

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60193

Deuxième édition
Second edition
1999-11

**Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation
et pompes-turbines –
Essais de réception sur modèle**

**Hydraulic turbines, storage pumps
and pump-turbines –
Model acceptance tests**

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

XL

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	10
Articles	
1 Règles générales	12
1.1 Domaine d'application et objet.....	12
1.1.1 Domaine d'application	12
1.1.2 Objet.....	12
1.2 Références normatives	14
1.3 Terminologie, définitions, symboles et unités.....	16
1.3.1 Généralités	16
1.3.2 Unités	18
1.3.3 Liste des termes, définitions, symboles et unités.....	20
1.4 Nature et étendue des garanties relatives au fonctionnement hydraulique.....	58
1.4.1 Généralités	58
1.4.2 Garanties principales de performances hydrauliques vérifiables par un essai sur modèle	60
1.4.3 Garanties non vérifiables par des essais sur modèle.....	66
1.4.4 Données complémentaires de fonctionnement.....	66
2 Exécution des essais.....	68
2.1 Exigences imposées à l'installation d'essais et au modèle	68
2.1.1 Choix du laboratoire	68
2.1.2 Installation d'essais	68
2.1.3 Exigences concernant le modèle.....	70
2.2 Contrôle dimensionnel du modèle et du prototype.....	74
2.2.1 Généralités	74
2.2.2 Dimensions à contrôler sur le modèle et le prototype	94
2.2.3 Ondulation et rugosité de surface	110
2.3 Similitude hydraulique, conditions d'essai et modalités d'exécution des essais.....	118
2.3.1 Similitude hydraulique	118
2.3.2 Conditions d'essai	132
2.3.3 Modalités d'exécution des essais.....	138
2.4 Introduction aux méthodes de mesure	160
2.4.1 Mesures liées aux garanties principales de performances hydrauliques	160
2.4.2 Mesures liées à des données complémentaires	164
2.4.3 Acquisition et traitement des données.....	164
2.5 Propriétés physiques.....	164
2.5.1 Généralités	164
2.5.2 Accélération due à la pesanteur.....	164
2.5.3 Propriétés physiques de l'eau.....	166
2.5.4 Propriétés physiques de l'atmosphère.....	176
2.5.5 Masse volumique du mercure	178

CONTENTS

	Page
FOREWORD	11
Clause	
1 General rules	13
1.1 Scope and object	13
1.1.1 Scope	13
1.1.2 Object	13
1.2 Normative references	15
1.3 Terms, definitions, symbols and units	17
1.3.1 General	17
1.3.2 Units	19
1.3.3 List of terms, definitions, symbols and units	21
1.4 Nature and extent of guarantees related to hydraulic performance	59
1.4.1 General	59
1.4.2 Main hydraulic performance guarantees verifiable by model test	61
1.4.3 Guarantees not verifiable by model test	67
1.4.4 Additional performance data	67
2 Execution of tests	69
2.1 Requirements of test installation and model	69
2.1.1 Choice of laboratory	69
2.1.2 Test installation	69
2.1.3 Model requirements	71
2.2 Dimensional check of model and prototype	75
2.2.1 General	75
2.2.2 Dimensions of model and prototype to be checked	95
2.2.3 Surface waviness and roughness	111
2.3 Hydraulic similitude, test conditions and test procedures	119
2.3.1 Hydraulic similitude	119
2.3.2 Test conditions	133
2.3.3 Test procedures	139
2.4 Introduction to the methods of measurement	161
2.4.1 Measurements related to the main hydraulic performance guarantees	161
2.4.2 Measurements related to additional data	165
2.4.3 Acquisition and processing of data	165
2.5 Physical properties	165
2.5.1 General	165
2.5.2 Acceleration due to gravity	165
2.5.3 Physical properties of water	167
2.5.4 Physical conditions of atmosphere	177
2.5.5 Density of mercury	179

