



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Hydraulic machines – Acceptance tests of small hydroelectric installations

Machines hydrauliques – Essais de réception des petits aménagements hydroélectriques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XE**
CODE PRIX

ICS 27.140

ISBN 978-2-88912-228-8

CONTENTS

FOREWORD.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms, definitions and schematic layout	10
3.1 Terms and definitions	10
3.2 Schematic layout of a hydroelectric installation	10
4 Nature and extent of guarantees.....	11
4.1 Grouping of classes A, B, C.....	11
4.1.1 General	11
4.1.2 Contract conditions.....	13
4.2 Scope of performance guarantee.....	13
4.2.1 General	13
4.2.2 Class A: Maximum power output.....	13
4.2.3 Class B: Index test	13
4.2.4 Class C: Turbine efficiency.....	13
4.2.5 Interpretation of losses	13
4.3 Scope of tests	14
4.3.1 Safety tests	14
4.3.2 Trial run and reliability tests.....	14
4.3.3 Performance test	14
4.4 Aptitude.....	15
4.5 Warranty	15
5 Safety tests (commissioning)	16
5.1 Pre-start tests	16
5.2 Closing devices	16
5.2.1 General	16
5.2.2 Intake gate or valve	17
5.2.3 Turbine inlet valve	17
5.2.4 Guide vanes (Francis and Kaplan turbines)	17
5.2.5 Needle valve and deflector (Pelton and Turgo turbines).....	18
5.3 First run operation and control.....	19
5.4 Bearing run at rated speed	19
5.5 Emergency shutdown (no load)	20
5.6 Electrical protection.....	20
5.7 Overspeed test.....	21
5.8 Runaway test	21
5.9 Overpressure, emergency trip and load rejection tests	22
5.9.1 General conditions	22
5.9.2 Testing the guide vanes or needle valves	23
5.9.3 Testing the turbine inlet valve	23
5.9.4 Testing the pressure relief valve	23
5.9.5 Pressure rise	23
5.10 Measured quantities	25
5.10.1 Pressure.....	25
5.10.2 Speed.....	25
5.10.3 Control components.....	25

6	Trial operating and reliability tests (commissioning).....	25
6.1	General.....	25
6.2	Temperature stability of rotating parts	25
6.2.1	General	25
6.2.2	Temperature guarantees	26
6.3	Speed controller system	26
6.3.1	General	26
6.3.2	Unit operating without regulation	26
6.3.3	Unit operating with a speed governor.....	27
6.3.4	Unit operating with a voltage governor.....	28
6.3.5	Unit operating with a controller	28
6.3.6	Measurements when testing the control system	28
6.4	Control of cam correlation	29
7	Performance guarantees and tests	29
7.1	General.....	29
7.2	Maximum generator (transformer) power output as a function of net head	30
7.2.1	Guarantee	30
7.2.2	Instrumentation.....	30
7.3	Index test	30
7.3.1	General	30
7.3.2	Index discharge measurement	31
7.3.3	Shape control	31
7.3.4	Index plant efficiency.....	32
7.3.5	Optimizing cam correlation	33
7.4	Turbine efficiency.....	33
7.4.1	Efficiency test by absolute discharge measurement.....	33
7.4.2	Efficiency test by thermodynamic method	34
7.5	Correcting the efficiency using the model curve.....	34
8	Computation of results and comparison to the guarantee.....	36
8.1	General.....	36
8.1.1	Site data.....	36
8.1.2	Measured values (readings)	36
8.1.3	Scale effect due to water temperature	37
8.1.4	Shifting of the plant characteristic.....	37
8.2	Power output.....	37
8.2.1	Plant power output measurement	37
8.2.2	Generator power output measurement.....	38
8.2.3	Turbine power output measurement.....	38
8.3	Relative turbine efficiency (index test).....	38
8.3.1	General	38
8.3.2	Relative discharge.....	38
8.3.3	Guarantee of the shape of the plant characteristics	39
8.3.4	Relative index plant efficiency	40
8.4	Absolute turbine efficiency	40
8.4.1	General	40
8.4.2	Absolute discharge	40
8.4.3	Guarantee of the plant efficiency and comparison to the results	40
9	Error analysis	40

