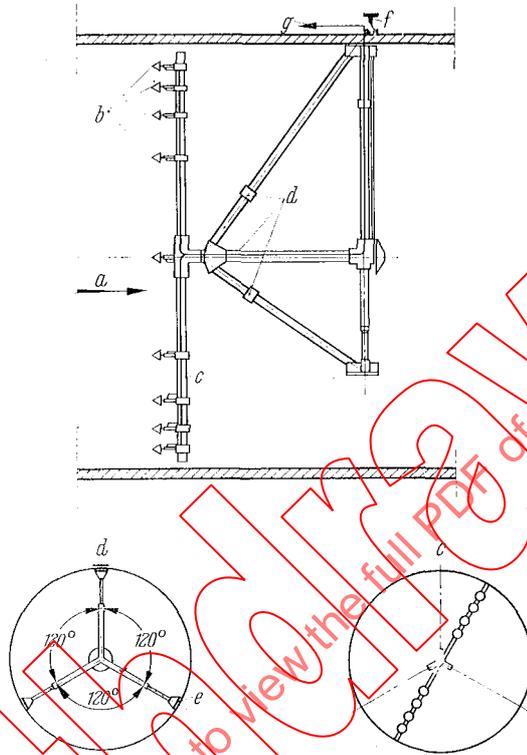


FIG. 35. — Measuring section of a conduit with currentmeters mounted on rotating arms.

- a) Direction of flow
- b) Currentmeters
- c) Rotating arm
- d) Tripod support
- e) Attachment at wall
- f) Driving gear of rotating arm
- g) To the recorder

3.6 Computation of results

3.6.1 *Calculation of mean velocities.* The evaluation of the currentmeter readings shall be done graphically by plotting the measured velocity against measurement section areas and with a planimeter determining the discharge as the product of velocity and area. The results should be checked arithmetically.

Graph or cross-section paper shall not be used on account of inaccuracy and irregularity of printing. Account must be taken of the shrinkage of the paper.

The planimeter used shall be checked before, during and after the computations. A linear planimeter, with rollers on rails, is preferred. The scales shall be so chosen that the accuracy of the graphical integration is at least equal to or better than that of the time, length, depth and

mesure des temps, longueurs, profondeurs et vitesses. L'expérience a démontré que les échelles les mieux appropriées sont celles qui donnent des diagrammes de forme à peu près carrée et d'environ 150 à 200 mm (6 in à 8 in) de côté.

3.6.2 Zone périphérique

a) *Mesures en canaux à surface libre ou ouvrages d'entrée de turbine.* Lorsque la turbulence de l'écoulement est suffisante, c'est-à-dire dans la plupart des cas, l'extrapolation de la courbe des vitesses, depuis le dernier point de mesure jusqu'au voisinage de la paroi de la section de jaugeage, s'effectuera conformément à la formule :

$$v_x = v_1 \left(\frac{a_x}{a} \right)^{\frac{1}{n}}$$

v_x et v_1 étant les vitesses dans la zone d'extrapolation, (à une distance a_x de la paroi) et au point de mesure le plus voisin de la paroi (distance a), et l'exposant $n = 7$ (n peut varier entre 5 et 10).

Si des relevés de vitesse, effectués point par point au moyen de tubes de Pitot ou d'autres dispositifs montrent un écart sensible par rapport à la loi correspondant à $n = 7$, l'exposant correspondant sera utilisé.

Le calcul peut être simplifié par l'emploi d'une méthode graphique selon les indications de la figure 36, ou par simple intégration. Dans ce dernier cas, la vitesse moyenne v_{xm} dans cette zone est donnée par la relation :

$$v_{xm} = \left(\frac{n}{n+1} \right) \cdot v_1$$

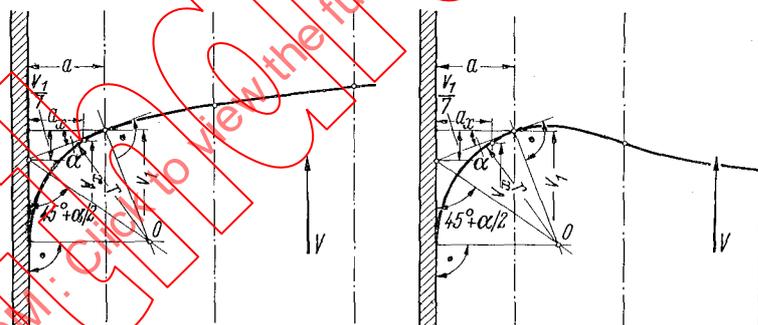


FIG. 36. — Méthode graphique pour déterminer la vitesse dans la zone périphérique de la section de mesure.

b) *Mesures en conduites forcées ou conduits fermés.* La répartition de vitesse dans les conduites ou dans les conduits fermés doit être déterminée selon le paragraphe VIII.3.6.1.

3.6.3 *Succession des intégrations pour les conduits fermés ou découverts de section trapézoïdale.* La première intégration se fera sur la ligne verticale ou horizontale le long de laquelle les vitesses auront été relevées. Par exemple, s'il s'agit d'un relevé selon la verticale, le débit se calculera en conséquence d'après la formule (fig. 37) :

$$Q = \int_0^B dB \int_0^T v dT$$

où B désigne la plus grande largeur de la section et T la profondeur de l'eau.

velocity measurements. Practical experience has shown that the most appropriate scales are those giving approximately square diagrams with sides about 150 to 200 mm (6 in to 8 in) long.

3.6.2 Peripheral zone

a) *Open canals or turbine intakes.* When turbulent flow is present, as in most cases, the extrapolation of the velocity curve from the last measuring point to the wall of the measuring section can be made using the formula:

$$v_x = v_1 \left(\frac{a_x}{a} \right)^{\frac{1}{n}}$$

where v_x and v_1 are the velocities in the extrapolation zone (at any distance a_x from the wall) and at the measuring point nearest to the wall (at the distance a) and exponent $n = (n$ may vary between 5 and 10).

If point by point velocity measurements by pitot tubes or other devices show substantial departures from the relation using exponent $n = 7$, then the corresponding exponent shall be used.

The computation can be simplified by graphical methods as shown in Figure 36 or by integration. In the latter case the mean velocity v_{xm} in this zone is given by the relation:

$$v_{xm} = \left(\frac{n}{n+1} \right) v_1$$



FIG. 36. — Graphical method of determining velocity at the periphery of the measuring section.

b) *Measurement in pipes and closed conduits.* The velocity distribution in pipes is to be determined as in VIII.3.6.1.

3.6.3 *Sequence of integrations for closed or open conduits with trapezoidal sections.* The first integration shall be carried out for the vertical or horizontal line along which the velocities have been measured. For instance, with a vertical line (Figure 37), the discharge is determined according to the formula:

$$Q = \int_0^B dB \int_0^T v dT$$

where B is the maximum width of the gauging section and T the water depth.

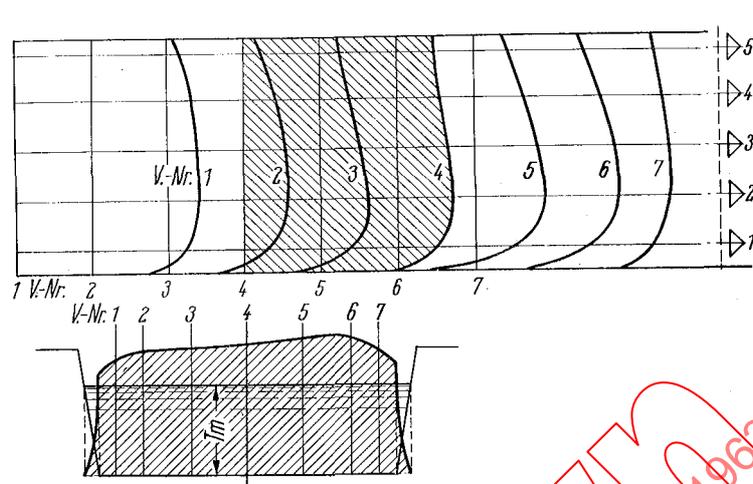


FIG. 37. — Exemple d'un jaugeage dans un canal de section légèrement trapézoïdale. Succession des intégrations graphiques.

3.6.4 *Conduits fermés de section circulaire.* Le calcul du débit doit être conduit graphiquement au moyen des deux méthodes suivantes, en portant en coordonnées (figure 38) :

- a) soit le produit rv en fonction de la distance r entre le point de mesure et le centre de la section,
- b) soit la vitesse v en fonction du carré r^2 de cette distance r .

Les différences éventuelles entre les deux débits calculés par ces deux méthodes graphiques ne doivent pas dépasser 1%. La valeur moyenne de ces deux débits sera considérée comme débit définitif.

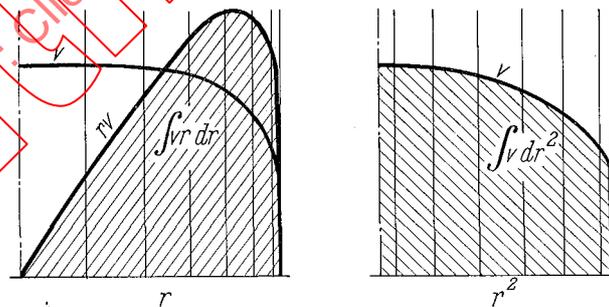


FIG. 38. — Exemple de jaugeage dans une conduite forcée de section circulaire. Méthodes d'intégration graphique.

3.6.5 *Jaugeage par intégration directe pour des ouvrages d'entrée.* L'utilisation de la méthode d'intégration directe dans laquelle les moulinets sont déplacés à vitesse constante dans la section de jaugeage présente certaines difficultés et conduit à des installations très coûteuses. De ce fait, elle ne présente d'avantage sur la méthode courante de « stationnement » que pour les installations de grandes dimensions réalisées pour des débits importants. Lorsqu'elle est utilisée, il est recommandé d'effectuer un nombre suffisant d'essais de comparaison avec la méthode de « stationnement ».

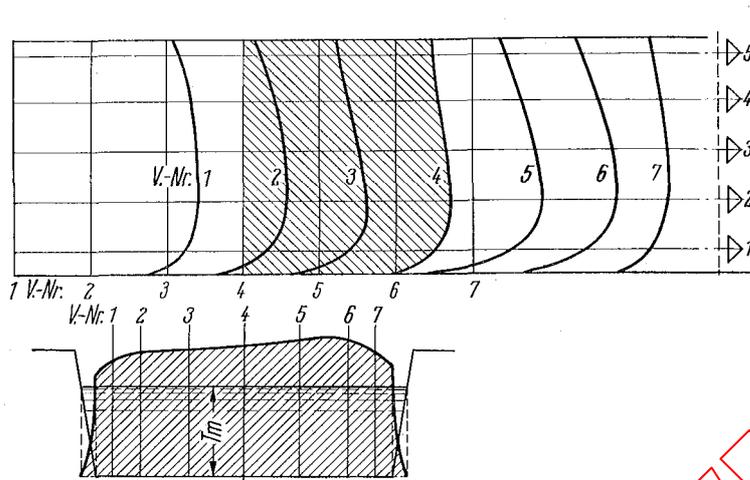


FIG. 37. — Example showing flow measurement in a slightly trapezoidal canal. Successive graphic integration.

3.6.4 *Closed conduits of circular cross-section.* Both graphical methods shown in Figure 38 shall be used for the calculation of discharge with co-ordinates:

- a) The product of rv as a function of the distance r between the point of measurement and the centre of the section;
- b) The velocity v as a function of the square r^2 of the distance r .

The difference between the two discharges computed by the two graphical methods should not exceed 1%. The mean value of both is considered as the final one.

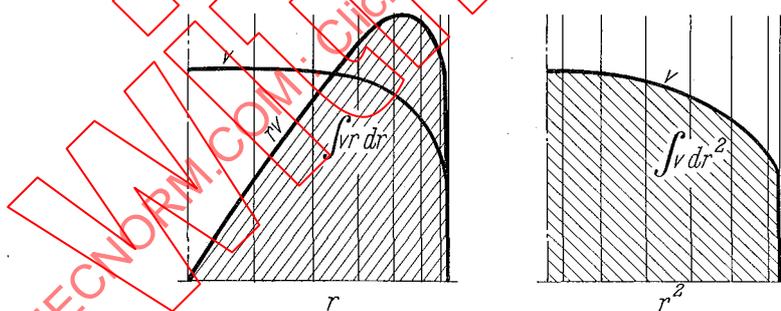


FIG. 38. — Example showing flow measurement in a circular closed conduit. Graphical integration methods.

3.6.5 *Direct integration method for intake sections.* The use of the direct integration method where currentmeters are moved with a constant speed over the whole gauging section leads to certain difficulties and calls for very costly equipment, so that, as compared with normal currentmeter measurement, the only advantage gained occurs when measuring very great water quantities in an extremely large gauging section. If the direct integration method is used, a sufficient number of measurements must be taken with a stationary frame to show a satisfactory agreement.

4. Méthode de dilution

- 4.1 Cette méthode convient aux grandes longueurs de conduites ou de canaux; elle consiste à introduire continuellement dans l'écoulement d'eau principal un débit constant connu d'une solution concentrée, définie, d'un produit chimique et à déterminer la concentration résultante en un point aval qui est suffisamment éloigné pour assurer la formation d'un mélange homogène. Le débit principal peut être calculé par l'expression suivante :

$$Q = q \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}$$

dans laquelle :

Q = débit à mesurer;

q = débit de la solution chimique injectée;

C_0 = concentration de la substance chimique dans l'eau naturelle;

C_1 = concentration de la substance chimique dans la solution injectée;

C_2 = concentration de la substance chimique dans le mélange final.

- 4.2 L'emplacement auquel on se propose d'introduire la solution dosée sera préalablement exploré pour contrôler qu'il n'y existe pas de courants de retour capables d'entraîner vers l'amont certaines quantités de substance chimique.
- 4.3 On peut utiliser pour préparer les solutions dosables les composés ci-après :

<i>Solution</i>	<i>Concentration finale recommandée</i>
Chlorure de sodium	2 mg/l
Bichromate de sodium	0,2 mg/l

- 4.4 Le produit chimique idéal devrait être chimiquement stable, non toxique et très rare dans les eaux naturelles. De plus, il devrait présenter la qualité de pouvoir être détecté aisément et mesuré à des concentrations de quelques 10^{-8} soit par titration soit par des essais de conductivité, ou encore par toute autre technique chimique bien éprouvée.
- 4.5 Le débit de solution injectée doit être uniforme, contrôlé et mesuré avec précision. Suivant le type d'installation, des appareils à débit constant tels que siphons, vases de Mariotte, pompes volumétriques, peuvent être utilisés. La solution du produit chimique sera parfaitement brassée pour assurer son homogénéité avant son introduction dans l'écoulement principal.
- 4.6 On devra prélever les échantillons en des points placés au centre d'égales fractions de la section de mesure. Les échantillons seront prélevés continuellement, au moins en cinq points et pendant un temps minimal de cinq minutes. Les échantillons doivent montrer qu'en chaque point la dilution est uniforme en fonction du temps et aussi sur toute la section de mesure.
- 4.7 On devra prélever régulièrement des échantillons :
- de l'eau naturelle au moins trois diamètres à l'amont du point d'injection;
 - du mélange d'eau naturelle et de solution concentrée, en aval du point d'injection. Dans ce cas, l'uniformité du mélange doit être vérifiée;
 - de la solution concentrée, seulement au début et à la fin de chaque injection.
- 4.8 Pour le calcul du débit, on recommande la méthode dite « des dilutions comparées ». Elle consiste à comparer les échantillons prélevés à des échantillons de la solution injectée dissous dans de l'eau prélevée en amont du point d'injection.

Cette méthode ne nécessitant pas la détermination du titre absolu des échantillons permet d'utiliser la méthode colorimétrique et d'éliminer ainsi des erreurs systématiques importantes.

4. Dilution

4.1 This method, suitable for long lengths of pipe and canal, consists of introducing continuously a known concentrated solution of chemical at a steady measured rate into the main water flow and determining the resulting concentration at a point far enough downstream to ensure thorough mixing. The main water flow can be computed from the following expression :

$$Q = q \cdot \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}$$

where: Q = rate of flow to be measured;

q = rate of flow of chemical solution injected;

C_0 = concentration of chemical in the natural water;

C_1 = concentration of chemical solution injected;

C_2 = concentration of chemical in the resulting mixture.

4.2 The section along which it is proposed to inject the dosing solution shall be previously explored to check that reverse currents do not exist, which may carry any proportion of the chemical upstream.

4.3 The dosing solution may consist of chemicals such as :

<i>Solution</i>	<i>Final concentration recommended</i>
Sodium chloride	2 mg/l
Sodium dichromate	0.2 mg/l

4.4 Ideally, chemicals should be chemically stable, non-toxic and not normally found in natural water. In addition, they should be such as to be easily detected and their concentrations measured to a few parts in 10^{-8} by titration, conductivity tests, or some other well proven chemical technique.

4.5 The rate of the injected solution shall be uniform and accurately controlled and measured. Depending on the type of installation, constant flow devices such as syphons, Mariotte vessel, metering pumps, may be used. The chemical solution shall be thoroughly stirred to secure homogeneity before it is injected into the main flow.

4.6 Samples shall be taken at points located on the centres of equal areas over the measuring section. Samples shall be taken continuously from not less than five points, for a minimum time of five minutes. The samples must show at each point uniformity of dilution with respect to time and also over the whole section.

4.7 Samples shall be taken regularly :

- of the water at least three diameters upstream of the injection point;
- of the mixture of natural water and solution downstream of the injection point. In this case the uniformity of the mixture must be verified;
- of the concentrated solution at the beginning and end of each injection.

4.8 For discharge calculations, it is recommended that the "compared dilutions method" should be used. This method consists in comparing samples taken from the flow with samples of the injected solution mixed with water taken out upstream of the injection point.