Articles	Pages
3 Performances hydrauliques principales: méthodes de mesurage et résultats.....	180
3.1 Acquisition et traitement des données	180
3.1.1 Introduction et définitions	180
3.1.2 Spécifications générales.....	180
3.1.3 Acquisition des données.....	184
3.1.4 Spécification des composants	186
3.1.5 Contrôle du système d'acquisition des données	192
3.2 Mesurage du débit	196
3.2.1 Généralités	196
3.2.2 Méthodes primaires.....	200
3.2.3 Méthodes secondaires.....	208
3.3 Mesurage de la pression	214
3.3.1 Généralités	214
3.3.2 Choix de la section de mesure de la pression	214
3.3.3 Prises de pression et tuyauteries de liaison	216
3.3.4 Appareillage de mesure de la pression	222
3.3.5 Etalonnage des appareils de mesure de pression	236
3.3.6 Mesures de vide.....	236
3.3.7 Incertitude sur les mesures de pression.....	238
3.4 Mesurage du niveau libre	238
3.4.1 Généralités	238
3.4.2 Choix des sections de mesurage du niveau libre.....	238
3.4.3 Nombre des points de mesurage dans une section	238
3.4.4 Appareillage de mesure.....	240
3.4.5 Incertitudes sur les mesures de niveau libre	244
3.5 Détermination de E et NPSE	244
3.5.1 Généralités	244
3.5.2 Détermination de l'énergie hydraulique massique E	246
3.5.3 Formules simplifiées pour E	250
3.5.4 Détermination de l'énergie massique nette à l'aspiration NPSE	260
3.6 Mesurage du couple sur l'arbre	270
3.6.1 Généralités	270
3.6.2 Méthodes de mesurage du couple	270
3.6.3 Méthodes pour absorber ou fournir la puissance.....	272
3.6.4 Schémas de montage.....	272
3.6.5 Contrôle du système.....	282
3.6.6 Etalonnage.....	282
3.6.7 Incertitude sur la mesure du couple	284
3.7 Mesurage de la vitesse de rotation	286
3.7.1 Généralités	286
3.7.2 Méthodes de mesurage de la vitesse	286
3.7.3 Contrôle	286
3.7.4 Incertitude de mesure.....	288

Clause	Page
3 Main hydraulic performances: methods of measurement and results	181
3.1 Data acquisition and data processing	181
3.1.1 Introduction and definitions	181
3.1.2 General requirements	181
3.1.3 Data acquisition	185
3.1.4 Component requirements	187
3.1.5 Check of the data acquisition system	193
3.2 Discharge measurement	197
3.2.1 General	197
3.2.2 Primary methods	201
3.2.3 Secondary methods	209
3.3 Pressure measurement	215
3.3.1 General	215
3.3.2 Choice of pressure-measuring section	215
3.3.3 Pressure taps and connecting lines	217
3.3.4 Apparatus for pressure measurement	223
3.3.5 Calibration of pressure measurement apparatus	237
3.3.6 Vacuum measurements	237
3.3.7 Uncertainty in pressure measurements	239
3.4 Free water level measurement	239
3.4.1 General	239
3.4.2 Choice of water level measuring sections	239
3.4.3 Number of measuring points in a measuring section	239
3.4.4 Measuring apparatus	241
3.4.5 Uncertainty in free water level measurement	245
3.5 Determination of E and NPSE	245
3.5.1 General	245
3.5.2 Determination of the specific hydraulic energy E	247
3.5.3 Simplified formulae for E	251
3.5.4 Determination of the net positive suction specific energy NPSE	261
3.6 Shaft torque measurement	271
3.6.1 General	271
3.6.2 Methods of torque measurement	271
3.6.3 Methods of absorbing/generating power	273
3.6.4 Layout of arrangement	273
3.6.5 Checking of system	283
3.6.6 Calibration	283
3.6.7 Uncertainty in torque measurement	285
3.7 Rotational speed measurement	287
3.7.1 General	287
3.7.2 Methods of speed measurement	287
3.7.3 Checking	287
3.7.4 Uncertainty of measurement	289