9.1	General	40
9.2	Estimation of systematic (bias) uncertainties	41
9.2.1	General	41
9.2.2	Typical systematic uncertainties	41
9.2.3	Systematic uncertainty for turbines used to indicate discharge	42
9.3	Estimation of random (precision) uncertainties	42
9.3.1	Measurement at a single operation point	42
9.3.2	Measurement over a range of operating condition	44
9.4	Evaluation of the uncertainties	45
9.4.1	General	45
9.4.2	Head	45
9.4.3	Power output	47
9.4.4	Index test measurement	49
9.4.5	Efficiency test by absolute discharge measurement.....	51
9.4.6	Efficiency test by the thermodynamic method	51
10	Other guarantees	51
10.1	Cavitation	51
10.1.1	General	51
10.1.2	Measurement methods	52
10.1.3	Comparison with specified guarantees.....	52
10.2	Noise	53
10.2.1	General	53
10.2.2	Measurement methods	53
10.2.3	Comparison with specified guarantees.....	54
10.3	Vibration.....	54
10.3.1	General	54
10.3.2	Measurements and measurement methods.....	54
10.3.3	Comparison with specified guarantees.....	55
Annex A	(normative) Terms, definitions, symbols and units.....	56
Annex B	(normative) Head definition	64
Annex C	(normative) Method of speed measurements	77
Annex D	(normative) Power output measurement	78
Annex E	(normative) Methods of discharge measurement.....	82
Annex F	(informative) Plant condition	95
Annex G	(informative) Commissioning	97
Annex H	(informative) Performance test efficiency calculation	99
Annex I	(informative) Cam correlation test	106
Bibliography	109
Figure 1	– Schematic layout of a hydroelectric installation (water to wire system).....	11
Figure 2	– Warranty period	16
Figure 3	– Vanes and blades servomotors force measurements (Kaplan on line)	17
Figure 4	– Evaluation of the guide vane (GV) closing characteristic	18
Figure 5	– Needle servomotor force	18
Figure 6	– Automatic start – Synchronization – No load test (Kaplan turbine).....	19
Figure 7	– Emergency shutdown from no load test (Kaplan turbine).....	20

Figure 8 – Runaway test (Kaplan turbine)	21
Figure 9 – Emergency shutdown due to an electrical fault.....	22
Figure 10 – Emergency shutdown due to a mechanical fault	23
Figure 11 – Emergency shutdown due to the governor failure	24
Figure 12 – Evaluation of the maximum overpressure	24
Figure 13 – Temperature stability, recording at no load up to stable conditions	26
Figure 14 – Speed governor check at no load	27
Figure 15 – Maximum power output: procedure to compare measured power output at actual net head to the guarantee.....	30
Figure 16 – Comparison of the shape of the turbine characteristic to the guarantee.....	32
Figure 17 – Example of an optimized switch band for 1 and 2 turbine operation.....	33
Figure 18 – Efficiency test: procedure to compare guaranteed turbine efficiency to the prototype measurement results, including the overall uncertainties	34
Figure 19 – Hill chart – Showing head loss examples with one and two units in operation using the same penstock.....	35
Figure 20 – Shifting of the performance curves	37
Figure 21 – Variation of factor k and exponent x on turbine index efficiency.....	39
Figure 22 – Random uncertainties of a single operation point, example for penstock pressure variation and fluctuation	43
Figure 23 – Detection of outlier errors: example to find out offset and reading errors by plotting in linear and logarithmic form with the same data.....	44
Figure 24 – Example of scattered points with function of second order	44
Figure 25 – Scattered points smoothed by individual fitting on adjacent sections	45
Figure 26 – Overall uncertainty of head for free water level for low head turbines	46
Figure 27 – Overall uncertainty of head in a closed conduit	47
Figure 28 – Estimated overall uncertainties of the discharge by index measurement versus full scale differential pressure	50
Figure 29 – Operation range and cavitation limits	52
Figure A.1 – Transient pressure fluctuation at the turbine high pressure reference section, when a specified load is suddenly rejected	61
Figure A.2 – Transient pressure fluctuation at the turbine high pressure reference section, when a specified load is suddenly accepted.....	62
Figure B.1 – High pressure reference and measuring sections.....	65
Figure B.2 – Measuring section at tail water.....	66
Figure B.3 – Measuring section at draft tube.....	66
Figure B.4 – Definition of measuring sections	67
Figure B.5 – Kaplan turbine with horizontal shaft	68
Figure B.6 – Kaplan turbine with vertical shaft	68
Figure B.7 – Francis open flume turbine with vertical shaft	69
Figure B.8 – Francis turbine with horizontal shaft.....	69
Figure B.9 – Francis turbine with vertical shaft, with stagnation probe	70
Figure B.10 – Francis turbine with horizontal shaft with pressure on suction side.....	70
Figure B.11 – Pelton turbine with horizontal shaft	71
Figure B.12 – Pelton turbine with vertical shaft	71
Figure B.13 – Turgo turbine with horizontal shaft	72
Figure B.14 – Turgo turbine with vertical shaft	72