Since it is not necessary to measure the strength of solution, the colorimetric method of comparison may be used and thus large systematic errors avoided.

- 4.9 On établira pour chaque essai une courbe de la concentration trouvée à l'aval du point d'injection. Cette courbe portera les temps en abscisses et les débits en ordonnées. Elle devra montrer un palier correspondant à une période pendant laquelle le titre de la solution est constant. C'est ce titre ou degré de concentration qui doit être utilisé dans la formule précédente.

Comme il est impératif de contrôler l'uniformité du titre de la solution, un soin particulier sera apporté à cette partie de l'essai.

5. Déversoir

- 5.1 De manière à avoir la relation la mieux connue entre la charge et le débit, le déversoir sera du type « rectangulaire sans contraction latérale », à arête mince, avec une paroi verticale lisse sous la crête, une contraction complète sur la crête et une chute libre.

La crête sera de préférence faite d'un métal inoxydable d'une épaisseur d'environ 5 mm (0,2 in) avec une arête vive à angle droit du côté amont, une largeur effective de crête de 2 mm (0,08 in) et biseautée suivant un angle de 45° sur la face aval.

La ligne de crête sera de niveau, lisse et sans oxydation; sa hauteur s au-dessus du radier du canal d'approche ne sera pas inférieure à 2 fois le maximum de la hauteur d'eau à mesurer.

Une aération complète de la nappe déversante sera assurée. La ventilation doit être suffisante pour maintenir l'air sous la nappe approximativement à la pression atmosphérique. La section transversale des orifices de ventilation sera au moins égale à 0,5% du produit de la largeur du déversoir par la hauteur de crête au-dessus du niveau du canal de fuite (figure 39).

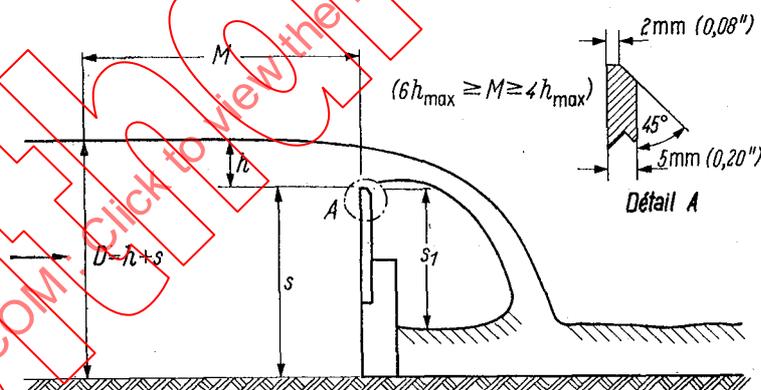


FIG. 39. — Dimensions d'un déversoir.

- s) Hauteur de la paroi
 h) Hauteur déversante

La surveillance des conditions relatives à la crête déversante et à la forme de la nappe sera assurée pendant les essais pour éviter les conditions défectueuses telles que : nappe adhérente, écoulement perturbé, turbulent ou pulsatoire.

Les parois latérales du canal doivent être lisses et parallèles et être prolongées à l'aval au-delà du déversement et au-dessus du niveau de la crête. Le déversoir sera implanté perpendiculairement à l'axe d'écoulement du canal et à son radier; sa paroi amont devra être absolument lisse et dépourvue de tout relief, même en ce qui concerne les boulons et têtes de rivets.

4.9 For each test, a concentration curve shall be made of the water downstream of the injection point. This curve shall have time plotted as the abscissa, and quantity flowing as ordinates. It should have a section of practically constant height corresponding to the period during which the strength of the solution is constant. It is this strength or degree of concentration that is used in the previous formula.

As it is imperative to verify the uniformity of strength of the solution, great care should be taken with this part of the test.

5. Weir

5.1 In order to have the best known head discharge relationship, the weir shall be rectangular without end contraction, sharp-crested, with a smooth vertical crest wall, complete crest contraction and free overflow.

The crest shall preferably be formed of rustproof metal about 5 mm (0.2 in) thick, with a sharp right-angled corner on the upstream edge, an actual crest width of 2 mm (0.08 in) and bevelled at an angle of 45° on the downstream face.

The crest edge shall be level, smooth and free from rust; its height s above the bottom of the approach canal shall be not less than twice the maximum head to be measured.

Complete aeration of the nappe shall be secured. The ventilation must be sufficient to keep the air underneath the nappe at approximately atmospheric pressure. The cross-sectional area of the ventilation holes must be at least 0.5% of the product of the width of the weir times by the height of the crest above the upstream canal floor (Figure 39).

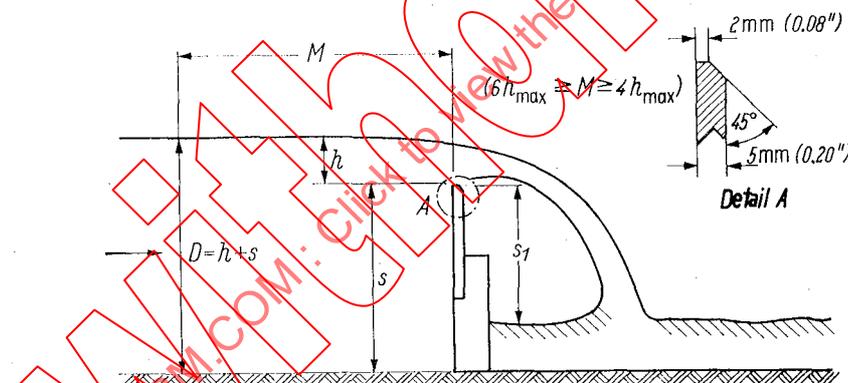


FIG. 39. — Weir dimensions.

s) Height of weir crest
 h) Overflow head

Observation of the crest conditions and form of nappe shall be made during the test to avoid unsuitable conditions such as adhering nappe, disturbed or turbulent flow, or surging.

The side walls of the canal shall be smooth and parallel and shall extend downstream beyond the afflux and above the level of the crest. The weir shall be set perpendicular to the canal walls and bottom, and its upstream face shall be absolutely smooth and free from projections of any kind, even bolt and rivet heads.

5.2 Conditions d'installation et emploi

Le déversoir est ordinairement disposé à l'aval de la turbine et l'on doit veiller à ce qu'un écoulement régulier (exempt de tourbillons, de perturbations superficielles, ou de la présence d'une quantité notable d'air entraînée) existe dans le canal d'approche.

S'il est avéré nécessaire de placer le déversoir dans le canal de fuite, on laissera entre la sortie de la turbine et le déversoir une distance suffisante pour que le dégagement des bulles d'air soit terminé avant que l'écoulement atteigne le déversoir. Des panneaux et écrans tranquillisateurs seront utilisés, si nécessaire, pour obtenir une distribution uniforme des vitesses dans toute la section transversale du canal. Une surface perturbée, des contre-courants noyés ou encore toute dissymétrie quelle qu'elle soit, doit être corrigée par des écrans appropriés.

Le canal d'approche doit être rectiligne, d'une section transversale uniforme et ne pas être encombré par des écrans et panneaux sur une longueur égale au moins à $20 \cdot h_{\max}$ à l'amont immédiat de la crête déversante et $5 \cdot h_{\max}$ du côté aval; sur toute cette longueur, la pente du radier sera très faible ($< 0,005$). Il pourra s'avérer commode de placer une vanne de dégrèvement, mais celle-ci ne devra pas troubler l'écoulement régulier de l'eau le long de la face amont du déversoir.

5.3 Mesure de la hauteur de lame déversante

La hauteur de la lame h sur la crête sera mesurée à l'amont à une distance comprise entre 4 et 6 fois la hauteur de lame maximale. Pour cette mesure, le nombre de points de mesure, uniformément espacés en travers du canal, sera le suivant :

	<i>Largeur de crête « b »</i>	<i>Nombre de points de mesure</i>
Si	$b < 2 \text{ m (6,5 ft)}$	2
	$2 \text{ m} < b < 6 \text{ m (20 ft)}$	3
	$b > 6 \text{ m}$	4 au moins.

Avant et après une série de points de mesure, le zéro sera contrôlé avec précision. Les mesures de la hauteur de lame de chaque côté du canal d'approche ne doivent pas différer de plus de 0,5%. Pour calculer le débit moyen, on devra utiliser la moyenne arithmétique de toutes les mesures de hauteur.

Ces mesures pourront, en particulier, être effectuées par limnimètres à pointe retournée, soit directement, soit placés dans des puits de mesure disposés sur le côté du canal d'amenée et communiquant avec le canal au moyen de tubulures se terminant par de petits orifices de 3 à 5 mm (0,12 in - 0,20 in) de diamètre. Plusieurs lectures seront faites à des intervalles de temps réguliers pour vérifier que les conditions d'écoulement stable ont été atteintes.

5.4 Limites d'utilisation

Il est préférable d'ajuster les dimensions du déversoir de telle façon que, pour la pleine charge de la turbine, les limites suivantes soient respectées :

Largeur du déversoir	$b > 0,25 \text{ m (0,8 ft)}$
Hauteur de la crête du déversoir	$s > 0,30 \text{ m (1,0 ft)}$
Hauteur déversante	$h < 0,75 \text{ m (2,5 ft)}$
Vitesse d'approche	$< 0,45 \text{ m/s (1,5 ft/s)}$

Dans ces conditions, les mesures au déversoir seront faites dans la bande couverte par les expériences ayant servi à établir les formules des déversoirs.

5.2 Conditions of installation and use

The weir is commonly located on the tailrace side of the turbine, and care shall be taken to ensure that smooth flow (free from eddies, surface disturbances or the presence of considerable amounts of entrained air) exists in the approach canal.

If it is necessary to locate the weir in the tailrace, it shall be far enough from the turbine outlet to enable the water to release its air bubbles before reaching the weir. Stilling screens and baffles should be used when necessary to give a uniform velocity distribution over the whole of the cross-section. Disturbed surface or undercurrents, or asymmetry of any kind, must be corrected by suitable screens.

The approach canal shall be straight, of uniform cross-section, and unobstructed by screens and baffles for a length upstream from the crest of at least $20.h_{\max}$ and downstream for $5.h_{\max}$. Along this length the bottom slope must be very small (< 0.005). A desilting sluice can be installed if required, but it shall not disturb the regular flow of water along the upstream face of the weir.

5.3 Measurement of head

The head h above the crest shall be measured upstream of the weir at a distance not less than 4 nor more than 6 times the maximum head. For measuring h the number of measuring points uniformly spaced across the weir canal shall be as follows:

	<i>Length of crest " b "</i>	<i>Number of measuring points</i>
For	$b < 2 \text{ m (6.5 ft)}$	2
	$2 \text{ m} < b < 6 \text{ m (20 ft)}$	3
	$b > 6 \text{ m}$	4 at least.

Before and after a series of point measurements, the zero height shall be accurately checked. Measurements of the head at each side of the approach canal shall not differ more than 0.5%. For calculating the mean flow, the arithmetic mean of all the head measurements shall be used.

For head measurements it may be convenient to use hook gauges, either directly or placed in stilling boxes at the side of the approach canal, communicating through special pressure connections terminating in orifices 3 to 5 mm (0.12 in - 0.20 in) in diameter. Several readings at regular time intervals shall be taken to check that steady flow conditions have been reached.

5.4 Limits

The dimensions of the weir shall preferably be arranged so that, for full load on the turbine, the following limits apply:

Width of weir	$b > 0.25 \text{ m (0.8 ft)}$
Height of weir to crest	$s > 0.30 \text{ m (1.0 ft)}$
Head	$h < 0.75 \text{ m (2.5 ft)}$
Velocity of approach	$< 0.45 \text{ m/s (1.5 ft/s)}$

Under these conditions, measurements by weir will be within the range covered by the experiments upon which the weir formulae are based.

5.5 Formules de débit

La formule générale pour le calcul du débit d'un déversoir est la formule de Poleni.

$$Q = 2/3 \cdot \eta \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

avec: Q = débit en m³/s (ft³/s);
 η = coefficient;
 b = longueur de la crête du déversoir en mètres (pieds);
 h = hauteur mesurée sur la crête en mètres (pieds).

Parmi les nombreuses formules qui ont été proposées pour exprimer le plus exactement possible la relation « hauteur-débit » à partir des résultats d'expérience, les formules suivantes paraissent être les plus conseillées.

Formule de Bazin (1898):

$$Q = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \cdot \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right] \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

avec: s = hauteur de la crête du déversoir au-dessus du radier du canal d'amenée.

Limites d'application: (0,3 ft) 0,1 m < h < 0,6 m (2,0 ft)

(0,65 ft) 0,2 m < s < 2,0 m (6,5 ft)

Longueur du bief entre les écrans et le déversoir: $\geq 80 \cdot b$.

Formule de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes (1924):

$$Q = 0,410 \left(1 + \frac{1}{1000 \cdot h + 1,6}\right) \cdot \left[1 + 0,5 \left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right] \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

Limites d'application: 0,025 m < h < 0,80 m

s > 0,30 m

h/s < 1

Formule de Rehbock (1929):

$$Q = (0,4023 + 0,0542 h_e/s) b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_e^{3/2}$$

avec: $h_e = h + 0,0011$ m ($h + 0,0036$ ft)

Limites d'application: 0,1 m < h < 0,8 m

s > 0,3 m

h/s < 1

Il doit être noté qu'un écoulement irrégulier dans le canal d'amenée, aussi bien qu'une crête arrondie, ou une face amont du déversoir rugueuse, ou encore une aération imparfaite sous la nappe déversante, peut altérer sensiblement la relation hauteur-débit.

6. Méthodes de mesures absolues par pesée et jaugeage volumétrique

6.1 Les méthodes de mesures d'un débit par pesée ou par réservoirs jaugés, de préférence calibrés par pesées, sont parmi les plus précises, mais ne conviennent généralement que pour des débits relativement faibles, à cause des dimensions du réservoir nécessaire. Elles sont donc particulièrement adaptées aux essais de laboratoire et pour les petites installations, mais ne peuvent être utilisées que rarement pour les grandes turbines.

5.5 Discharge formulae

The general formula for calculating the discharge of a weir is the Poleni Formula :

$$Q = 2/3 \cdot \eta \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

where: Q = rate of flow m³/s (ft³/s);
 η = coefficient;
 b = length of weir crest in metres (feet);
 h = observed head above crest in metres (feet).

Among many formulae which have been proposed to express more exactly from experimental results the head-discharge relation, the following formulae appear to be the best recommended.

Bazin formula (1898):

$$Q = \left(0.405 + \frac{0.003}{h} \right) \cdot \left[1 + 0.55 \left(\frac{h}{h+s} \right)^2 \right] \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

where: s = height of weir crest above bottom of canal of approach (in the above formula the term $\frac{0.003}{h}$ becomes $\frac{0.0098}{h}$ in the foot-pound system of units).

Limits of applications: $0.3 \text{ ft} \ 0.1 \text{ m} < h < 0.6 \text{ m} \ (2.0 \text{ ft})$
 $(0.65 \text{ ft}) \ 0.2 \text{ m} < s < 2.0 \text{ m} \ (6.5 \text{ ft})$

Length between the screens and the weir: $\geq 80 \cdot b$.

Swiss Society of Engineers' and Architects' formula (1924):

$$Q = 0.410 \left(1 + \frac{1}{1000 \cdot h + 1.6} \right) \cdot \left[1 + 0.5 \left(\frac{h}{h+s} \right)^2 \right] \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

Limits of applications: $0.025 \text{ m} < h < 0.80 \text{ m}$
 $s > 0.30 \text{ m}$
 $h/s < 1$

(In the above formula the term $\frac{1}{1000 \cdot h + 1.6}$ becomes $\frac{3.28}{1000 \cdot h + 5.25}$ in the foot-pound system of units.)

Rehbock formula (1929):

$$Q = (0.4023 + 0.0542 h_e/s) b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_e^{3/2}$$

where: $h_e = h + 0.0011 \text{ m} \ (h + 0.0036 \text{ ft})$.

Limits of applications: $0.1 \text{ m} < h < 0.8 \text{ m}$
 $s > 0.3 \text{ m}$
 $h/s < 1$

It must be noted that irregular flow in the approach canal, as well as a rounded crest, or a rough upstream face of the weir, or unsatisfactory aeration of the underside of the nappe, may alter sensibly the head-discharge relation.

6. Absolute measurement by weight and volumetric gauging methods

6.1 Flow measurement by weighing and by volumetric tank, preferably calibrated by weighing, are among the most accurate methods, but generally are only convenient for relatively small rates of flow, because of the size of collecting tank required. They are thus particularly suitable for tests in the laboratory and on small installations but can seldom be used on large turbines.

- 6.2 La mesure d'un débit d'eau par l'opération consistant à recueillir l'eau dans un réservoir pendant un temps bien déterminé, et à peser, est une méthode d'une précision à caractère absolu. Avec des procédés bien adaptés pour diriger l'eau tantôt à l'intérieur, tantôt à l'extérieur du réservoir, en effectuant une pesée et une mesure de temps, une haute précision peut être obtenue.
- 6.3 La méthode volumétrique est, quant à la précision, la plus voisine de la méthode de pesée, pourvu que la capacité du réservoir puisse être déterminée avec précision. Pour les petits réservoirs, le meilleur procédé de calibrage consiste dans leur remplissage par des quantités d'eau pesées avec précision. Pour les grands réservoirs, il vaut mieux utiliser les mesures géométriques. Dans tous les cas, les parois du réservoir doivent être rigides afin que le volume soit valablement déterminé pour chaque niveau d'eau. Les niveaux sont déterminés par des tubes piézométriques (20 mm [0,80 in] de diamètre) des limnimètres à pointe retournée, des flotteurs ou des règles graduées. Dans les grands réservoirs, les niveaux doivent être mesurés simultanément en plusieurs points.
- 6.4 On devra prendre un soin particulier à contrôler les facteurs suivants :
- Déformation des parois du réservoir (pour les petits réservoirs);
 - Pluie, évaporation, vent, fuites, infiltrations (pour les grands réservoirs).