Articles	Pages
3.8	Calcul des résultats d'essai288
3.8.1	Généralités288
3.8.2	Calcul de la puissance, du débit et du rendement dans le domaine garanti298
3.8.3	Calcul de la vitesse et du débit d'emballement stabilisé328
3.9	Analyse des erreurs336
3.9.1	Principes de base (voir ISO 5168)336
3.9.2	Détermination des incertitudes lors des essais sur modèle.....340
3.10	Comparaison aux garanties350
3.10.1	Généralités350
3.10.2	Courbe d'interpolation et bande d'incertitude totale352
3.10.3	Puissance, débit et/ou énergie hydraulique massique et rendement dans le domaine garanti354
3.10.4	Vitesse et débit d'emballement362
3.10.5	Garanties de cavitation.....362
4	Données complémentaires de fonctionnement – Méthodes de mesurage et résultats366
4.1	Introduction au mesurage des données complémentaires366
4.1.1	Généralités366
4.1.2	Conditions d'essai et mode opératoire368
4.1.3	Incertitude de mesure.....368
4.1.4	Transposition du modèle au prototype368
4.2	Acquisition et traitement des données pour le mesurage des grandeurs fluctuantes370
4.2.1	Généralités370
4.2.2	Acquisition des données372
4.2.3	Traitement des données376
4.3	Fluctuations de pression378
4.3.1	Généralités378
4.3.2	Recommandations particulières pour le modèle et l'installation386
4.3.3	Instrumentation et étalonnage388
4.3.4	Détails de procédure390
4.3.5	Mesures396
4.3.6	Analyse, présentation et interprétation des résultats396
4.3.7	Transposition au prototype402
4.3.8	Incertitude.....408
4.4	Fluctuations de couple sur l'arbre410
4.4.1	Généralités410
4.4.2	Recommandations pour les mesures410
4.4.3	Analyse des résultats d'essais sur modèle410
4.4.4	Transposition au prototype410
4.5	Poussées axiale et radiale.....412
4.5.1	Généralités412
4.5.2	Poussée axiale.....414
4.5.3	Poussée radiale424

Clause	Page
3.8	Computation of test results.....289
3.8.1	General.....289
3.8.2	Computation of power, discharge and efficiency in the guarantee range....299
3.8.3	Computation of steady-state runaway speed and discharge329
3.9	Error analysis.....337
3.9.1	Basic principles (see ISO 5168).....337
3.9.2	Determination of uncertainties in model tests.....341
3.10	Comparison with guarantees351
3.10.1	General.....351
3.10.2	Interpolation curve and total uncertainty bandwidth353
3.10.3	Power, discharge and/or specific hydraulic energy and efficiency in the guarantee range.....355
3.10.4	Runaway speed and discharge363
3.10.5	Cavitation guarantees.....363
4	Additional performance data – Methods of measurement and results.....367
4.1	Introduction to additional data measurement.....367
4.1.1	General.....367
4.1.2	Test conditions and test procedures369
4.1.3	Uncertainty in measurements369
4.1.4	Model to prototype conversion369
4.2	Data acquisition and processing for measurement of fluctuating quantities371
4.2.1	General.....371
4.2.2	Data acquisition373
4.2.3	Data processing377
4.3	Pressure fluctuations.....379
4.3.1	General.....379
4.3.2	Special requirements for model and installation387
4.3.3	Instrumentation and calibration389
4.3.4	Detailed procedures391
4.3.5	Measurement397
4.3.6	Analysis, presentation and interpretation of results397
4.3.7	Transposition to prototype403
4.3.8	Uncertainties409
4.4	Shaft torque fluctuations411
4.4.1	General.....411
4.4.2	Recommendations for measurement411
4.4.3	Analysis of model test results411
4.4.4	Transposition to prototype411
4.5	Axial and radial thrust.....413
4.5.1	General.....413
4.5.2	Axial thrust.....415
4.5.3	Radial thrust.....425

Articles	Pages
4.6 Efforts hydrauliques sur les organes de réglage.....	430
4.6.1 Généralités	430
4.6.2 Couple sur les directrices	432
4.6.3 Couple sur les pales de roue	442
4.6.4 Force sur le pointeau et couple sur le déflecteur des turbines Pelton	452
4.7 Essais dans un domaine de fonctionnement élargi.....	458
4.7.1 Généralités	458
4.7.2 Terminologie	458
4.7.3 Objet des essais	464
4.7.4 Particularités de certains essais	466
4.8 Mesures de pression différentielle en vue des essais indiciels du prototype	470
4.8.1 Généralités	470
4.8.2 But de l'essai.....	472
4.8.3 Exécution de l'essai.....	472
4.8.4 Transposition aux conditions du prototype	474
4.8.5 Incertitude.....	474
 Annexe A (informative) Termes adimensionnels.....	 476
Annexe B (normative) Propriétés physiques, valeurs numériques	478
Annexe C (informative) Etablissement de l'équation adimensionnant l'énergie hydraulique massique de la machine	494
Annexe D (informative) Influence de la masse volumique réelle de l'eau, ρ_{wa} , sur les mesures et sur les étalonnages	498
Annexe E (informative) Procédure résumée d'essai et de calcul	500
Annexe F (normative) Effet d'échelle sur le rendement hydraulique des machines à réaction	508
Annexe G (normative) Calcul des caractéristiques d'emballement du prototype en tenant compte des pertes par frottement et par ventilation du groupe.....	518
Annexe H (informative) Exemple de détermination de la meilleure courbe lissée: méthode des segments séparés.....	520
Annexe J (informative) Exemples d'analyse des sources d'erreur et évaluation de l'incertitude.....	526
Annexe K (normative) Effet d'échelle sur le rendement des turbines Pelton	538
Annexe L (normative) Analyse des incertitudes aléatoires lors d'un essai dans des conditions de fonctionnement constantes	544
Annexe M (normative) Calcul du nombre de Thoma d'installation σ_{pl}	552
Annexe N (informative) Bilan schématique détaillé des énergies hydrauliques massiques, des débits et des puissances	560
Annexe P (informative) Bibliographie	566