Figure B.15 – Crossflow turbine with horizontal shaft, with draft tube	73
Figure B.16 – Crossflow turbine with horizontal shaft, without draft tube	73
Figure B.17 – Specifications for static pressure taps	74
Figure B.18 – Example: discharge versus guide vane opening	76
Figure C.1 – Overspeed and runaway	77
Figure D.1 – Typical losses of a synchronous generator	79
Figure D.2 – Asynchronous generator: typical power factor and slip factor	80
Figure D.3 – Power measurement using the two wattmeter method	80
Figure D.4 – Power measurement using the three wattmeter method	81
Figure E.1 – Typical arrangements of acoustic transducers	84
Figure E.2 – Arrangement for pressure time method	85
Figure E.3 – Example of pressure-time diagram for a uniform conduit	86
Figure E.4 – Example of pressure-time diagram for a non-uniform conduit	86
Figure E.5 – Example of pressure-time diagram for a combination of uniform and non-uniform conduits between several sections	87
Figure E.6 – Location of taps for differential pressure method of discharge measurement	93
Figure E.7 – Location of taps for differential pressure measurement of discharge in a bulb turbine	93
Figure E.8 – Location of taps for Winter-Kennedy method of discharge measurement through a turbine equipped with a steel spiral case	94
Figure H.1 – Comparison of measured index efficiency with the guaranteed values	105
Figure I.1 – Index measurement to optimize the efficiency	107
Figure I.2 – Two dimensional cam correlation	108
Table 1 – Scope of classes A, B, and C	12
Table 2 – Maximum runaway speeds (n_{RUN}) expressed as a percentage of rated speed	21
Table 3 – Performance test parameters	29
Table 4 – Index discharge measurement methods	31
Table 5 – Site data	36
Table 6 – Systematic uncertainties at full load	41
Table 7 – Systematic uncertainties of discharge versus turbine opening	42
Table 8 – Overall uncertainties of the shape of turbine characteristics with respect to the guaranteed efficiency	49
Table 9 – Data used in Figure 28	51
Table 10 – Limits for cavitation damage	53
Table A.1 – Density of water	62
Table E.1 – Selection of flow measurement method	82
Table E.2 – Evaluation of the penstock factor with estimation of the systematic uncertainty	91
Table H.1 – Plant index efficiency guarantee	99
Table H.2 – Transformer data	100
Table H.3 – Data measurements (not all tests included)	101
Table H.4 – Calculation of results	102

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

HYDRAULIC MACHINES – ACCEPTANCE TESTS OF SMALL HYDROELECTRIC INSTALLATIONS

FOREWORD

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

International Standard IEC 62006 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

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

FDIS	Report on voting
4/254/FDIS	4/257/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.

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

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

HYDRAULIC MACHINES – ACCEPTANCE TESTS OF SMALL HYDROELECTRIC INSTALLATIONS

1 Scope

This International Standard defines the test, the measuring methods and the contractual guarantee conditions for field acceptance tests of the generating machinery in small hydroelectric power installations. It applies to installations containing impulse or reaction turbines with unit power up to about 15 MW and reference diameter of about 3 m. The driven generator can be of synchronous or asynchronous type.