7. Ecran mobile

- 7.1 Sauf certains cas exceptionnels, la mesure du débit au moyen de l'écran mobile est seulement utilisée pour les essais de laboratoire, car la méthode nécessite un appareillage relativement étendu en longueur et coûteux. Pour appliquer cette méthode de mesure, on utilise un long canal à surface libre et à profil en travers rectangulaire uniforme où passe le débit à mesurer, et, par ailleurs, un écran vertical léger, mobile, présentant à ses bords un minimum de frottement et de fuites dont on mesure la vitesse de déplacement. Le mérite de cette méthode réside dans sa simplicité et sa précision, mais elle n'est utilisable que pour les faibles débits.
- 7.2 Cette méthode est analogue à une méthode volumétrique, car le débit peut être calculé ainsi :

$$Q = \frac{L \cdot A}{t}$$

avec : Q = débit en m^3/s (ft^3/s);

L = longueur du trajet entre 2 sections repères en m (ft);

A = aire de la section mouillée en m^2 (ft^2);

t = temps de parcours mesuré le long du trajet mentionné ci-dessus en secondes.

- 7.3 Le canal doit être à écoulement libre et d'une longueur suffisante pour assurer des conditions d'écoulement uniforme. Les parois mouillées et le radier doivent être parfaitement rectilignes et unis, et le radier doit être exempt de sable ou graviers. La longueur de parcours doit être visiblement repérée, afin de pouvoir être contrôlée. Sur toute cette longueur, plus deux mètres de part et d'autre, la section transversale ne doit pas varier de plus de 0,5%. Des emplacements seront aménagés en trois points le long de ce parcours pour faciliter la mesure de la profondeur d'eau. Un dispositif de tranquillisation sera utilisé afin d'obtenir un plan d'eau lisse exempt de vagues et de rides. Une vanne de contrôle, de préférence du type automatique, servira à maintenir le niveau constant pendant toute la durée de l'essai.
- 7.4 L'écran mobile doit occuper tout le plan transversal du canal avec un jeu entre le radier, les bajoyers et les arêtes de l'écran ne dépassant pas 5 mm (0,20 in). Il sera réalisé en un matériau rigide de roulement adapté. L'écran ou son chariot sera équipé d'un système de mesure du temps efficace et digne de confiance. L'arête supérieure de l'écran ne dépassera pas trop la surface libre de manière à éviter l'influence du vent. Pour aider l'écran à atteindre rapidement la vitesse de l'eau, il n'y a pas d'objection à ce qu'on lui donne une accélération initiale pour contrebalancer la résistance initiale de l'écoulement.

- 6.2 The measurement of water flow by collecting in a tank for a measured time and weighing is an accurate absolute method. With suitable methods of diverting the water into and out of the tank, weighing, and time measurement, high accuracy can be obtained.
- 6.3 The volumetric method is the next most accurate to weighing, provided the capacity of the tank can be determined accurately. Small tanks are best calibrated by filling with accurately weighed amounts of water. Larger tanks and reservoirs must be calibrated from geometrical measurements. In all cases the walls of the container must be rigid so that the volume is reliably determined for each water level. Levels are measured by piezometer tubes (bore 20 mm [0.80 in]), hook gauges, floats or measuring rods. In large reservoirs, water levels must be measured at several points simultaneously.
- 6.4 The following factors must be carefully guarded against:
- Deformation of the walls of the tank (for small tanks);
 - Rain, evaporation, wind, leakage or inflow (for large reservoirs).

7. Travelling screen method

7.1 Apart from exceptional cases, flow measurement by means of a travelling screen is only used in test laboratories, as the method requires relatively lengthy and expensive apparatus. The method consists of an accurate flow measuring device in which a long, open canal of uniform rectangular cross-section is used to carry the flow and a light-weight vertical travelling screen with minimum friction and leakage is used to measure its speed. Its merits are its simplicity and precision, but it is only convenient for small flows.

7.2 The method is analogous to the volumetric method in that the discharge is computed as follows:

$$Q = \frac{L \cdot A}{t}$$

- where: Q = discharge in m^3/s (ft^3/s);
 L = length of test track in metres (feet) between the marked sections;
 A = water cross-section area of canal in square metres (ft^2);
 t = measured time for screen to travel along the test length in seconds.

7.3 The flow canal shall be open and of sufficient length to secure a uniform flow of water. The wetted walls and floor shall be perfectly straight and level respectively and the floor shall be maintained free from sand and silt. The test length shall be visibly marked so that it can be checked. The cross-section shall not vary in the test length, nor in the adjoining 2 m (6.5 ft) at each end by more than 0.5%. Suitable pockets shall be provided at three points along the test length to provide facilities for measuring the depth of water. A stilling device shall be used to secure a smooth water surface free from waves or ripples. An effective control-gate, preferably automatic, should be used to maintain the level of flow constant during a test.

7.4 The travelling screen shall fit the cross-sectional plane of the canal with a clearance between floor, walls and screen edges of not more than 5 mm (0.20 in). It shall be made of rigid light-weight material and suitably supported on a wheeled carriage running on a suitable track. The screen or its carriage shall be fitted with an effective and reliable timing device. To avoid windage the top edge of the travelling screen should never project too much above the smooth water surface. To enable the screen to acquire the speed of the water quickly, there is no objection to providing an initial acceleration to counteract the initial resistance of the flowing water.

- 7.5 Le chemin de roulement principal sera établi et entretenu de telle sorte que l'écran suspendu soit libre de se déplacer transversalement avec une amplitude maximale de 2 mm (0,08 in) dans toutes les directions par rapport à sa position de référence pendant son déplacement.

Un chemin de roulement auxiliaire pourra être placé à l'extrémité amont du canal de mesure pour retenir, détacher, puis introduire l'écran suspendu à son chariot dans le canal de mesure sans formation de rides de surface. Un chemin auxiliaire analogue pourra faciliter la sortie de l'écran et son maintien en position d'arrêt.

7.6 Normes d'utilisation générale

- 7.6.1 *Mesures du débit.* L'écran sera supporté par un engin équipé de 3 ou 4 roues particulièrement légères, d'un diamètre de 600 mm (24 in) environ et montées sur roulements à billes. L'écran doit pouvoir se déplacer très facilement sans aucune tendance à aller plus vite ou moins vite que la vitesse de l'eau. La différence de niveau d'eau entre le niveau amont et le niveau aval de l'écran ne doit pas dépasser 0,2 mm (0,08 in). La vitesse maximale pourra être de l'ordre de 1 m/s. Le plan d'eau doit rester constant pendant toute la durée de l'essai; il sera contrôlé avant et après l'essai.

La longueur du canal d'essai doit être au moins de 15 m (50 ft).

La longueur du bief de mesure sera au moins de 8 m (26 ft).

La largeur du canal peut être comprise entre 1 et 3 m (3 et 10 ft).

La profondeur du canal peut être comprise entre 1 et 3 m (3 et 10 ft).

- 7.6.2 *Mesure de la vitesse.* Des dispositifs de comptage électrique du temps ou des chronographes sont souhaitables et ils seront préalablement étalonnés. Il y aura au moins 3 contacts électriques disposés à des intervalles égaux le long du bief de mesure.

8. Tubes de Pitot

- 8.1 La méthode consiste à déterminer, au moyen de tubes de Pitot, la vitesse en un nombre de points suffisants dans une section de mesure pour pouvoir calculer le débit par intégration. Le principe de la méthode est similaire à celui qui est utilisé pour les moulinets, mais la gamme d'utilisation est limitée par le fait que l'indication d'un tube de Pitot varie comme le carré de la vitesse. Il est absolument nécessaire d'étalonner le tube de Pitot. La méthode est utilisable pour les conduits à écoulement en charge, mais n'est pas recommandée pour les canaux et les écoulements à surface libre.
- 8.2 Pour mesurer le débit dans un conduit fermé, on placera la section de mesure dans un alignement droit à une distance qui ne soit pas inférieure à dix diamètres comptés à partir d'un coude amont, d'une dérivation, vanne, ou toute perturbation dans l'uniformité de l'écoulement.
- 8.3 Le tube de Pitot doit être fixé rigidement à une tige mobile et dirigé constamment vers l'amont perpendiculairement au plan de la section.
- 8.4 Pour les tubes de Pitot du type « prise dynamique simple », la pression statique sera déterminée au moyen de prises de pression de paroi qui seront très soigneusement arasées avec la surface intérieure de la paroi de la conduite et non influencées par les supports des tubes (voir IX.3.3).
- 8.5 Deux ou plutôt quatre prises de pression statique seront installées symétriquement tout autour de la section de mesure dans le même plan transversal que celui contenant les orifices des tubes de Pitot. Chaque prise de pression doit être branchée à un manomètre séparé. La pression statique dans la section de mesure sera prise égale à la moyenne de toutes les lectures piézométriques, qui seront faites simultanément.

7.5 The main track shall be so made and maintained that the suspended screen is free to move transversely with a maximum variation of 2 mm (0.08 in) in any direction from its true position throughout its travel.

An auxiliary track should be fitted at the upstream end to retain, detach and introduce the screen suspended on its carriage to the test canal without the formation of surface waves. A similar auxiliary track would facilitate the screen's exit and retention.

7.6 *Desirable features*

7.6.1 *Measurement of flow.* The screen should be carried on a three or four wheeled frame equipped with ball-bearing light-weight wheels of about 600 mm (24 in) diameter. The screen must travel easily and there must be no tendency either to over-run or under-run the speed of the water. The maximum difference in level between the water on opposite sides of the screen should not exceed 0.2 mm (0.08 in). The maximum speed should be about 1 m/s. The water surface should remain constant during the test flow, and this shall be verified before and after.

The length of the test canal should be at least 15 m (50 ft).

The test length should be at least 8 m (26 ft).

The width may range from 1 to 3 m (3 to 10 ft).

The depth may range from 1 to 3 m (3 to 10 ft).

7.6.2 *Measurement of speed.* Electrical timing devices or chronographs are desirable and they shall be checked by calibration. Three or more timing contacts should be fitted at equal intervals in the test length.

8. **Pitot tubes**

8.1 The method consists of determining the velocity by means of Pitot tubes at a sufficient number of points over a measuring section to determine by integration the rate of flow. It is similar in principle to the currentmeter method, but more limited in the flow range covered because the reading of a Pitot tube varies with the square of the water velocity. It is essential to calibrate the Pitot tube. The method is suitable for closed conduits running full, but is not recommended for canals and free surface flows.

8.2 To measure the rate of flow of water in a closed conduit, the measuring section shall be located in a straight length at a distance not less than ten pipe diameters from any upstream bend, elbow, branch-pipe, valve or other disturbance to uniform flow.

8.3 The Pitot tube shall be rigidly fastened to a movable rod and shall at all times point upstream normal to the plane of the section.

8.4 For Pitot tubes consisting only of a single opening impact tube, the static pressure shall be obtained by pressure tappings, installed flush with the interior wall of the conduit, and so located as to be unaffected by the supports (see IX.3.3).

8.5 Two or preferably four static pressure tappings shall be installed symmetrically around the measuring section on the same transverse plane as the Pitot orifices. Each pressure tapping shall be connected to a separate manometer. The static pressure head at the measuring section shall be taken as the mean of all pressure tapping readings which shall be made simultaneously.

- 8.6 On disposera au moins de deux tubes de Pitot pour effectuer les traversées en deux diamètres, au moins, de la conduite. Les origines et extrémités des diamètres de mesures seront espacées régulièrement autour de la conduite. Deux traversées complètes seront effectuées pour chaque essai individuel.
- 8.7 La hauteur dynamique h_v pour chaque point de la traversée sera obtenue en retranchant de la lecture relative au tube de Pitot pour ce point, la hauteur statique moyenne déterminée comme ci-dessus. La vitesse v en chaque point de la traversée sera calculée par la formule :

$$v_i = C \cdot \sqrt{2g \cdot h_{v_i}}$$

avec : v_i = vitesse au point i ;

h_{v_i} = hauteur différentielle au point i déterminée comme ci-dessus ;

C = coefficient d'un tube de Pitot du type à « prise dynamique simple » combiné avec des prises statiques et pour autant que l'écoulement ne soit pas très turbulent. Il est généralement voisin de $C = 1$.

- 8.8 Les méthodes d'exploration du champ de vitesses et les méthodes de calcul par intégration sont analogues pour les moulinets et les tubes de Pitot.

8.9 Instruments du type Pitomètre.

A la place du type à « prise dynamique simple », le tube de Pitot peut compter un tube coaxial ou juxtaposé comportant des prises de pression statique pour mesurer localement la pression statique. Les deux tubes sont connectés de part et d'autre d'un manomètre différentiel.

Dans une autre réalisation, le second tube peut avoir, à la place de prise statique, un orifice de sillage dirigé vers l'aval pour créer une certaine succion, qui est intéressante par le fait qu'elle accroît h_v . De telles variétés de tubes portent les dénominations de tubes de : Darcy, Frank, Prandtl, Cole... Leurs coefficients doivent être déterminés soigneusement par un tarage dont l'étendue couvrira toute la gamme des vitesses pour lesquelles ils seront utilisés.

9. Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi

- 9.1 La méthode de mesure du débit par diaphragme, par tuyère ou par tubes de Venturi fait l'objet de recommandations rédigées par l'Organisation Internationale de Normalisation. Chaque fois qu'il sera possible de respecter ces recommandations, il sera inutile de procéder au tarage de ces appareils et on adoptera les coefficients indiqués par l'ISO si la précision à laquelle ils conduisent peut être considérée comme satisfaisante.

- 9.2 Si les conditions d'utilisation de ces appareils, entre autres en ce qui concerne leur installation, ne permettent pas de respecter toutes les recommandations de l'ISO, ces appareils devront être étalonnés sur place dans leurs conditions d'utilisation.

- 9.3 Le débit est donné par la relation :

$$Q = \alpha m A \cdot \sqrt{2gh}$$

avec : Q = débit m^3/s (ft^3/s) ;

A = section de la conduite m^2 (ft^2) ;

m = rapport à A de la section la plus rétrécie de l'appareil ;

h = pression différentielle exprimée en hauteur d'eau m (ft) ;

α = coefficient de débit, dépendant du type d'appareil, du rapport des aires m , du nombre de Reynolds et des dimensions absolues.

8.6 At least two Pitot tubes shall be arranged to traverse at least two diameters of the penstock. The diameters at which traverses are made shall be equally spaced around the penstock. Two complete traverses shall be made along each diameter for each test run.

8.7 The velocity head h_v for each point of the traverse shall be obtained by subtracting from the Pitot tube reading for that point the average static pressure head as determined above. The velocity v at each point of the traverse shall be computed by the formula :

$$v_i = C \cdot \sqrt{2g \cdot h_{v_i}}$$

where: v_i = the velocity at the point i ;

h_{v_i} = the differential pressure head at point i as determined above ;

C = coefficient of a Pitot tube of the single-opening impact type combined with pressure tappings, so long as flow is not very turbulent, is generally near $C = 1$.

8.8 Traversing and integrating methods are similar for Pitot tubes and currentmeters.

8.9 *Pitometer-type instruments.*

Instead of the single-opening impact type, the Pitot tube may be provided with an attached or coaxial tube containing tappings for measuring static pressure head locally. Pitot and static tubes are connected to a differential manometer.

Alternatively, the second tube may have, instead of a static orifice, a trailing orifice pointing downstream to create a certain suction, which assists in increasing h_v . Such varieties of Pitot tube include Darcy, Frank, Prandtl, Cole pitometers. Their coefficients must be carefully established by calibration over the range of velocities covered.

9. Orifices, nozzles and Venturimeters

9.1 The method of flow measurement by orifice, nozzle or by Venturimeter is the subject of recommendations by the International Organization for Standardization. Whenever it is possible to satisfy these recommendations it is unnecessary to calibrate the apparatus as the coefficients indicated in the ISO recommendations may be used provided their resulting accuracy is considered sufficient.

9.2 If the conditions of use of such apparatus, particularly installation conditions, make it impossible to satisfy all the ISO requirements the apparatus shall be calibrated on site under conditions of use.

9.3 The flow is given by the equation :

$$Q = \alpha m A \cdot \sqrt{2gh}$$

where: Q = rate of flow m^3/s (ft^3/s);

A = cross-sectional area of the conduit in square metres (ft^2);

m = ratio of throat/main area ;

h = differential pressure expressed in metres (feet) of water column;

α = discharge coefficient depending upon the type of apparatus, area ratio m , the Reynolds Number and the absolute dimensions.

CHAPITRE IX — HAUTEUR DE CHUTE

1. Remarques générales

1.1 Repères de niveau principaux et repères de niveau auxiliaires, niveau de référence

Dans toute installation hydraulique, un point fixe principal, ou repère de niveau principal, doit être prévu; sa cote doit être déterminée avec exactitude, de préférence par rapport à un système de nivellement général (niveau moyen de la mer). Ce repère principal doit être signalé clairement de manière à éviter toute possibilité d'erreur.

Les repères de niveau auxiliaires pour la mesure de la cote des plans d'eau libres et les points de référence pour les manomètres doivent être repérés avec exactitude par rapport au repère principal avant le commencement des essais de réception.

1.2 Conditions de régime stable et nombre de lectures

Les lectures nécessaires pour déterminer la hauteur de chute de la turbine ne seront effectuées que lorsque le régime stable sera bien établi. La hauteur de chute doit être maintenue aussi constante que possible au cours des mesures. Les lectures doivent être effectuées à intervalles réguliers, avec au minimum 5 lectures pour chaque point de charge; le nombre de lectures et les intervalles entre les lectures dépendent de la fréquence et de l'amplitude des variations (voir IV.2.2).