Clause	Page
4.6 Hydraulic loads on control components	431
4.6.1 General.....	431
4.6.2 Guide vane torque.....	433
4.6.3 Runner blade torque.....	443
4.6.4 Pelton needle force and deflector torque.....	453
4.7 Testing in an extended operating range.....	459
4.7.1 General.....	459
4.7.2 Terminology	459
4.7.3 Scope of tests	465
4.7.4 Provisions for particular tests	467
4.8 Differential pressure measurement in view of prototype index test	471
4.8.1 General.....	471
4.8.2 Purpose of test.....	473
4.8.3 Execution of test	473
4.8.4 Transposition to prototype conditions.....	475
4.8.5 Uncertainty.....	475
Annex A (informative) Dimensionless terms	477
Annex B (normative) Physical properties, data	479
Annex C (informative) Derivation of the equation for the specific hydraulic energy of a machine.....	495
Annex D (informative) Influence of the density of actual water ρ_{wa} on measurement and calibration.....	499
Annex E (informative) Summarized test and calculation procedure	501
Annex F (normative) Scale-up of the hydraulic efficiency of reaction machines	509
Annex G (normative) Computation of the prototype runaway characteristics taking into account friction and windage losses of the unit.....	519
Annex H (informative) Example of determination of the best smooth curve: method of separate segments	521
Annex J (informative) Examples: analysis of sources of error and uncertainty evaluation	527
Annex K (normative) Efficiency scale-up for Pelton turbines	539
Annex L (normative) Analysis of random uncertainties for a test at constant operating conditions.....	545
Annex M (normative) Calculation of plant Thoma number σ_{pl}	553
Annex N (informative) Detailed flux diagram of specific hydraulic energy, flow and power.....	561
Annex P (informative) Bibliography	567

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES – ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentés dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60193 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Cette deuxième édition de la CEI 60193 annule et remplace la première édition de la CEI 60193 parue en 1965, sa modification n° 1 (1977), son premier complément CEI 60193A (1972), ainsi que la CEI 60497 (1976) et la CEI 60995 (1991).

Les articles 1 à 3 de la présente norme couvrent le domaine traité dans les publications susmentionnées. En outre des informations supplémentaires sont données à l'article 4.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/157/FDIS	4/162/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les annexes B, F, G, K, L et M font partie intégrante de cette norme.

Les annexes A, C, D, E, H, J, N et P sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2004. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée; ou
- amendée.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS
AND PUMP-TURBINES –
MODEL ACCEPTANCE TESTS**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60193 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This second edition of IEC 60193 cancels and replaces the first edition of IEC 60193 published in 1965, its amendment 1 (1977), IEC 60193A (1972), as well as IEC 60497 (1976) and IEC 60995 (1991).

Clauses 1 to 3 of this standard cover the scopes dealt with in the above-mentioned publications. Additional information is given in clause 4.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
4/157/FDIS	4/162/RVD

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

Annexes B, F, G, K, L and M form an integral part of this standard.

Annexes A, C, D, E, H, J, N and P are for information only.

The committee has decided that this publication remains valid until 2004. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES – ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE

1 Règles générales

1.1 Domaine d'application et objet

1.1.1 Domaine d'application

La présente Norme internationale est applicable aux modèles de laboratoire de tout type de turbine hydraulique à action ou à réaction, de pompe d'accumulation ou de pompe-turbine.

Elle s'applique aux modèles de machines prototypes ayant une puissance unitaire supérieure à 5 MW ou un diamètre de référence supérieur à 3 m. Bien que l'application intégrale des procédures prescrites ne soit généralement pas justifiée pour des machines de puissance et de dimension inférieures, la présente norme peut néanmoins être utilisée pour de telles machines après accord entre l'acheteur et le fournisseur.