This International Standard contains information about most of the tests required for acceptance of the hydraulic turbine such as safety approval tests, trial operating and reliability tests, as well for verification of cavitation, noise and vibration conditions, if required.

This standard represents the typical methods used on smaller hydroelectric installations, and is divided into three classes as follows (see Table 1 for more detail):

Class A	Normal test program (panel measurement) To determine the maximum power output of the installation.	Default
Class B	Extended test program To determine the performance characteristics of the installation.	Recommended
Class C	Comprehensive test program To determine the absolute efficiency of the installation.	Optional

NOTE All classes contain safety tests, trial operating tests, and reliability tests.

This standard gives all necessary references for the contract in order to execute the test, evaluate, calculate and compare the result to the guarantee for all the classes A, B and C.

The manufacturer or consulting engineer is responsible for ensuring that standardized connections are installed for performing these tests. This standard does not cover the structural details of a hydroelectric installation or its component parts.

2 Normative references

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

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

IEC 60193, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*

IEC 60308, *Hydraulic turbines – Testing of control systems*

IEC 60609 (all parts), *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Cavitation pitting evaluation*

IEC 60651, *Specification for sound level meters*

IEC 61362, *Guide to specification of hydraulic turbine control systems*

ISO 1680 *Acoustics – Test code for the measurement of airborne noise emitted by rotating electrical machinery*

ISO 1940-1:2003, *Mechanical vibration – Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state – Part 1: Specification and verification of balance tolerances*

ISO 3746, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

ISO 4412 (all parts), *Hydraulic fluid power – Test code for determination of airborne noise levels*

ISO 5168, *Measurement of fluid flow – Procedures for the evaluation of uncertainties*

ISO 7919-5, *Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts – Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*

ISO 10816-3, *Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*

ANSI/IEEE 810, *Hydraulic Turbine and Generator Integrally Forged Shaft Couplings and Shaft Runout Tolerances*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	116
1 Domaine d'application	118
2 Références normatives.....	118
3 Termes, définitions et schéma d'un aménagement	119
3.1 Termes et définitions.....	119
3.2 Schéma d'un aménagement hydroélectrique.....	120
4 Nature et étendue des garanties.....	121
4.1 Groupage des classes A, B, C.....	121
4.1.1 Généralités.....	121
4.1.2 Conditions du contrat.....	122
4.2 Domaine d'application de la garantie de performance.....	122
4.2.1 Généralités.....	122
4.2.2 Classe A: Puissance maximale en sortie	122
4.2.3 Classe B: Essai indiciel	122
4.2.4 Classe C: Rendement de la turbine	122
4.2.5 Interprétation des pertes.....	123
4.3 Domaine d'application des essais.....	123
4.3.1 Essais de sécurité:	123
4.3.2 Essais de fonctionnement et de fiabilité.....	123
4.3.3 Essai de performance.....	123
4.4 Aptitude.....	124
4.5 Garantie	125
5 Essais de sécurité (mise en service).....	125
5.1 Essais avant le démarrage	125
5.2 Dispositifs de fermeture.....	126
5.2.1 Généralités.....	126
5.2.2 Porte de prise d'eau ou vanne	126
5.2.3 Vanne d'entrée	126
5.2.4 Distributeur (turbines Francis et Kaplan).....	126
5.2.5 Injecteur et défecteur (turbines Pelton et Turgo)	127
5.3 Fonctionnement et contrôle de la première période de fonctionnement.....	128
5.4 Fonctionnement des paliers à la vitesse nominale	128
5.5 Arrêt d'urgence (marche à vide)	129
5.6 Protection électrique	129
5.7 Essais de survitesse.....	130
5.8 Essais d'emballement.....	130
5.9 Essais de variation de pression transitoire, de déclenchement d'urgence et de suppression de charge	131
5.9.1 Conditions générales.....	131
5.9.2 Essai des directrices ou injecteur	132
5.9.3 Essai de la vanne d'admission.....	133
5.9.4 Essai de la soupape de sécurité	133
5.9.5 Suppression	133
5.10 Quantités mesurées	134
5.10.1 Pression	134
5.10.2 Vitesse	134