2. Plans d'eau libres

2.1 Choix des sections de mesure

Pour le choix des sections de mesure dans lesquelles un niveau d'eau libre doit être mesuré, il doit être tenu compte des considérations suivantes :

- a) l'écoulement doit être stable et il ne doit pas se produire de perturbations locales;
- b) la surface de la section transversale utilisée pour déterminer la vitesse moyenne de l'eau doit être définie avec précision et aisément mesurable.

Le niveau amont dans les installations comportant des canaux d'amenée à écoulement libre doit être mesuré en aval de la grille d'entrée de la turbine. Le niveau aval sera, en principe, mesuré dans la section de sortie de l'aspirateur. Si ceci n'est pas possible, on peut utiliser soit une section dans l'aspirateur immédiatement en amont de la sortie, soit une section à l'air libre dans le canal de fuite au voisinage immédiat de l'aspirateur. Dans le cas de turbines devant fonctionner sans tube d'aspiration, la section de sortie de la turbine devra être spécifiée d'un commun accord au moment de l'achat du matériel (voir II.2.2.2).

La mesure d'un niveau libre doit être effectuée en au moins deux points de la section de mesure et l'on calculera la moyenne des lectures pour obtenir le niveau réel.

2.2 Puits de mesure et chambre d'amortissement

Si la surface libre de l'eau n'est accessible ni à l'entrée ni à la sortie de la turbine, il conviendra au moment où l'on établira les plans de l'installation, de prévoir des puits de mesure carrés d'environ 300 mm (1 ft) de côté qui permettront d'effectuer des mesures correctes et précises. Les tubes ou canaux de liaison devront être perpendiculaires à la paroi de la section de mesure et seront de préférence munis de plaques perforées lisses (orifices de 3,5 mm [$\approx 1/8$ in] de diamètre). De telles

CHAPTER IX — HEAD

1. References

1.1 *Main fixed points, derived fixed points, reference points*

In each water power installation, a main fixed point or bench mark should be provided, the level of which must be accurately determined, preferably in relation to some established survey system (mean sea level). This main fixed point must be clearly marked to avoid any possibility of error.

The levels of the derived fixed points for free water levels and the reference points for pressure gauges must be accurately determined in relation to the main fixed point prior to the start of the acceptance test.

1.2 *Steady conditions and number of readings*

Readings required to determine the turbine head shall be taken only after steady conditions prevail. The head during tests must be maintained as constant as possible. Readings must be taken at uniform intervals at a minimum of 5 readings for each load point; the number of readings and intervals between readings depend on the magnitude and the frequency of the variations (see IV.2.2).

2. Free water level

2.1 *Choice of measuring sections*

For the choice of measuring sections in which a free water level must be determined, the following points must be considered:

- a) the flow should be steady, and there should be no local disturbances;
- b) the cross-sectional area used to determine the mean water velocity must be accurately defined and readily measurable.

The headwater level in installations comprising open canals or intakes must be determined downstream of the turbine trash rack. The tailwater level should be determined in the section of the draft tube outlet. If this is not possible, either a closed draft tube section immediately upstream from the end of the draft tube or an open section in the tailrace in the immediate vicinity of the draft tube outlet may be used. In the case of turbines operated without a characteristic draft tube, the turbine outlet section must be agreed upon when the equipment is purchased (see II.2.2.2).

Measurement of free water level must be obtained for at least two points of the measuring section and the readings averaged to obtain the true level.

2.2 *Measuring wells and stilling boxes*

If the free water surface is not accessible either at the turbine inlet or at the turbine outlet, measuring wells about 300 mm (1 ft) square, which permit accurate and convenient measurements, must be provided for at the planning stage. The connection canals or tubes must be constructed at right angles to the well of the measuring section and should preferably be covered with smooth perforated plates (perforations of 3.5 mm [\approx 1/8 in] diameter). Such cover plates must be flush

plaques doivent affleurer la paroi de la section de mesure, afin d'éliminer tout effet de vitesse (figure 40). Il est recommandé de prévoir au moins deux puits de mesure dans chaque section de mesure, un de chaque côté du canal.

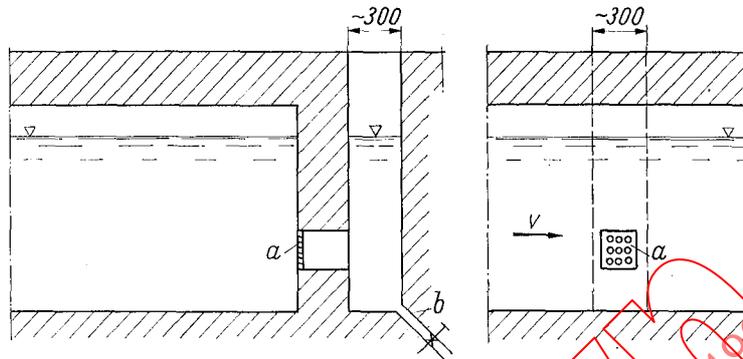


FIG. 40. — Puits de mesure.

- a) Plaque perforée
- b) Robinet de purge

Lorsque la surface de l'eau est accessible, mais n'est pas suffisamment calme pour permettre d'effectuer des mesures convenables, une chambre d'amortissement semblable à un puits de mesure devrait être installée.

2.3 Appareillage de mesure

2.3.1 *Indicateur à plaque.* Un indicateur à plaque, constitué par un disque métallique suspendu à un ruban d'acier, peut être utilisé pour déterminer le niveau dans la section de mesure (figure 41) par rapport à un repère de niveau auxiliaire.

2.3.2 *Indicateurs à pointe ou à crochet.* On peut employer des indicateurs en forme de pointe ou de crochet pour déterminer le niveau d'une eau calme, par exemple derrière des grilles, dans les puits de mesure ou dans les chambres d'amortissement (figure 42).

2.3.3 *Indicateurs à flotteur.* Des indicateurs à flotteur correctement étalonnés et en bon état de fonctionnement, peuvent être utilisés et sont recommandés lorsque le niveau à mesurer est variable. Le flotteur doit avoir un diamètre minimal de 200 mm (≈ 8 in). De tels appareils doivent accuser une sensibilité d'au moins 5 mm ($\approx 3/16$ in) lorsqu'on les déplace à la main de leur position d'équilibre.

Un flotteur de 200 mm (8 in) de diamètre est convenable pour une chambre d'amortissement carrée de 250 mm (10 in) de côté, ce qui représente la plus grande dimension réalisable pour une installation effectuée dans des rainures à batardeau.

2.3.4 *Echelles limnimétriques.* Des échelles limnimétriques, installées de manière à ce qu'elles affleurent la paroi de la section de mesure, peuvent être utilisées lorsque la hauteur de chute est supérieure à 10 mètres (32,8 ft).

2.4 Manomètres à colonnes de liquide

Si les sections de mesure sont inaccessibles, le niveau libre de l'eau peut être déterminé à l'aide de deux ou plusieurs manomètres à colonnes de liquide. Les prises de pression à la périphérie de la section de mesure doivent être construites de la même manière que celles des puits de mesure (voir figure 40) afin d'éviter les effets de vitesse.

with the wall of the measuring section to eliminate any velocity effects (Figure 40). It is recommended that at least two measuring wells be provided in each measuring section on opposite sides of the canal.

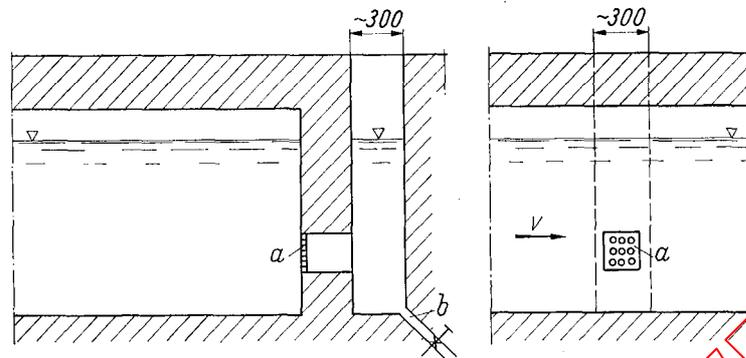


FIG. 40. — Measuring well.

- a) Perforated plate
- b) Flushing valve

Where the water surface is accessible, but not sufficiently calm for accurate measurement, a stilling box, similar to the measuring well, should be installed.

2.3 Measuring apparatus

2.3.1 *Plate gauge.* A plate gauge, consisting of a metal disk suspended from a steel-ribbon tape, will be found convenient to determine the level in relation to the derived fixed point in the measuring section (Figure 41).

2.3.2 *Point or hook gauge.* Point or hook gauges may be used to determine the level of calm water for example inside stop-log grooves, measuring wells or stilling boxes (Figure 42).

2.3.3 *Float gauge.* Float gauges, properly calibrated and in good working order, may be used and are recommended where the water level is variable. The float diameter should be at least 200 mm (≈ 8 in). Such gauges should be sensitive within 5 mm ($\approx 3/16$ in) when manually displaced from the true reading.

A float diameter of 200 mm (8 in) is considered adequate for use with stilling boxes 250 mm (10 in) square, which often is the largest size suitable for installation in stop log slots.

2.3.4 *Fixed (board) scales.* Fixed (board) scales, installed flush with the wall of the measuring section, may be used where the head is greater than 10 m (32.8 ft).

2.4 Liquid manometers

If measuring sections are inaccessible, the free water level may be determined by means of two or more liquid manometers. The pressure tappings at the wetted periphery of the measuring section must be constructed in the same way as the connection of measuring wells (see Figure 40), to avoid velocity effects.

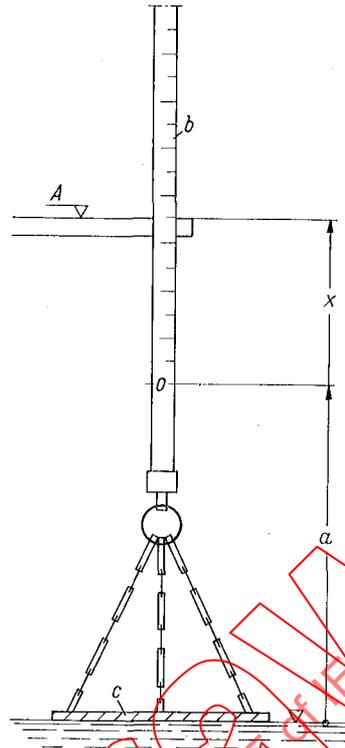


FIG. 41. — Plaque de mesure de niveau depuis un repère fixe A.

- a) Mesure constante
- b) Bande de mesure, en acier
- c) Plaque métallique

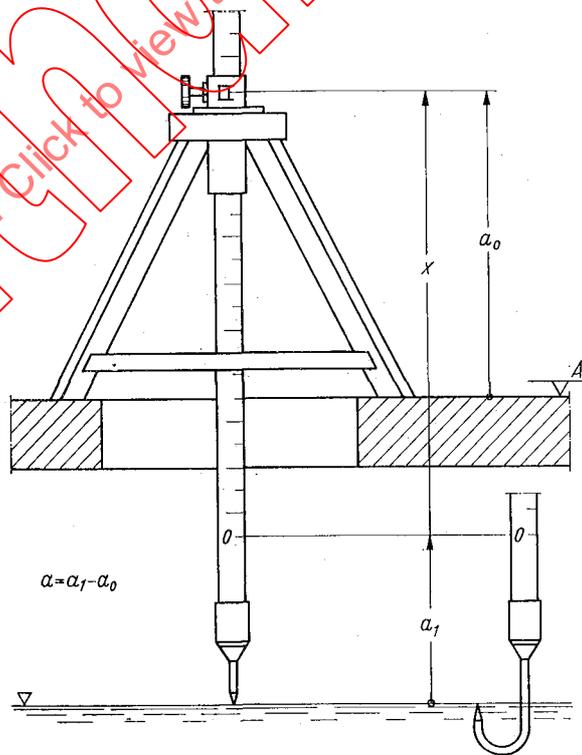


FIG. 42. — Tige de mesure à pointe droite ou recourbée.

A) Repère fixe

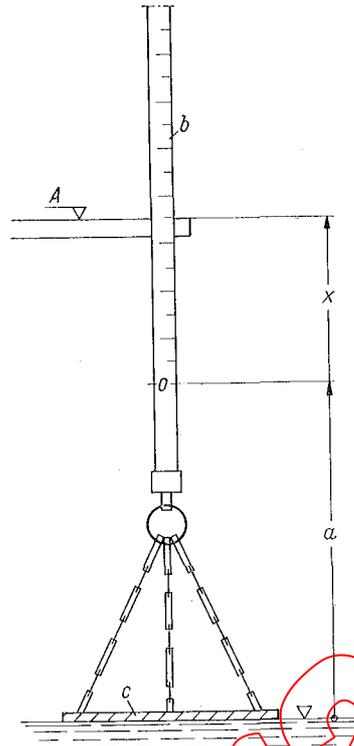


FIG. 41. — Plate gauge for measuring free water level from a fixed point A.

- a) Constant length
- b) Steel measuring tape
- c) Metal plate

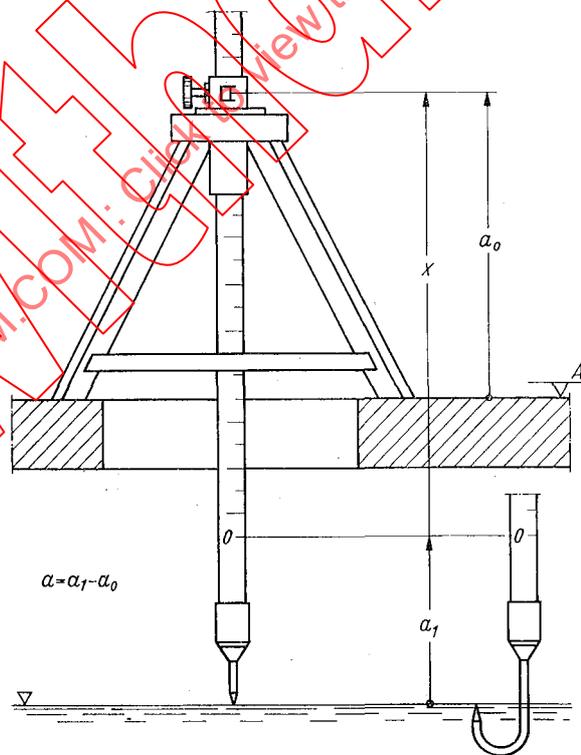


FIG. 42. — Point and hook gauges.

- A) Fixed point

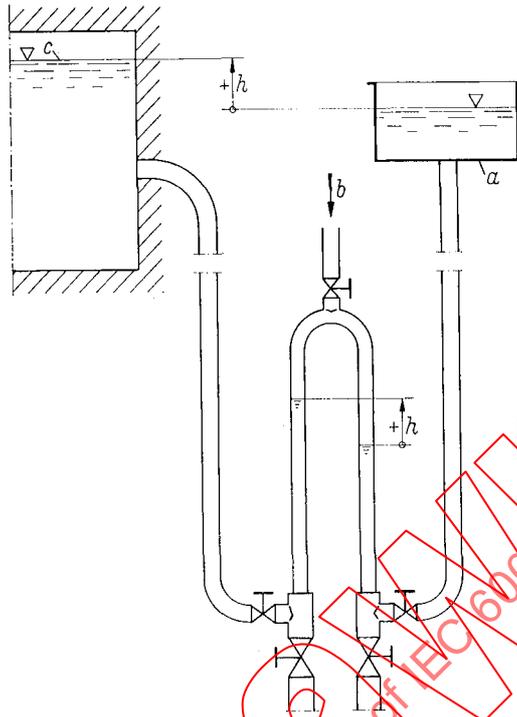


FIG. 43. — Mesure d'un niveau libre inaccessible.

- a) Bassin avec niveau de référence
- b) Air comprimé dans un manomètre différentiel
- c) Niveau à mesurer

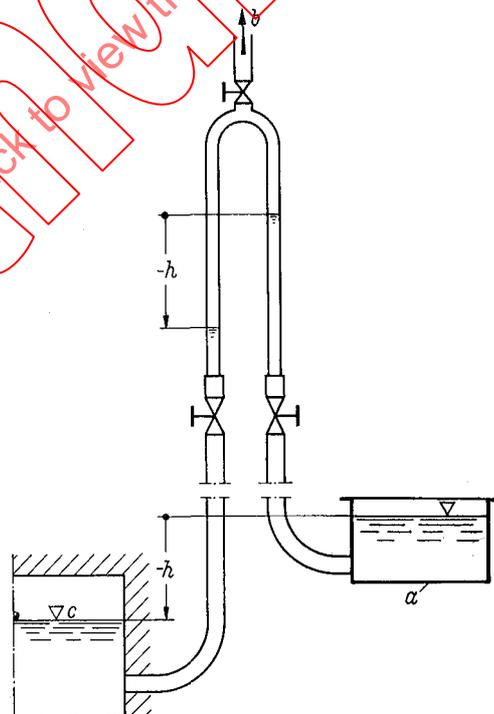


FIG. 44. — Mesure d'un niveau libre inaccessible.