Dans cette norme, le terme «turbine» inclut une pompe-turbine fonctionnant en turbine et le terme «pompe» inclut une pompe-turbine fonctionnant en pompe.

Cette norme exclut tous les sujets à caractère purement commercial, excepté ceux intimement liés à la bonne conduite des essais.

Cette norme ne concerne ni les détails de construction des machines, ni les propriétés mécaniques de leurs différentes parties pour autant que ces éléments n'affectent pas le fonctionnement du modèle ni la relation entre les performances du modèle et celles du prototype.

1.1.2 Objet

La présente Norme internationale régit les modalités des essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines en vue de déterminer si les garanties contractuelles de performances hydrauliques principales (voir 1.4.2) sont respectées.

Elle fixe les règles qui gouvernent la conduite de ces essais et prescrit les mesures à prendre en cas de contestation d'une phase quelconque des essais.

Les objectifs principaux de la présente Norme internationale sont

- de définir les termes et les grandeurs utilisés;
- de prescrire les méthodes d'essai et les façons de mesurer les grandeurs permettant d'évaluer les performances hydrauliques du modèle;
- de prescrire les méthodes de calcul des résultats et de comparaison aux garanties;
- de déterminer si les garanties contractuelles qui sont du domaine de cette norme sont respectées;
- de définir l'étendue, le contenu et la présentation du rapport final.

Les garanties peuvent être données de l'une des façons suivantes:

- garanties reposant sur les performances hydrauliques du prototype, calculées à partir des résultats d'essai du modèle en tenant compte des effets d'échelle;
- garanties reposant sur les performances hydrauliques du modèle.

HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES – MODEL ACCEPTANCE TESTS

1 General rules

1.1 Scope and object

1.1.1 Scope

This International Standard applies to laboratory models of any type of impulse or reaction hydraulic turbine, storage pump or pump-turbine.

This standard applies to models of prototype machines either with unit power greater than 5 MW or with reference diameter greater than 3 m. Full application of the procedures herein prescribed is not generally justified for machines with smaller power and size. Nevertheless, this standard may be used for such machines by agreement between purchaser and supplier.

In this standard, the term "turbine" includes a pump-turbine operating as a turbine and the term "pump" includes a pump-turbine operating as a pump.

This standard excludes all matters of purely commercial interest, except those inextricably bound up with the conduct of the tests.

This standard is concerned with neither the structural details of the machines nor the mechanical properties of their components, so long as these do not affect model performance or the relationship between model and prototype performances.

1.1.2 Object

This International Standard covers the arrangements for model acceptance tests to be performed on hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines to determine if the main hydraulic performance contract guarantees (see 1.4.2) have been satisfied.

It contains the rules governing test conduct and prescribes measures to be taken if any phase of the tests is disputed.

The main objectives of this standard are:

- to define the terms and quantities used;
- to specify methods of testing and of measuring the quantities involved, in order to ascertain the hydraulic performance of the model;
- to specify the methods of computation of results and of comparison with guarantees;
- to determine if the contract guarantees, which fall within the scope of this standard, have been fulfilled;
- to define the extent, content and structure of the final report.

The guarantees can be given in one of the following ways:

- guarantees for prototype hydraulic performance, computed from model test results considering scale effects;
- guarantees for model hydraulic performance.

Par ailleurs des données complémentaires de fonctionnement (voir 1.4.4) peuvent être nécessaires pour la conception ou l'exploitation de la machine hydraulique prototype. Contrairement aux prescriptions indiquées aux articles 1 à 3 relatives aux performances hydrauliques principales, les informations sur ces données complémentaires décrites à l'article 4 ne sont considérées que comme des recommandations ou des conseils à l'utilisateur (voir 4.1).

Il est particulièrement recommandé d'effectuer les essais de réception sur modèle lorsque les conditions pratiques dans lesquelles seraient faits des essais de réception sur le site (voir CEI 60041) ne permettraient pas de prouver le respect des garanties données pour le prototype.

La présente norme peut aussi s'appliquer aux essais sur modèle effectués à d'autres fins, par exemple des essais comparatifs ou des travaux de recherche et développement.

Lorsque des essais de réception sur modèle ont été réalisés, les essais sur place peuvent se réduire à des essais indiciels (voir CEI 60041, article 15).