5.10.3	Composants de contrôle	135
6	Essais de fonctionnement et essais de fiabilité (mise en service)	135
6.1	Généralités.....	135
6.2	Stabilité de température des pièces tournantes	135
6.2.1	Généralités.....	135
6.2.2	Garanties de température	136
6.3	Systèmes de contrôle de la vitesse	136
6.3.1	Généralités.....	136
6.3.2	Groupe sans régulation	137
6.3.3	Groupe avec régulateur de vitesse	137
6.3.4	Groupe avec régulateur de tension	138
6.3.5	Groupe avec un élément de contrôle	138
6.3.6	Mesures réalisées lors de l'essai du système de contrôle	139
6.4	Contrôle de la corrélation des cames.....	139
7	Garanties et essais de performance	139
7.1	Généralités.....	139
7.2	Puissance maximale à la sortie du générateur (transformateur) en fonction de la hauteur de charge nette.....	140
7.2.1	Garantie	140
7.2.2	Appareils de mesure.....	140
7.3	Essai indiciel	141
7.3.1	Généralités.....	141
7.3.2	Mesure du débit indiciel.....	142
7.3.3	Contrôle de forme.....	142
7.3.4	Rendement indiciel de l'aménagement	143
7.3.5	Optimisation de la corrélation des cames	144
7.4	Rendement de la turbine	144
7.4.1	Détermination du rendement par mesurage du débit.....	144
7.4.2	Détermination du rendement par la méthode thermodynamique.....	145
7.5	Correction du rendement en utilisant la courbe du modèle.....	145
8	Calcul des résultats et comparaison avec les garanties	148
8.1	Généralités.....	148
8.1.1	Données du site	148
8.1.2	Valeurs mesurées (lectures).....	148
8.1.3	Effet d'échelle dû à la température de l'eau	149
8.1.4	Modification des caractéristiques de l'aménagement	149
8.2	Puissance	150
8.2.1	Mesure de puissance en sortie de l'aménagement.....	150
8.2.2	Mesure de puissance en sortie de la génératrice	150
8.2.3	Mesure de puissance en sortie de la turbine	150
8.3	Rendement relatif de la turbine (essai indiciel)	150
8.3.1	Généralités.....	150
8.3.2	Débit relatif.....	150
8.3.3	Garantie sur la forme des caractéristiques de l'aménagement	151
8.3.4	Rendement indiciel relatif de l'aménagement.....	152
8.4	Rendement absolu de la turbine	152
8.4.1	Généralités.....	152
8.4.2	Débit absolu	152

8.4.3	Garantie du rendement de l'aménagement et comparaison avec les résultats	152
9	Analyse des erreurs.....	153
9.1	Généralités.....	153
9.2	Estimation de l'incertitude systématique (erreur systématique).....	153
9.2.1	Généralités.....	153
9.2.2	Incertitudes systématiques typiques	153
9.2.3	Incertitude systématique pour des turbines utilisées comme indicateur de débit.....	154
9.3	Estimation de l'incertitude aléatoire (précision)	154
9.3.1	Mesures en un seul point de fonctionnement	154
9.3.2	Mesures sur toute la plage de fonctionnement.....	156
9.4	Évaluation des incertitudes.....	158
9.4.1	Généralités.....	158
9.4.2	Hauteur de charge.....	158
9.4.3	Puissance.....	159
9.4.4	Mesures dans le cadre de l'essai indiciel.....	161
9.4.5	Détermination du rendement par mesure du débit.....	164
9.4.6	Détermination du rendement par la méthode thermodynamique.....	164
10	Autres garanties	164
10.1	Cavitation.....	164
10.1.1	Généralités.....	164
10.1.2	Méthodes de mesure	165
10.1.3	Comparaison avec les garanties spécifiées	165
10.2	Bruit.....	166
10.2.1	Généralités.....	166
10.2.2	Méthodes de mesure	166
10.2.3	Comparaison avec les garanties spécifiées	167
10.3	Vibrations.....	167
10.3.1	Généralités.....	167
10.3.2	Mesures et méthodes de mesure.....	167
10.3.3	Comparaison avec les garanties spécifiées	168
Annexe A (normative)	Termes, définitions, symboles et unités.....	170
Annexe B (normative)	Définition de la hauteur de charge.....	178
Annexe C (normative)	Méthodes de mesure de la vitesse	191
Annexe D (normative)	Mesurage de la puissance.....	192
Annexe E (normative)	Méthodes de mesurage du débit.....	196
Annexe F (informative)	Données de l'aménagement	209
Annexe G (informative)	Mise en service.....	211
Annexe H (informative)	Calcul du rendement pour l'essai de performance	213
Annexe I (informative)	Essai de corrélation des cames	220
Bibliographie.....		223
Figure 1 – Schéma d'un aménagement hydroélectrique (système « de l'eau jusqu'aux câbles »).....		120
Figure 2 – Période de garantie.....		125
Figure 3 – Mesures des efforts des servomoteurs des directrices et pales (Kaplan en ligne)		126