- a) Bassin avec niveau de référence
- b) Vers la pompe à vide
- c) Niveau à mesurer

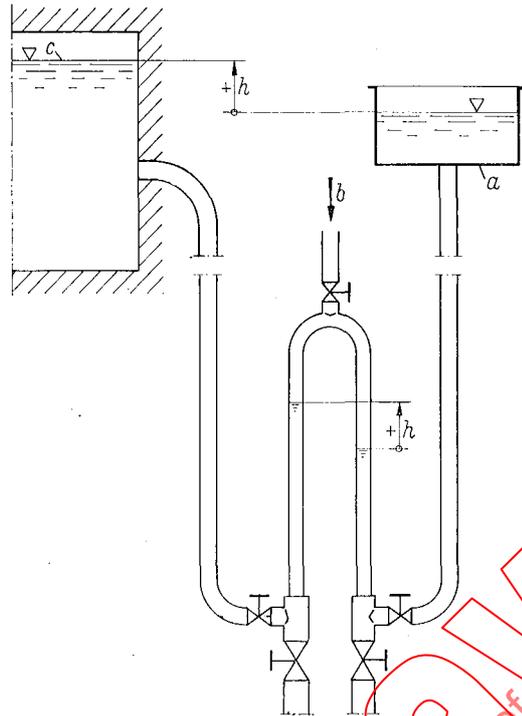


FIG. 43. — Inaccessible free water level.

- a) Reference vessel
- b) Compressed air in differential manometer
- c) Level to be measured

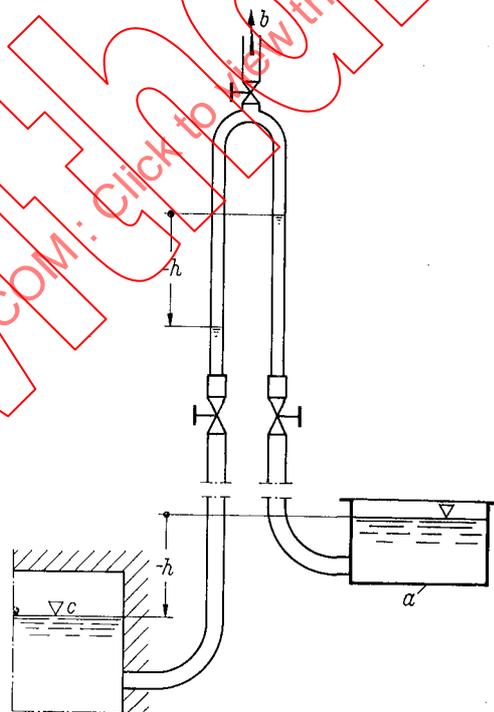


FIG. 44. — Inaccessible free water level.

- a) Reference vessel
- b) To vacuum pump
- c) Level to be measured

Les manomètres à colonnes de liquide sont souvent des manomètres à pression différentielle (tube en U inversé). Dans ce cas, la seconde branche du tube en U est reliée à un récipient de référence rempli d'eau et dans lequel le niveau de l'eau est maintenu à une hauteur déterminée fixe. Si le niveau d'eau libre à mesurer est au-dessus du manomètre, l'eau qui se trouve dans la partie supérieure du tube en U doit être chassée au moyen d'air comprimé (figure 43). Mais si le niveau de l'eau à mesurer est au-dessous du manomètre, les niveaux des deux branches du tube en U doivent être relevés en créant un vide partiel (figure 44). Les canalisations de liaison à l'instrument de mesure doivent pouvoir être purgées facilement de manière à éliminer toute poche d'air et à maintenir la température constante. Elles doivent être suffisamment étanches à l'air pour éviter toute fuite d'air dans les parties de l'installation soumises à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

2.5 Mesure au moyen de l'air comprimé

Le niveau libre de l'eau peut être aussi déterminé au moyen de la pression régnant à l'intérieur d'un tube rempli d'air comprimé, une extrémité de ce tube étant reliée à un petit compresseur ou à une chambre mise en pression par l'intermédiaire d'un mano-détendeur, tandis que l'autre extrémité se trouve à un niveau bien défini au-dessous du niveau à mesurer (figure 45). La perte de charge dans le tube sous pression d'amenée d'air altérant les résultats de mesure, doit être rendue aussi faible que possible, (< 5 mm ou $3/16$ in). Pour cette raison, on prendra un tube de forte section aussi court que possible, et le volume d'air traversant en permanence le tube et s'échappant sous l'eau sera aussi faible que possible. Ce procédé ne devrait être employé qu'en eau calme : autrement, des effets dynamiques seraient de nature à fausser notablement les mesures.

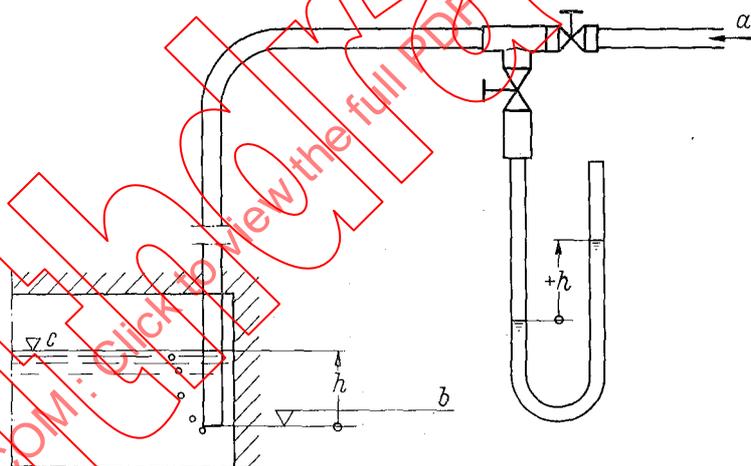


FIG. 45. — Mesure d'un niveau libre inaccessible.

- a) Air comprimé
- b) Extrémité du tube, à un niveau connu
- c) Niveau à mesurer

3. Mesures de pression

3.1 Choix des sections de mesure

Il faut tenir compte des considérations suivantes pour le choix d'une section de mesure des pressions :

- a) L'écoulement de l'eau doit être aussi peu perturbé que possible; des sections où la répartition des vitesses est fortement perturbée par la présence d'un coude ou d'une vanne devraient être évitées;

The liquid manometers are often of the differential pressure gauge type (inverted U-tube). In this case, the second leg of the U-tube is connected to a reference vessel filled with water in which the water level is maintained at a fixed level. If the free water level to be measured is above the manometer, the upper portion of the U-tube must be unwatered by means of compressed air (Figure 43). If, however, the free water level to be measured is below the manometer, the levels in the two U-tube legs must be raised by suction (Figure 44). The connection tubes to the measuring instrument must allow for ready purging to remove any air pockets, and to maintain the same water temperature. They must be sufficiently air-tight to avoid leakage of air into sections below atmospheric pressure.

2.5 Measurements by means of compressed air

The free water level may also be determined by means of the pressure inside a tube filled with compressed air; one end of this tubing being connected to a small compressor or to a pressure chamber by means of a reducer valve while the other end is located at a well-defined level below the water surface to be measured (Figure 45). As the pressure loss in the pressure tube supplying air falsifies the measurements, this pressure loss must be kept to a minimum (< 5 mm or $3/16$ in). For this reason, the cross-sectional area of the tube should be liberally dimensioned, the tube should be as short as possible and the air volume which flows constantly through the tube and escapes under water, should be as small as possible. The air tube should be introduced only in still water, otherwise dynamic effects are liable to cause appreciable errors.

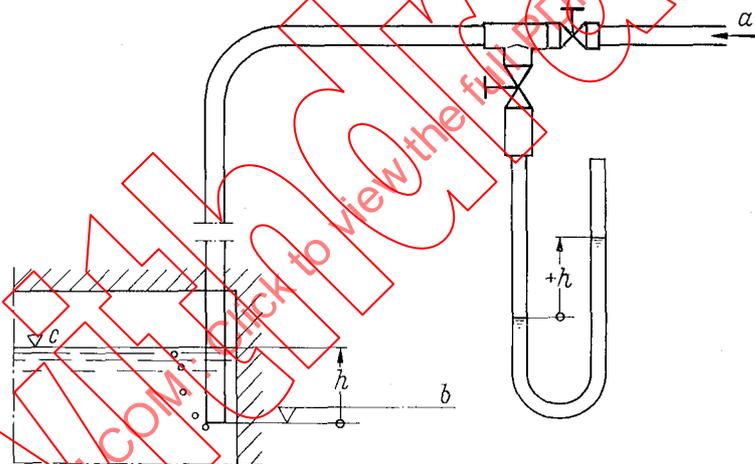


FIG. 45. — Inaccessible free water level.

- a) Compressed air
- b) Tube end, at fixed level
- c) Level to be measured

3. Pressure measurements

3.1 Choice of measuring sections

The following should be considered when selecting a measuring section to obtain water pressure measurements :

- a) There should be a minimum of disturbance in the flow; sections where the velocity pattern is seriously distorted by an elbow or valve should be avoided;

- b) la section transversale, qu'il est nécessaire de connaître pour calculer la vitesse moyenne de l'eau, doit être facilement mesurable.

La section de mesure sera de préférence disposée dans une section rectiligne de conduite (qui n'est pas nécessairement cylindrique) se prolongeant sur cinq diamètres vers l'amont et deux diamètres vers l'aval à compter de la section de mesure.

3.2 Nombre et emplacement des prises de pression

Quatre prises de pression disposées sur deux diamètres perpendiculaires entre eux seront prévues. Les canalisations de liaison ne doivent pas être placées au point le plus haut de la section de mesure ou à son voisinage afin d'éviter la formation de poches d'air, ni au point le plus bas ou à son voisinage pour éviter le risque d'accumulation de dépôts dans les canalisations de liaison. Dans des conditions favorables d'écoulement, seulement deux prises de pression, diamétralement opposées, pourront être utilisées, après accord entre les parties.

Comme l'altitude du point de mesure peut être confondue avec celle du centre de gravité du groupe des prises de pression, cette altitude devra être celle du centre de la section de mesure.

3.3 Orifices de prises de pression

L'orifice cylindrique de prise de pression sur la paroi de la conduite devrait avoir un diamètre de 3 à 6 mm (1/8 in à 1/4 in) et une longueur minimale de 6 à 12 mm (1/4 in à 1/2 in). Il doit être percé perpendiculairement à la paroi de la conduite et, pour éviter les effets de la vitesse, l'orifice sera soigneusement ébarbé et le bord comportera un arrondi de rayon inférieur ou égal à $d/4$ (figure 46) ou au moins un léger chanfrein.

La surface de la conduite doit être lisse et parallèle à l'écoulement au voisinage de la prise de pression sur une longueur d'au moins 250 mm (10 in) à l'amont et 100 mm (4 in) à l'aval.

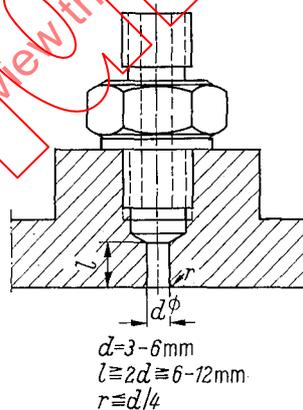


FIG. 46. — Prise de pression.

3.4 Canalisations de raccordement aux manomètres

Pour permettre de mesurer séparément la pression à chacune des prises, le raccordement entre ces dernières et l'appareil de mesure de pression sera assuré au moyen de canalisations séparées susceptibles d'être fermées individuellement (figure 47). Si l'on utilise un collecteur annulaire, une vanne de fermeture doit être prévue entre chaque prise de pression et le collecteur (figure 48). Les tuyaux doivent être constamment ascendants, sans boucle ni affaissement susceptible de retenir les poches d'air pendant les mesures. Il est en outre nécessaire de pouvoir purger l'air contenu dans les tuyaux; pour cela, une vanne de purge d'une dimension adéquate devra être prévue au point

- b) The cross-sectional area, which is required for computing the mean water velocity must be readily measurable.

The measuring section should preferably be arranged in a straight pipe section (which need not be cylindrical) extending 5 diameters upstream and 2 diameters downstream from the measuring section.

3.2 Number and location of pressure tapings

Four pressure tapings arranged on two diameters at right angles to each other should be used. The connections should not be located at or near the highest point of the measuring section in order to avoid air pockets, and should not be placed at or near the lowest point because of the risk of dirt accumulation in the pressure connections. With favourable flow conditions, only two taps located diametrically opposite may be used by agreement.

As the level of the measuring point will be assumed to be that of the centre of gravity of the group of connecting pressure tapings, this level shall be that of the centre of the measuring section.

3.3 Gauge tapings

The cylindrical bore of the pressure tapping opening in the conduit boundary should be 3 to 6 mm (1/8 in to 1/4 in) in diameter and should have a minimum length of 6 to 12 mm (1/4 in to 1/2 in). It must be drilled at right angles to the pipe wall, and to avoid velocity effects burrs shall be removed and the bore shall be rounded off by a radius $\leq d/4$ (Figure 46), or at least a small chamfer.

The surface of the conduit shall be smooth and parallel with the flow in the vicinity of the bore for at least 250 mm (10 in) upstream and 100 mm (4 in) downstream.

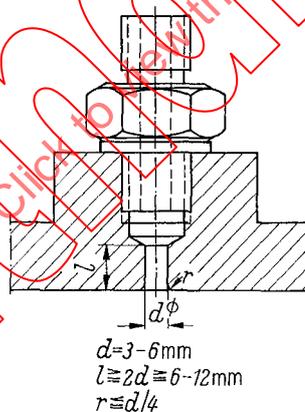


FIG. 46. — Pressure tapping.

3.4 Gauge piping

Each connection, to allow individual measurement of the pressure at each tap, must be connected to the pressure gauge through a separate pipe which can be closed off individually (Figure 47). If a ring manifold is used, a shut-off valve must be provided between each connection and the manifold (Figure 48). The piping should be continuously rising without any loops or sags which are liable to trap air during the measurements. In addition, it is necessary to provide for purging air from the piping, so that a flushing valve of adequate size shall be provided at the top of the piping system, close to the pressure gauge. Piping should carefully be checked to avoid any

le plus élevé du système de tuyauterie, à proximité du manomètre. Les tuyaux seront soigneusement vérifiés pour éviter toute fuite, si faible soit-elle. Si des fuites apparaissent au cours des essais, ces derniers devraient être interrompus jusqu'à l'élimination des fuites [des tuyaux transparents en matière plastique ont donné toute satisfaction pour des pressions inférieures à 6 kp/cm² (90 lb/in²)].

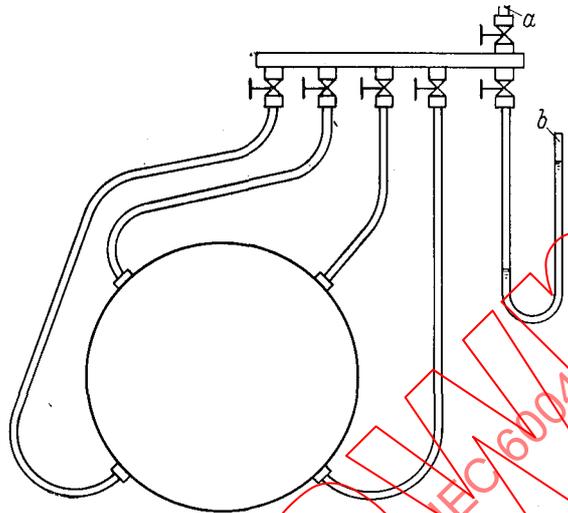


FIG. 47. — Raccordement des prises de pression au manomètre par des tubes séparés.

- a) Purge d'air
- b) Manomètre

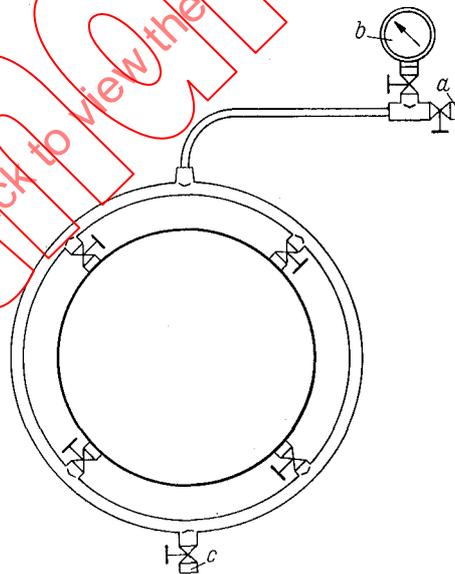


FIG. 48. — Raccordement des prises de pression au manomètre par un collecteur annulaire.

- a) Purge d'air
- b) Manomètre
- c) Purge d'eau

Au voisinage immédiat du manomètre, un point de référence fixe sera prévu, en vue de déterminer le niveau du point zéro de l'instrument de mesure.

leaks, no matter how small. If leaks develop during the tests, the tests should be stopped until the leaks are repaired [transparent conduits of plastic material have been found most satisfactory for use with pressures up to 6 kp/cm² (90 lb/in²)].

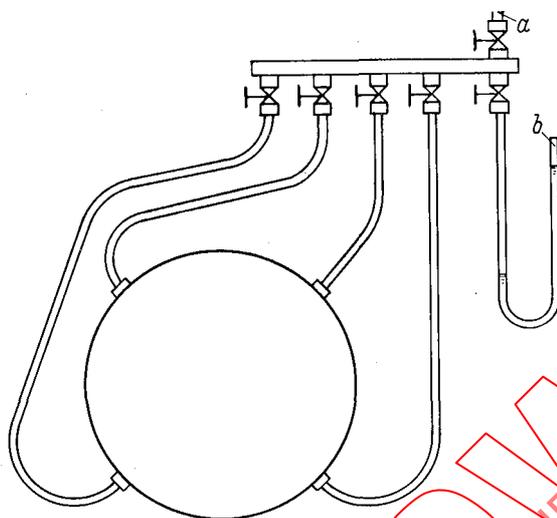


FIG. 47. — Pressure tapings connected through separate pipes to manometer.