S'il apparaît une contradiction entre cette norme et d'autres normes, les dispositions de la présente norme prévalent.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60041:1991, *Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines, en vue de la détermination de leurs performances hydrauliques*

CEI 60609:1978, *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques*

CEI 60609-2:1997, *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques – Partie 2: Evaluation dans les turbines Pelton*

CEI 60994:1991, *Guide pour la mesure in situ des vibrations et fluctuations sur machines hydrauliques (turbines, pompes d'accumulation et pompes turbines)*

CEI 61364:1999, *Nomenclature des machines hydrauliques*

CEI 61366 (toutes les parties), *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Documents d'appel d'offres*

ISO 31-3:1992, *Grandeurs et unités – Partie 3: Mécanique*

ISO 31-12:1992, *Grandeurs et unités – Partie 12: Nombres caractéristiques*

ISO 468:1982, *Rugosité de surface – Paramètres, leurs valeurs et les règles générales de la détermination des spécifications*

ISO 1438-1:1980, *Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux Venturi – Partie 1: Déversoirs en mince paroi*

Moreover additional performance data (see 1.4.4) can be needed for the design or the operation of the prototype of the hydraulic machine. Contrary to the requirements of clauses 1 to 3 related to main hydraulic performance the information of these additional data given in clause 4 is considered only as recommendation or guidance to the user (see 4.1).

It is particularly recommended that model acceptance tests be performed if the expected field conditions for acceptance tests (see IEC 60041) would not allow the verification of guarantees given for the prototype machine.

This standard may also be applied to model tests for other purposes, i.e. comparative tests and research and development work.

If model acceptance tests have been performed, field tests can be limited to index tests (see IEC 60041, clause 15).

If a contradiction is found between this standard and any other standard, this standard shall prevail.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60041:1991, *Field acceptance test to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*

IEC 60609:1978, *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*

IEC 60609-2:1997, *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Part 2: Evaluation in Pelton turbines*

IEC 60994:1991, *Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)*

IEC 61364:1999, *Nomenclature of hydraulic machinery*

IEC 61366 (all parts), *Hydraulic turbines storage pumps and pump-turbines – Tendering documents*

ISO 31-3:1992, *Quantities and units – Part 3: Mechanics*

ISO 31-12:1992, *Quantities and units – Part 12: Characteristic numbers*

ISO 468:1982, *Surface roughness – Parameters, their values and general rules for specifying requirements*

ISO 1438-1:1980, *Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes – Part 1: Thin-plate weirs*

ISO 2186:1973, *Débit des fluides dans les conduites fermées – Liaisons pour la transmission du signal de pression entre les éléments primaires et secondaires*

ISO 2533:1975, *Atmosphère-type*
Additif 1: 1985

ISO 4006:1991, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Vocabulaire et symboles*

ISO 4185:1980, *Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées – Méthode par pesée*

ISO 4373:1995, *Mesure de débit des liquides dans les chenaux – Appareils de mesure du niveau de l'eau*

ISO 5167-1:1991, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes – Partie 1: Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire*

ISO 5168:1978, *Mesure de débit des fluides – Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit*

ISO 6817:1992, *Mesure de débit d'un fluide conducteur dans les conduites fermées – Méthode par débitmètres électromagnétiques*

ISO 7066-1:1997, *Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit – Partie 1: Relations d'étalonnage linéaires*

ISO 7066-2:1988, *Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit – Partie 2: Relations d'étalonnage non linéaires*

ISO 8316:1987, *Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées – Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique*

ISO 9104:1991, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Méthodes d'évaluation de la performance des débitmètres électromagnétiques utilisés pour les liquides*

VIM:1993, *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (BIPM-CEI-ISO-OIML)*

ISO 2186:1973, *Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements*

ISO 2533:1975, *Standard atmosphere*
Addendum 1: 1985

ISO 4006:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Vocabulary and symbols*

ISO 4185:1980, *Measurement of liquid flow in closed conduits – Weighing method*

ISO 4373:1995, *Measurement of liquid flow in open channels – Water level measuring devices*

ISO 5167-1:1991, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full*

ISO 5168:1978, *Measurement of fluid flow – Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement*

ISO 6817:1992, *Measurement of conductive liquid flow in closed conduits – Method using electromagnetic flowmeters*

ISO 7066-1:1997, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 1: Linear calibration relationship*

ISO 7066-2:1988, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 2: Non-linear calibration relationships*

ISO 8316: 1987, *Measurement of liquid flow in closed conduits – Method by collection of the liquid in a volumetric tank*

ISO 9104:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods of evaluating the performance of electromagnetic flow-meters for liquids*

VIM:1993, *International vocabulary of basic and general terms in metrology (BIPM-IEC-ISO-OIML)*