- a) Purging
- b) Pressure gauge

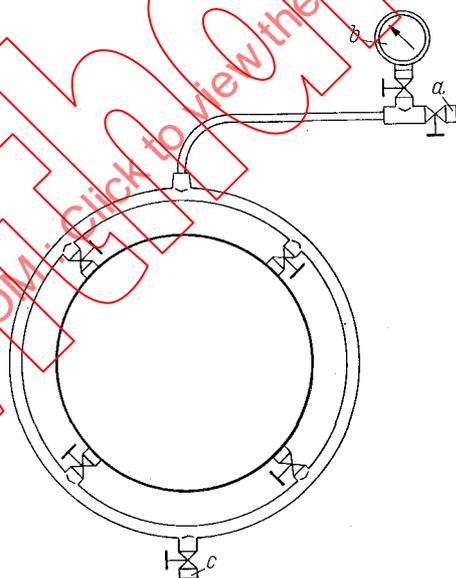


FIG. 48. — Pressure tapings connected through ring main to pressure gauge.

- a) Purging
- b) Pressure gauge
- c) Drainage

In the proximity of the pressure gauge a fixed reference point must be provided, so that the level of the zero point of the measuring instrument can be determined.

3.5 Instruments de mesure de la pression

3.5.1 *Manomètres.* Des manomètres à colonne de liquide sont employés pour mesurer des pressions relativement faibles. Pour éviter tout effet de capillarité, le tube d'un manomètre à colonne d'eau doit avoir un diamètre intérieur d'au moins 12 mm (1/2 in) dans la zone de lecture; dans le cas de manomètres à colonnes de mercure, ce diamètre sera d'au moins 8 mm (5/16 in).

Il existe divers types de manomètres à mercure :

- a) *Tubes en U.* La hauteur des colonnes de mercure dans chacune des deux branches doit être lue simultanément (figure 49).
- b) *Pot de mesure avec tube vertical.* Dans ce cas, il suffit de lire la hauteur de la colonne de mercure dans le tube vertical, la faible variation du niveau de mercure à l'intérieur du pot de mesure étant prise en compte à l'aide d'un coefficient presque égal à l'unité, déduit du rapport des sections du tube vertical et du pot (figure 50). Le diamètre du pot de mesure devrait être au moins égal à 10 fois le diamètre du tube vertical.
- c) *Tube en U étalonné.* La hauteur de la colonne de mercure est lue dans une des deux branches seulement, tandis que le déplacement du mercure dans l'autre branche (dont la section transversale est, par exemple, 10 fois la section de la branche de mesure) est mesuré à l'aide d'une échelle convenable séparée.

Pour tous ces instruments, on doit n'utiliser que du mercure pur, qui doit être purifié à intervalles déterminés. Une méthode souvent efficace pour enlever les matières étrangères consiste à faire barboter de l'air à travers la surface de séparation de mercure et d'eau propre.

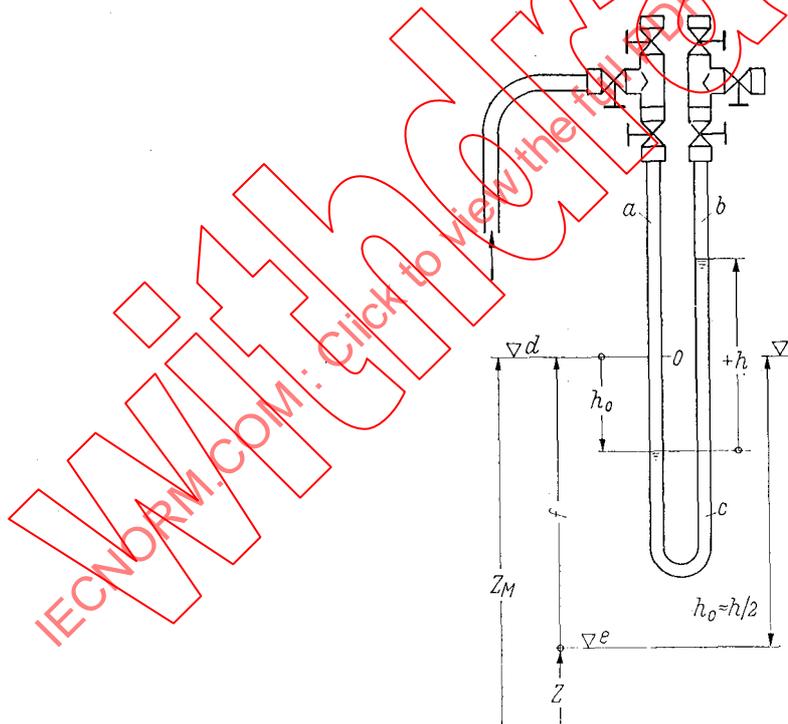


FIG. 49. — Manomètre différentiel à mercure, tube en U.

- a) Eau
- b) Air
- c) Mercure
- d) Point zéro
- e) Niveau du point de mesure

$$p_g = \frac{1}{10} \left[\gamma \cdot f + (\gamma_{Hg} - \frac{\gamma}{2}) \cdot h \right] \quad (\text{métrique})$$

3.5 Pressure gauges

3.5.1 *Manometers.* Liquid column gauges are used to measure comparatively low pressures. In order to avoid capillary effects, the tube of the water column gauge must have an inside diameter of at least 12 mm (1/2 in) in the measuring range; with mercury column gauges, this diameter should be at least 8 mm (5/16 in).

Mercury pressure gauges are available as:

- a) *U-tubes.* The height of mercury columns in the two legs must be read off simultaneously (Figure 49).
- b) *Measuring pot with stand pipe.* In this case, only the height of the mercury column in the stand pipe need be read, the small variation in the mercury level inside the measuring pot being accounted for by a multiplying factor almost equal to unity, to allow for the ratio of areas of the stand pipe and pot (Figure 50).
The diameter of the measuring pot should be at least 10 times the bore of the stand pipe.
- c) *Calibrated U-tube.* The height of the mercury column is read from only one leg, while the displacement of the mercury in the other leg (whose cross-sectional area is, say 10 times that of the measuring leg) is measured by a suitable separate scale.

For all these instruments only pure mercury may be used, which at certain intervals must be cleaned. Removal of foreign material by bubbling of air through the interface between mercury and clean water in a dish often is effective.

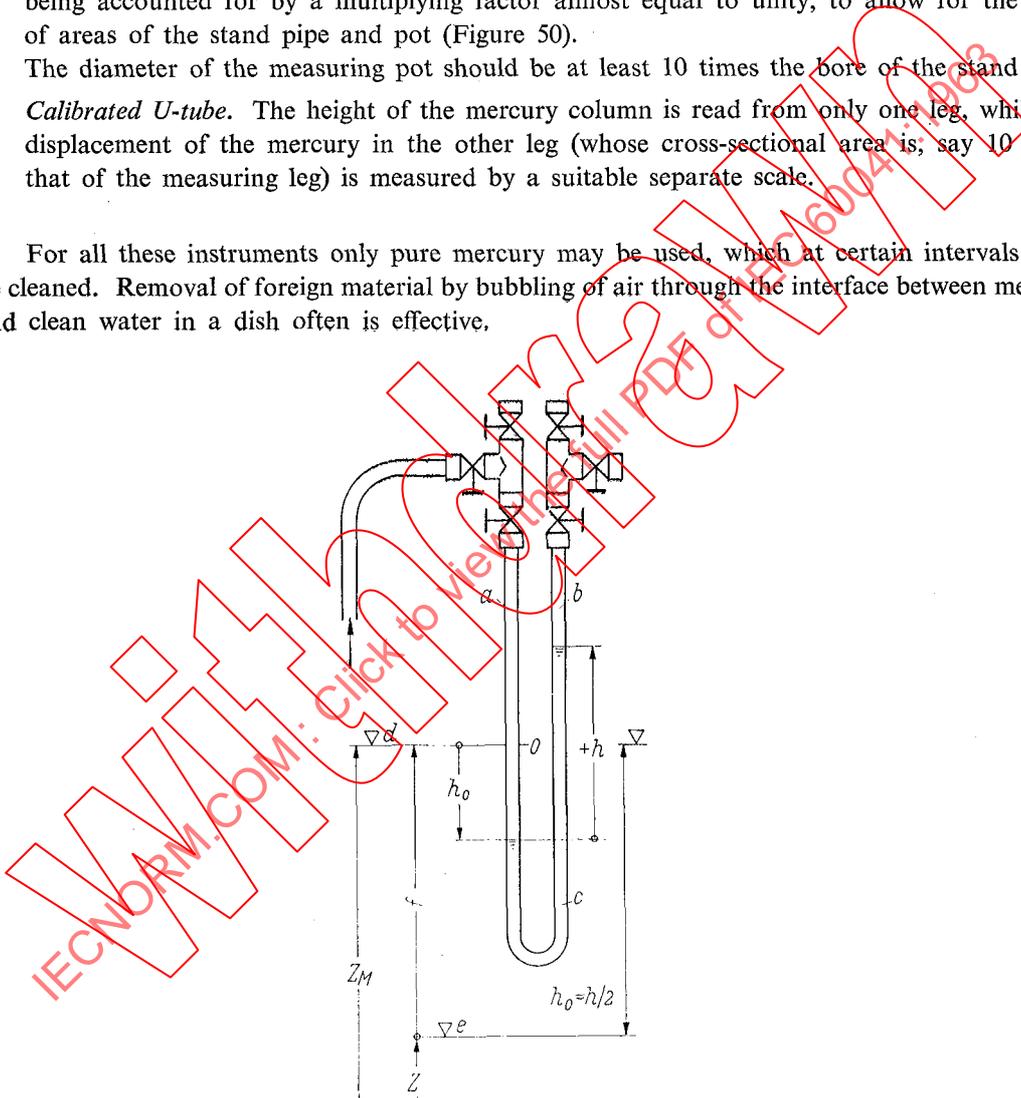


FIG. 49. — U-tube mercury differential manometer.

- a) Water
- b) Air
- c) Mercury
- d) Zero point
- e) Measuring point level

$$p_g = \frac{1}{10} \left[\gamma \cdot f + (\gamma_{Hg} - \frac{\gamma}{2}) \cdot h \right] \quad (\text{metric})$$

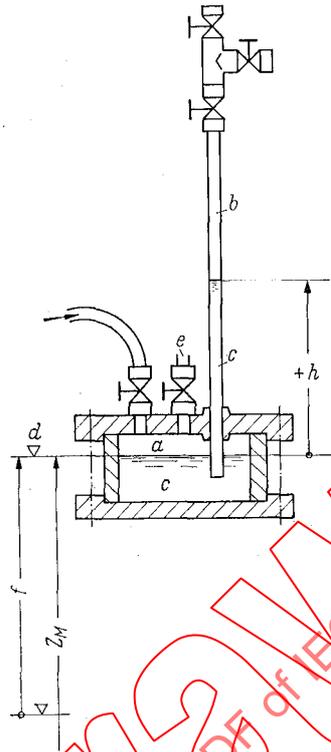


FIG. 50. — Manomètre différentiel à mercure, à pot.

- a) Eau
- b) Air
- c) Mercure
- d) Point zéro
- e) Purge

$$p_g = \frac{1}{10} \left[\gamma \cdot f + \gamma_{Hg} \cdot h \right]$$

(métrique)

3.5.2 *Manomètres à poids.* Le manomètre à poids peut comporter un piston simple ou différentiel. Le diamètre efficace d_e dans le premier cas peut être pris égal à la moyenne arithmétique du diamètre du piston d_p mesuré directement et du diamètre de l'alésage d_b ; on s'en servira pour le calcul de la pression sans autre étalonnage ultérieur :

$$d_e = \frac{d_p + d_b}{2} \quad \text{si} \quad \frac{d_b - d_p}{d_b + d_p} \leq 0,1\%$$

Cette valeur doit être contrôlée avant de commencer l'essai de réception.

Il est généralement préférable, cependant, d'étalonner un manomètre à poids et de déterminer ainsi indirectement la section efficace de son piston dans la totalité de l'intervalle de mesure, par comparaison avec un manomètre à colonnes de liquide.

Le frottement entre le piston et l'alésage peut être pratiquement éliminé par une rotation lente du piston.

Un manomètre à poids relié en série avec un manomètre à mercure convient aussi à la mesure de pressions variables, cas pour lesquels le manomètre à poids seul n'est guère utilisable (figure 51).

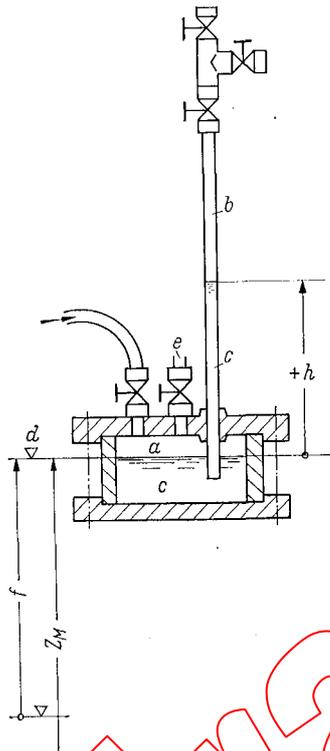


FIG. 50. — Mercury measuring pot as differential manometer.

- a) Water
- b) Air
- c) Mercury
- d) Zero point
- e) Purging

$$p_g = \frac{1}{10} \left[\gamma \cdot f + \gamma_{Hg} \cdot h \right]$$

(metric)

3.5.2 *Dead weight manometers.* Dead weight manometers may be provided with simple or differential piston. The effective piston diameter d_e of the former may be determined as the arithmetical mean value of the directly measured diameter d_p and bore diameter d_b and used for pressure calculation without further calibration :

$$d_e = \frac{d_p + d_b}{2} \quad \text{if} \quad \frac{d_b - d_p}{d_b + d_p} \leq 0.1\%$$

This quantity must be checked before starting the acceptance test.

Generally it is preferable, however, to calibrate a dead weight manometer and determine thereby indirectly its effective piston area over the whole measuring range against a simple liquid column manometer.

The friction between the piston and bore can be practically eliminated by slowly rotating the piston.

A dead weight manometer which is connected in series with a mercury manometer is suitable also for measurements of varying pressures, for which purpose dead weight manometers alone are not practicable (Figure 51).

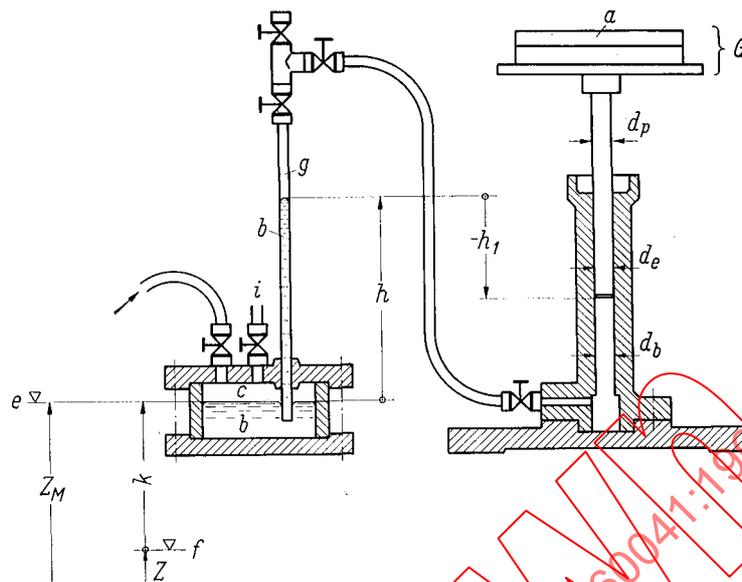


FIG. 51. — Manomètre à poids, combiné avec un manomètre à mercure, à pot.

- a) Poids G
- b) Mercure
- c) Eau
- e) Point zéro
- f) Niveau du point de mesure
- g) Transmission par huile
- i) Robinet de purge

$$p_g = \frac{1}{10} (\gamma \cdot k + \gamma_{Hg} \cdot h) + p_G - \frac{1}{10} \cdot \gamma_{huile} \cdot h_1$$

où $p_G = \frac{G}{\frac{\pi}{4} \cdot d_e^2}$

(métrique)

3.5.3 *Manomètre à ressort.* Pour les essais de réception, seul peut être admis l'emploi de manomètres à ressort de précision, dont l'aiguille indicatrice repose sur des supports en arête de couteau; on doit obtenir les mêmes positions de l'aiguille pour des pressions identiques repérées par étalonnage à l'aide de manomètres à poids. L'intervalle de mesure optimal pour un manomètre à ressort est compris entre 50 et 70% de l'étendue totale de son échelle.

Les manomètres à ressort doivent être étalonnés par comparaison avec des étalons sûrs, tels que des manomètres à poids, pour la même position et dans le même intervalle de mesure que ceux correspondant aux essais, et cela avant et après les essais.

3.5.4 *Manomètres différentiels.* Dans le cas d'installations comportant plusieurs conduites forcées, la pression dans la section de mesure de la conduite alimentant la turbine en essai, peut être déduite de la baisse de pression par rapport à celle régnant dans la conduite d'alimentation d'une seconde turbine, cette seconde machine étant arrêtée. La différence de pression dans les deux conduites peut être déterminée au moyen d'un tube en U à mercure (figure 52) ou à l'aide d'un tube en U renversé rempli d'un liquide plus léger que l'eau (figure 53), lorsqu'il s'agit de faibles différences de pression. Dans ce cas, on peut recommander le toluène, de poids spécifique égal à 0,867 kp/dm³, on peut aussi utiliser l'air comprimé avec le poids spécifique correspondant.

La perte de charge doit être corrigée en tenant compte de la différence de cote du plan d'eau à l'entrée des deux conduites.

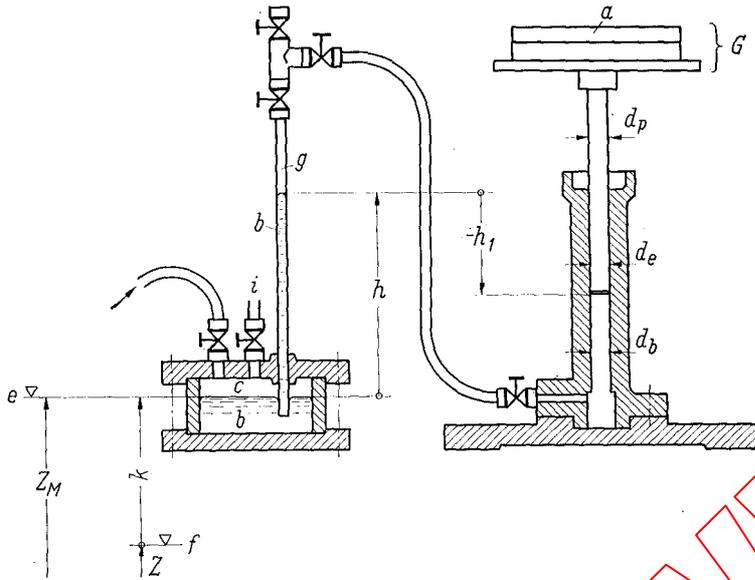


FIG. 51. — Dead-weight manometer, combined with mercury pot manometer.

- a) Weights G
- b) Mercury
- c) Water
- e) Zero point
- f) Measuring point level
- g) Oil filled
- i) Purging valve

$$p_G = \frac{1}{10} (\gamma \cdot k + \gamma_{Hg} \cdot h) + p_G - \frac{1}{10} \cdot \gamma_{oil} \cdot h_1$$

wherein

$$p_G = \frac{G}{\frac{\pi}{4} \cdot d_e^2}$$

(metric)

3.5.3 *Spring pressure gauges.* For acceptance tests only precision spring gauges with pointers on knife-edge supports may be used, so that the same pointer positions for identical pressures are obtained by calibration against weight manometers. The optimum measuring range for a spring pressure gauge is between 50 and 70% of full scale value.

Spring pressure gauges must be calibrated against reliable standards such as weight manometers, in the same position and over the same range as used for the test, before and after the tests.

3.5.4 *Differential manometers.* With installations comprising several penstocks, the pressure in the measuring section of the water passage of the turbine under test should be determined from the pressure drop as compared with pressure in a second turbine penstock while the second machine is shut down. The difference in pressure in the two penstocks may be determined by means of a mercury U-tube (Figure 52) or with an inverted U-tube filled with a sealing liquid that is lighter than water (Figure 53), when small differences in pressure are involved. Recommended sealing liquids for this purpose are toluene with a specific weight of $\gamma = 0.867 \text{ kp/dm}^3$ or compressed air with an appropriate specific weight.

The loss of head should be corrected by the differences of the water levels at the penstock entrances.

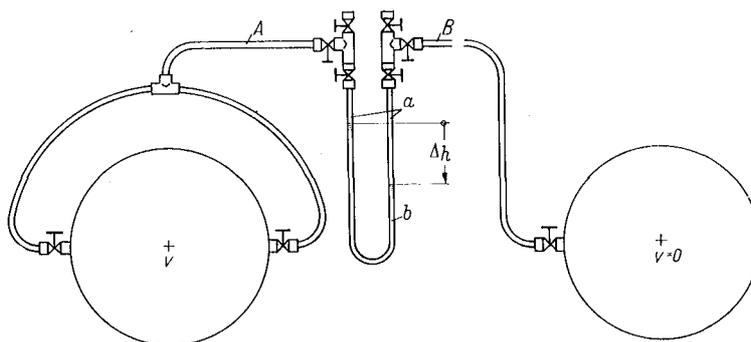


FIG. 52. — Manomètre différentiel à mercure.

- a) Eau (γ)
- b) Mercure (γ_{Hg})

$$H_l + \frac{v^2}{2g} = (\gamma_{Hg} - \gamma) \cdot \Delta h$$

H_l = Perte de charge entre la retenue et la section de charge.

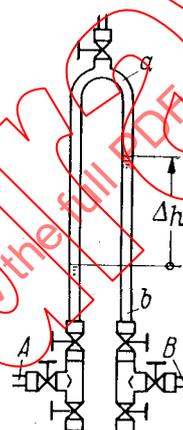


FIG. 53. — Manomètre différentiel avec tube en U renversé.

- a) Air (γ_a)
- b) Eau (γ)

$$H_l + \frac{v^2}{2g} = (\gamma - \gamma_a) \cdot \Delta h$$

H_l = Perte de charge entre la retenue et la section de charge.

3.6 Dispositifs d'amortissement

Lorsque la pression à mesurer est pulsatoire, il peut être difficile d'obtenir des lectures correctes au manomètre. Pour améliorer ces conditions de mesure, un amortissement convenable peut être réalisé. Cela exige toutefois un soin spécial, car un dispositif amortisseur correct basé sur la résistance visqueuse devrait être entièrement symétrique et opposer une égale résistance à l'écoulement du fluide dans les deux directions. Ceci peut être réalisé au moyen d'un tube capillaire ou d'une vanne pointeau réalisée de manière à permettre une purge facile.

Dans le cas d'emploi de manomètres à ressort en régime pulsatoire, il peut être souhaitable d'insérer une chambre à air ou autre dispositif anti-coups de bélier sur la canalisation de liaison au manomètre.

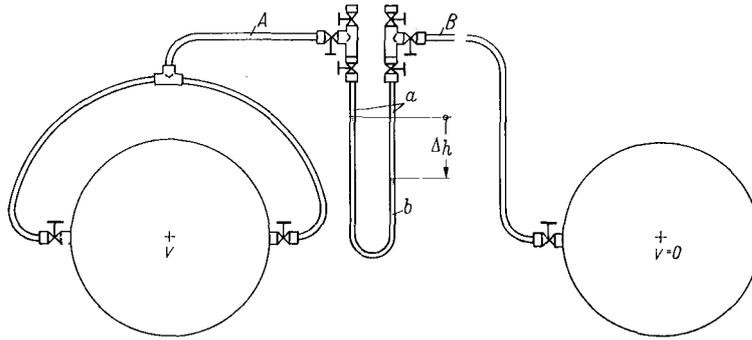


FIG. 52. — Mercury differential manometer.

- a) Water (γ)
- b) Mercury (γ_{Hg})

$$H_l + \frac{v^2}{2g} = (\gamma_{Hg} - \gamma) \cdot \Delta h$$

H_l = Pressure loss between forebay level and section of pressure measurement.

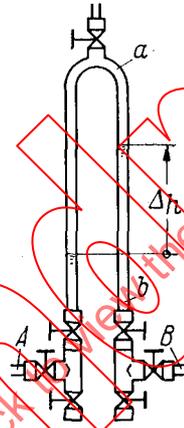


FIG. 53. — Differential manometer with inverted U-tube.

- a) Air (γ_a)
- b) Water (γ)

$$H_l + \frac{v^2}{2g} = (\gamma - \gamma_a) \cdot \Delta h$$

H_l = Pressure loss between forebay level and section of pressure measurement.

3.6 Damping devices

When the pressure to be measured is pulsating, it may be difficult to obtain correct readings on the pressure manometer. In order to improve such conditions, suitable damping may be provided. This requires special care, however, because a proper damping device depending on viscous resistance should be fully symmetrical with equal resistance to flow in both directions. This may be secured by use of a capillary tube or a specially designed plug valve; the latter providing for easy flushing.

For pulsating spring pressure gauges, it may be desirable to connect an air or surge chamber in the pressure line ahead of the gauge.

3.7 Etalonnage des manomètres

3.7.1 *Comparaison des lectures avec la pression statique p_o .* Avant et après les essais de réception, les lectures des manomètres devraient être comparées avec la pression statique p_o à l'arrêt régnant dans la section de mesure de la conduite d'alimentation de la turbine pour $Q = 0$.

Pour le calcul de p_o , il faut toujours tenir compte de la différence de pressions atmosphériques régnant sur le plan d'eau amont d'une part, et à l'altitude du manomètre d'autre part; dans le cas de très hautes chutes, il est en outre nécessaire de tenir compte de la compressibilité de l'eau.

La pression statique p_o , c'est-à-dire la pression exercée sur le manomètre en kp/cm^2 au point de mesure d'altitude z (mètres) au-dessus du niveau de la mer et pour une lecture barométrique de h_{b_o} (millimètres de mercure), est donnée par la formule suivante pour un niveau amont d'altitude z_H au-dessus du niveau de la mer et une pression barométrique h_b (millimètres de mercure) (figure 54).

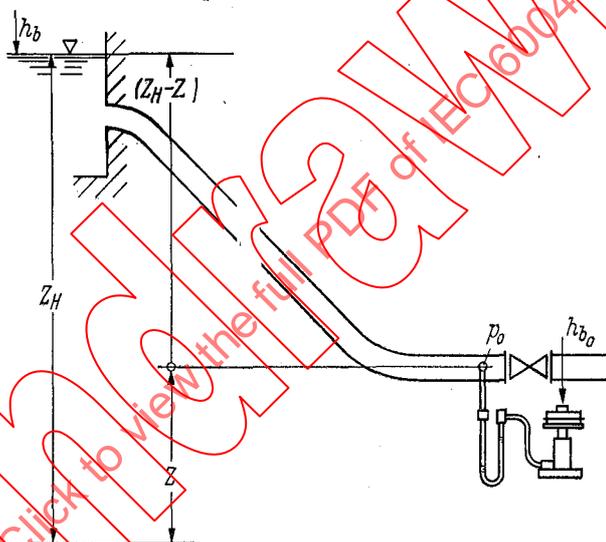


FIG. 54. — Calcul de la pression p_o .

$$p_o = \frac{\gamma}{10} \cdot (z_H - z) + \Delta p_o$$

$$p_o = \frac{\gamma}{10} \cdot (z_H - z) + \Delta p_o$$

où :

$$\Delta p_o = 1,3546 \cdot \frac{(h_b - h_{b_o})}{1\,000} + 0,1 \cdot \int_z^{z_H} \gamma(p) \cdot dz$$

Lorsqu'on opère en un lieu pour lequel z peut atteindre 3 000 m au-dessus du niveau de la mer, pour une température de l'eau de 10 °C et pour $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, la correction Δp_o , fonction de $(z_H - z)$ est donnée dans le tableau :

3.7 Calibration of manometers

3.7.1 *Comparison of readings with the static pressure p_o .* Before and after the acceptance tests, the readings of the pressure gauges should be compared with the static pressure p_o in the measuring section of the turbine supply conduit for $Q = 0$.

For calculation of p_o , the difference in barometric pressures acting on the head water level and at the pressure gauge should always be taken into account; with very high heads it is furthermore necessary to consider the effect of water compressibility.

The static pressure p_o at standstill, as gauge pressure in kp/cm^2 at the measuring point z (m) above sea level and with a barometric reading of h_{b_o} (mm) mercury column, is given in the following formula for a head water level at elevation z_H above sea level and at a barometric reading h_b mercury column (Figure 54).

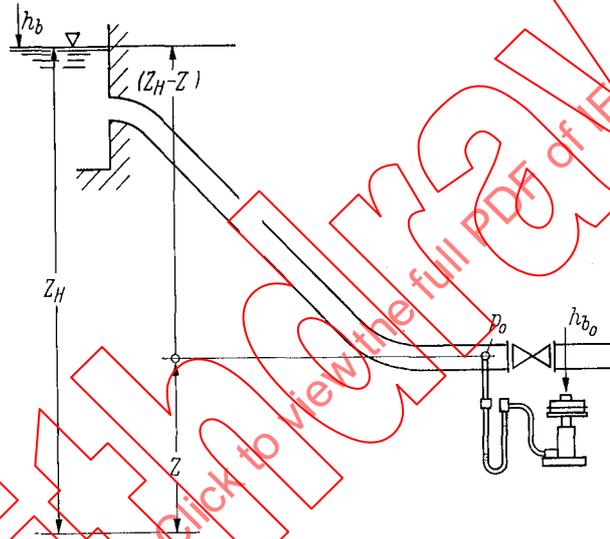


FIG. 54. — Calculation of p_o .

$$p_o = \frac{\gamma}{10} (z_H - z) + \Delta p_o$$

$$p_o = \frac{\gamma}{10} \cdot (z_H - z) + \Delta p_o$$

where:
$$\Delta p_o = 1.3546 \cdot \frac{(h_b - h_{b_o})}{1\ 000} + 0.1 \cdot \int_z^{z_H} \gamma(p) \cdot dz$$

For a location z up to about 3 000 m above sea level and for a water temperature of 10 °C and $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ the correction term Δp_o as a function of $(z_H - z)$ is given in the table below:

$z =$	0	1 000	2 000	3 000
$(z_H - z)$ m	Δp_o (kp/cm ²)			
200	-0,0147	-0,0114	-0,0094	-0,0071
400	-0,0088	-0,0031	0,0020	0,0061
600	0,0178	0,0263	0,0335	0,0399
800	0,0651	0,0769	0,0856	0,0940
1 000	0,1327	0,1464	0,1582	0,1686
1 200	0,2212	0,2371	0,2512	0,2634
1 400	0,3298	0,3486	0,3645	0,3788
1 600	0,4595	0,4804	0,4986	0,5146
1 800	0,6095	0,6328	0,6530	0,6709
2 000	0,7802	0,8057	0,8279	0,8475

La précision de la détermination de p_o , dépend principalement de la précision avec laquelle ont été déterminées les altitudes z et z_H .

A partir de p_o et des valeurs de p mesurées au cours des essais de réception pour les diverses valeurs de Q , la perte de charge H_1 peut être déterminée en fonction de Q :

$$H_1 + \frac{v^2}{2g} = \frac{10}{\gamma} \cdot (p_o - p)$$

3.7.2 *Comparaison avec d'autres instruments de mesure.* Les manomètres à ressort doivent être contrôlés dans toute l'étendue de leur échelle de mesure, par comparaison avec d'autres instruments de mesure d'une plus grande précision, tels que des manomètres à poids.

4. Mesures de vide

4.1 Remarques générales

Lors des essais de réception de turbines hydrauliques, il est rare que l'on ait à effectuer des mesures de vide. De telles mesures peuvent, par exemple, être exigées sur des installations qui ne comportent pas de tube d'aspiration caractéristique. Dans de tels cas, une section de la conduite de fuite sera choisie, d'un commun accord, comme section de sortie conformément aux prescriptions du paragraphe II.2.2.2.

Pour les mesures de vide, toutes les remarques formulées dans la section IX.3 sont applicables, à l'exception de celles mentionnées dans les articles IX.4.2 et IX.4.3.

4.2 Prises de pression

Une prise de pression de 6 mm (1/4 in) de diamètre doit être réalisée pour la mesure du vide.

4.3 Canalisations de raccordement

Les canalisations utilisées pour les mesures devront soit être complètement remplies d'eau soit, si l'on utilise de l'air, être transparentes pour permettre d'observer le niveau de l'eau. Lorsque de telles canalisations sont remplies d'eau, elles doivent être fréquemment et soigneusement purgées avec de l'eau entre les essais pour éliminer toutes bulles provenant du dégagement de l'air dissous ou d'entrée d'air par les raccords et pour maintenir l'eau dans le manomètre à la même température que dans la conduite. Les tubes et les raccords aux instruments de mesure doivent être étanches à l'air.

Des tuyaux souples peuvent être employés comme tubes de mesure à condition de ne pas s'écraser sous l'effet de la pression atmosphérique.

$z =$	0	1 000	2 000	3 000
$(z_H - z)$ m	Δp_o (kp/cm ²)			
200	—0.0147	—0.0114	—0.0094	—0.0071
400	—0.0088	—0.0031	0.0020	0.0061
600	0.0178	0.0263	0.0335	0.0399
800	0.0651	0.0769	0.0856	0.0940
1 000	0.1327	0.1464	0.1582	0.1686
1 200	0.2212	0.2371	0.2512	0.2634
1 400	0.3298	0.3486	0.3645	0.3788
1 600	0.4595	0.4804	0.4986	0.5146
1 800	0.6095	0.6328	0.6530	0.6709
2 000	0.7802	0.8057	0.8279	0.8475

The accuracy of p_o depends mainly on the accuracy with which the elevations z and z_H have been determined.

From p_o and the values p measured during the acceptance tests for various Q values the head loss H_1 can be determined as a function of Q :

$$H_1 + \frac{v^2}{2g} = \frac{10}{\gamma} \cdot (p_o - p)$$

3.7.2 *Comparison with other measuring instruments.* Spring pressure gauges must be checked over their whole measuring range against other measuring instruments of higher accuracy such as dead weight manometers.

4. Vacuum measurements

4.1 General remarks

For acceptance tests carried out on water turbines, vacuum measurements are rarely required. Such measurements may, for example, be required in installations without a characteristic draft tube. In such cases, a section of the discharge pipe must be agreed upon as representative of the outlet cross-section, in accordance with Sub-clause II.2.2.2.

For vacuum measurements all remarks made in section IX.3 are applicable, except as noted in the following clauses IX.4.2 and IX.4.3.

4.2 Tappings

A tapping of 6 mm (1/4 in) diameter should be provided for the vacuum measuring connections.

4.3 Gauge piping

The gauge piping must either be completely filled with water or, if air is used, shall be transparent to permit observation of the water level. Such pipes, when filled with water, must carefully and frequently be flushed with water between test runs to remove any air coming out of solution or leaking through the connection, and to maintain the water in the gauge pipe at the same temperature as at the penstock. The gauge piping and its connection to the gauging instruments as well as the measuring connections to the pipe must be air-tight.

Flexible hoses may be used as gauge pipes only if they cannot be collapsed by atmospheric pressure.

CHAPITRE X — PUISSANCES

1. Généralités

La puissance sur l'arbre de la turbine peut être mesurée :

- soit *directement* au moyen de freins (mécaniques, hydrauliques ou électriques) ou de dynamomètres (en général dynamomètres de torsion);
- soit *indirectement* lorsque la turbine est, ou peut être, accouplée à un générateur électrique, en ajoutant à la puissance électrique débitée par celui-ci les diverses pertes électriques et mécaniques spécifiées au paragraphe II.2.7.2.

2. Méthodes indirectes de mesure des puissances

Dans les méthodes indirectes, le générateur électrique accouplé à la turbine joue non seulement le rôle de frein d'absorption, mais aussi celui d'appareil de mesure de la puissance. De ce fait, son rendement doit être exactement déterminé dans les conditions mêmes de charge, de tension, de facteur de puissance, de vitesse, de température, etc., réalisées au cours de l'essai de la turbine. Ce rendement peut donc être un peu différent de celui obtenu pour des conditions normalisées.

- 2.1 Le rendement du générateur électrique sera établi compte tenu de toutes les pertes spécifiées dans la Publication 34-2(1960) de la C.E.I., Recommandations pour les machines électriques tournantes (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction) 2^{me} partie: Détermination du rendement des machines électriques tournantes, pour autant que ce texte ne se trouve pas en contradiction avec les stipulations du présent code.

Lorsque le document ci-dessus ne donne pas de détails sur le mode opératoire à utiliser pour ces mesures, celles-ci seront exécutées suivant les directives de l'un des codes officiels nationaux existants, choisi d'un commun accord entre les parties lors de la commande de la turbine.

Le plus souvent, le rendement d'un générateur électrique est déterminé par une mesure indirecte consistant essentiellement à mesurer l'ensemble des pertes de la machine (pertes totales) et à admettre que cet ensemble représente la différence entre la puissance mécanique absorbée et la puissance électrique fournie. En fait, la détermination des « pertes totales » ci-dessus est généralement conduite en mesurant ou en calculant séparément les différentes catégories de pertes et en faisant la somme. C'est pourquoi ce genre de méthode de mesure du rendement est dit par « pertes séparées ».

Deux méthodes principales de mesure des pertes sont utilisées couramment: la méthode de ralentissement et la méthode calorimétrique basée sur l'échauffement du fluide de refroidissement. La méthode de ralentissement doit être exécutée en accord avec la Publication 34-2 (1960) de la C.E.I. Appendice II, page 32. Pour la méthode calorimétrique voir XI.4.

2.2 Mesure de la puissance utile aux bornes du générateur électrique

La mesure de la puissance utile devra être effectuée dans toute la mesure du possible aux bornes du générateur. Dans le cas contraire, la puissance mesurée devra être augmentée des pertes existant entre les bornes du dit générateur et l'emplacement des appareils de mesure.

En l'absence d'un code international pour les mesures électriques, ces mesures de puissance seront exécutées conformément à l'un des codes nationaux existants, choisi d'un commun accord par les deux parties lors de la commande de la turbine et compte tenu des prescriptions impératives suivantes :

CHAPTER X — MEASUREMENT OF POWER OUTPUT

1. General

The power on the turbine shaft can be measured:

- Either *directly* by means of brakes (mechanical, hydraulic or electric) or by means of dynamometers (usually torsion dynamometers);
- or *indirectly*, when the turbine is coupled, or can be coupled, to an electric generator, by adding to the electric power output of the generator the various electrical and mechanical losses specified in Sub-clause II.2.7.2.

2. Indirect methods of power output measurement

In the indirect methods, the electric generator coupled to the turbine acts not only as an absorption brake but also as a device for measuring the power. Because of this, its efficiency must be determined accurately under the same conditions of load, voltage, power-factor, speed, temperature, etc., as occur during the testing of the turbine. This efficiency may therefore vary slightly from that obtained for standardized conditions.

- 2.1 The efficiency of the electric generator shall be determined taking into account all of the losses specified in I.E.C. Publication 34-2 (1960), Recommendations for rotating electrical machinery (excluding machines for traction vehicles). Part 2: Determination of efficiency of rotating electrical machinery, so long as that text does not contradict the stipulations of the present code.

When the above-mentioned document does not give details of the procedure to be followed for these measurements, the procedure shall follow the regulations of one of the official national codes in existence, chosen by common accord between the parties at the time the turbine is ordered.

Generally, the efficiency of an electric generator is determined by indirect measurement, consisting essentially of measuring the aggregate losses of the machine (total losses), and in assuming that these losses represent the difference between the mechanical power absorbed and the electric power output. In practice, the determination of the above "total losses" is generally accomplished by the individual measurement or calculation of the various categories of losses and by their summation. Thus, this method of measuring the efficiency is said to be "separate losses".

Two main methods of measuring losses are currently used. The deceleration (retardation) method and the calorimetric method based on the heating of the cooling fluid. The deceleration method shall be performed in accordance with I.E.C. Publication 34-2 (1960), Appendix II, page 33. For the calorimetric method see XI.4.

2.2 Measurement of effective power at the generator terminals

Measurement of the effective output must be made at the generator terminals if at all possible. If this cannot be done, the measured power must be increased by the losses occurring between the generator terminals and the location of the measuring device.

In the absence of an international code for electric measurements, these power measurements shall be made in accordance with one of the national codes in existence, chosen by common accord between the two parties when the turbine order is placed, and taking into account the following obligatory regulations.

Durant les essais de la turbine, le générateur devra fonctionner autant que possible au voisinage de sa tension nominale et, dans le cas d'une machine à courant alternatif, à la fréquence nominale et à un facteur de puissance égal à l'unité. Si ces conditions ne peuvent être réalisées, il en sera tenu compte dans le calcul des pertes et de la puissance correspondante et dans l'estimation de l'erreur probable sur les mesures.

La puissance électrique sera mesurée au moyen de wattmètres ou de wattheuremètres de la classe de précision 0,2 blindés, étalonnés comme il est dit plus loin. Les transformateurs de mesure alimentant ces appareils seront aussi de la classe de précision 0,2.

Si le neutre du générateur triphasé est sorti et se trouve connecté au réseau ou relié à la terre, la méthode des trois wattmètres (ou compteurs) sera obligatoirement utilisée (figure 55).

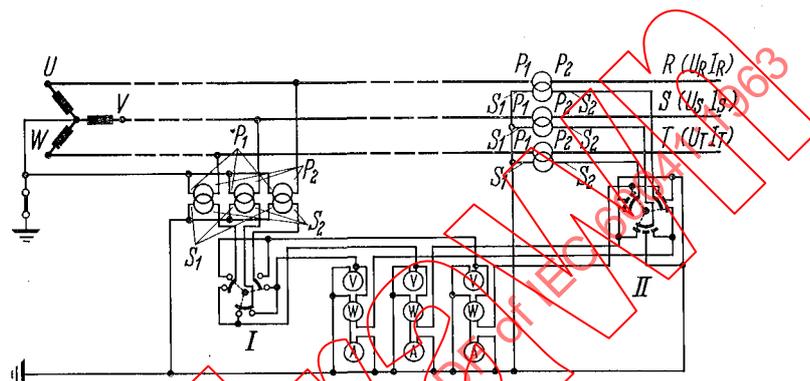


FIG. 55. — Mesure de la puissance aux bornes d'un générateur, méthode des trois wattmètres.

- I Commutateur de tension
- II Commutateur de courant

Si le neutre du générateur est sorti mais non connecté au réseau ou à la terre pendant l'essai, on pourra employer soit la méthode des trois wattmètres (ou compteurs), soit celle des deux wattmètres (ou compteurs). La méthode des trois wattmètres est recommandée. Si le neutre du générateur n'est pas sorti, la méthode des deux wattmètres (ou compteurs) doit être utilisée (figure 56).

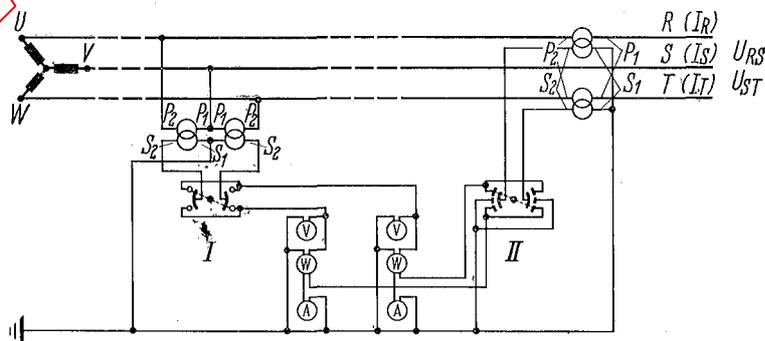


FIG. 56. — Mesure de la puissance aux bornes d'un générateur, méthode des deux wattmètres.

- I Commutateur de tension
- II Commutateur de courant

During the turbine tests the generator must operate, insofar as possible, at about its nominal voltage, and in the case of an alternating current machine at its nominal frequency and at a power-factor equal to unity. If these conditions cannot be fulfilled, due allowance shall be made in calculating the losses and corresponding outputs, and in estimating the probable error in the measurements.

The electric power shall be measured by means of wattmeters or by watt-hour meters of precision class 0.2 and shielded; they shall be calibrated as indicated hereinafter. The instrument transformers feeding the meters shall also be of precision class 0.2.

If the neutral of a three-phase generator is brought out and is connected to the network or to earth, it will be obligatory to use the three-wattmeter method (Figure 55).

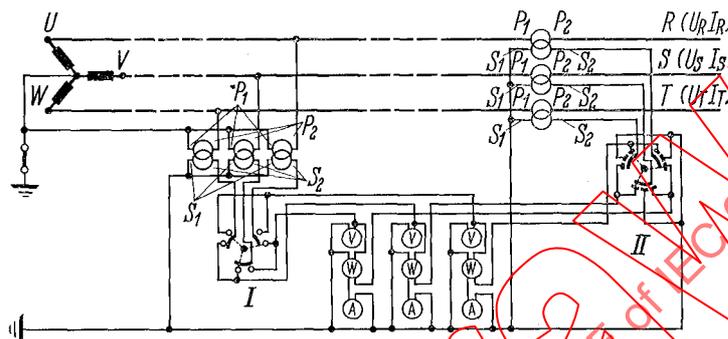


FIG. 55. — Measurement of the power at the terminals of a generator, three-wattmeter method.

- I Potential commutator
- II Current commutator

If the neutral of the generator is brought out but not connected to the network, or to earth during the test, either the three-wattmeter (or watt-hour-meter) method or the two-wattmeter (or watt-hour-meter) method may be used. The three-wattmeter method is recommended. If the neutral of the generator is not brought out, the two-wattmeter (or watt-hour-meter) method shall be used (Figure 56).

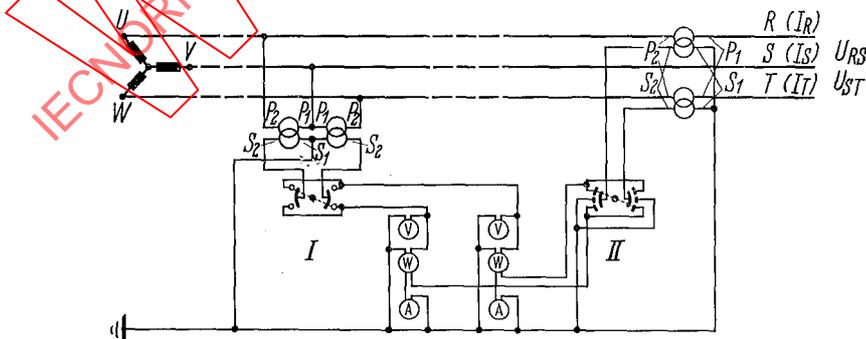


FIG. 56. — Measurement of the power at the terminals of a generator, two wattmeter method.

- I Potential commutator
- II Current commutator

Il peut être nécessaire de tenir compte de la correction de température sur les instruments ci-dessus. Dans le cas de très grandes variations de température, il pourra être opportun (en particulier pour les compteurs) de placer ces instruments dans une enceinte à température constante.

Outre la puissance aux bornes on mesurera la tension, le courant par phase, la tension et le courant d'excitation, par des appareils de précision convenable. La température dans les canaux de ventilation du stator et les autres facteurs nécessaires à la détermination des pertes et de la puissance de la machine dans les conditions d'essais devront également être mesurés.

Si la puissance est mesurée par des instruments à lecture directe, le nombre des lectures dépendra de la durée de l'essai et des fluctuations de la charge. Le nombre des lectures devra être suffisant pour permettre un calcul aussi précis que possible de la puissance moyenne pendant la durée de l'essai. Il est recommandé d'effectuer simultanément les lectures aux différents wattmètres intervenant dans la mesure de la puissance.

Si la puissance est mesurée par des compteurs, ceux-ci seront utilisés simultanément avec les wattmètres à lecture directe et contrôlés par ces derniers au cours de chaque mesure. La durée d'enregistrement des appareils intégrateurs sera mesurée au moyen de compte-secondes ou d'autres appareils de mesure du temps suffisamment précis pour que la détermination de cette grandeur puisse être faite avec une précision au moins égale à 0,1 %. La puissance devra être mesurée pendant la même période durant laquelle sera mesuré le débit absorbé par la turbine; par exemple, si la méthode pression-temps est utilisée, la puissance devra être la moyenne des lectures effectuées durant une période précédant immédiatement l'enregistrement du diagramme « pression-temps ».

Il est rappelé qu'en raison de l'infidélité éventuelle des shunts utilisés pour la mesure des courants continus de forte intensité, les erreurs sur la mesure des puissances en courant continu peuvent être considérablement plus fortes que celles obtenues dans les mesures en courant alternatif.

A une date aussi rapprochée que possible de celle du début des essais, les instruments de mesure utilisés devront être spécialement étalonnés sur toute la gamme des régimes correspondant aux essais envisagés et ce, par un organisme choisi d'un commun accord entre les parties.

Au cours des essais de la turbine, on s'efforcera de recouper fréquemment entre elles les indications données par plusieurs appareils, de façon à s'assurer de la conservation de leur étalonnage. En cas de contestation, il sera procédé à un deuxième étalonnage de contrôle aussitôt que possible après la fin des essais.

En raison de la précision requise pour les appareils de mesures électriques (y compris les transformateurs de mesure), les instruments et transformateurs de mesure usuels de tableau ne sont pas admissibles pour les essais de réception. Pour les mêmes raisons, les transformateurs de mesure alimentant les wattmètres, wattheuremètres ou autres instruments de mesure électriques installés spécialement pour les essais de réception seront uniquement réservés à ce service et ne pourront concourir à l'alimentation des circuits de mesure et de protection, etc. de l'usine. Il ne pourra être dérogé à cette règle que si, d'un commun accord entre les parties, il est reconnu, et éventuellement contrôlé par étalonnage, que certains transformateurs de mesure du tableau permettent de réaliser, compte tenu de leur classe de précision, de leur charge effective et de leur état d'usage, les mêmes conditions de précision que le jeu d'instruments et de transformateurs indépendants spécialement réservé aux essais spécifiés ci-dessus.

3. Méthodes directes de mesure des puissances

- 3.1 La mesure directe, au moyen d'un frein, de la puissance sur l'arbre de la turbine n'est relativement aisée et précise que dans le cas de petites machines de faible puissance. On peut pourtant être conduit à l'utiliser pour des turbines qui ne sont pas prévues pour être accouplées directement à un générateur électrique.

It may be necessary to allow for temperature correction in the above instruments. In the case of very great temperature fluctuations, it may be advisable (particularly for watt-hour-meters) to place the instruments in a constant temperature enclosure.

In addition to the measurement of output at the terminals, voltage, current per phase, excitation voltage and excitation current shall be measured by suitable precision instruments. The temperature in the stator winding and other factors necessary to establish the losses and output of the machine under the test conditions shall also be measured.

If the power is measured by direct-reading instruments, the number of readings will depend upon the duration of the test and fluctuations in the load. The number of readings shall be sufficient to permit as accurate a calculation as possible of the mean power over the duration of the test. It is recommended that the various wattmeters used in the measurement of the power should be read simultaneously.

If the power is measured by watt-hour-meters, they shall be used simultaneously with direct-reading wattmeters and checked against them in the course of each measurement. The duration of the recording of the integrating devices shall be measured by means of stop watches or other time-measuring devices sufficiently accurate to permit the determination of this factor to an accuracy of at least 0.1%. The power shall be measured during the same period during which the flow through the turbine is measured; for example, if the pressure-time method is used, the power shall be the mean of the readings taken during a period immediately preceding the recording of the "pressure-time" diagram.

Because of the possible inaccuracies in shunts used for measuring direct currents of high amperage, the degree of accuracy obtained in the measurement of direct current power may be considerably lower than that achieved in the measurement of alternating current.

At a date as close as possible to the start of the tests, the measuring instruments to be used shall be specially calibrated over the entire range of readings expected, by an organization chosen by agreement between the parties.

In the course of the turbine tests, every effort shall be made to compare as often as possible the readings of the various instruments among themselves to check that they remain in calibration. In cases of dispute, a second calibration shall be effected as soon as possible after the end of the tests.

Because of the accuracy required for the electric measuring instruments (including the instrument transformers), the usual switchboard ones are not to be used for acceptance tests. Similarly, the instrument transformers supplying the wattmeters, watt-hour-meters, or other electric measuring instruments specially installed for the acceptance tests, shall be used solely for that purpose and may not be used to supply at the same time the measuring and protective circuits, etc. of the plant. An exception may be made to this rule only if, by agreement between the parties, it is decided, and possibly checked by calibration, that the same degree of accuracy can be obtained with the use of certain switchboard instrument transformers (in view of their precision class, their effective load and their conditions of use), as could be obtained with the use of the independent set of instruments and transformers specially reserved for the test specified above.

3. Direct method of power output measurement

3.1 The direct method of measuring power on the turbine shaft by means of a brake is relatively easy and accurate only in the case of small units of low capacity. It may have to be used, however, for turbines which are not intended for direct coupling to an electric generator.