Figure 4 – Evaluation des caractéristiques de fermeture des aubes directrices	127
Figure 5 – Efforts de manœuvre du servomoteur du pointeau	127
Figure 6 – Démarrage automatique – Synchronisation – Essai marche à vide (turbine Kaplan).....	128
Figure 7 – Arrêt d’urgence dans le cas d’un essai de marche à vide (turbine Kaplan)	129
Figure 8 – Essai d’emballement (turbine Kaplan)	131
Figure 9 – Arrêt d’urgence suite à un défaut électrique	132
Figure 10 – Arrêt d’urgence suite à un défaut mécanique.....	132
Figure 11 – Arrêt d’urgence suite à une défaillance du régulateur.....	133
Figure 12 – Évaluation de la surpression maximale.....	134
Figure 13 – Stabilité de température, enregistrement depuis le fonctionnement sans charge jusqu’aux conditions de fonctionnement stables	136
Figure 14 – Vérification du régulateur de vitesse, sans charge.....	137
Figure 15 – Puissance de sortie maximale: procédure de comparaison de la puissance mesurée à la hauteur de charge nette réelle avec la valeur garantie	141
Figure 16 – Comparaison de la forme des caractéristiques de la turbine par rapport à la garantie	143
Figure 17 – Exemple d’une bande de commutation optimisée pour un fonctionnement avec une et deux turbines.....	144
Figure 18 – Essai de rendement: procédure de comparaison du rendement garanti de la turbine par rapport aux résultats de mesure du prototype, y compris les incertitudes globales.....	145
Figure 19 – Diagramme des collines de rendement – Exemples de pertes de hauteur de charge avec un ou deux groupes en fonctionnement utilisant la même conduite forcée	147
Figure 20 – Glissement des courbes de performance.....	149
Figure 21 – Variation du facteur k et de l’exposant x sur le rendement indiciel de la turbine	151
Figure 22 – Incertitudes aléatoires sur un point de fonctionnement unique, exemple pour la variation et la fluctuation de pression dans une conduite forcée	156
Figure 23 – Détection de valeurs aberrantes: exemple pour trouver le décalage et les erreurs de lecture par tracé des mêmes données sous forme linéaire ou logarithmique	156
Figure 24 – Exemple de points dispersés avec une fonction de deuxième ordre	157
Figure 25 – Points dispersés lissés par un ajustement individuel sur des sections adjacentes	157
Figure 26 – Incertitude globale sur la mesure de la hauteur de charge à partir de la mesure du niveau d’eau libre pour les turbines de basse chute.....	158
Figure 27 – Incertitude globale sur la hauteur de charge dans une conduite fermée	159
Figure 28 – Incertitudes globales estimées sur la mesure de débit indiciel en fonction de la pression différentielle.....	163
Figure 29 – Plage de fonctionnement et limites de cavitation	165
Figure A.1 – Fluctuation de la pression transitoire au niveau de la section de référence haute pression de la turbine, lorsqu’une charge spécifiée est soudainement supprimée.....	175
Figure A.2 – Fluctuation de la pression transitoire au niveau de la section de référence haute pression de la turbine, lorsqu’une charge spécifiée est soudainement acceptée.....	176
Figure B.1 – Sections de référence et de mesure côté haute pression	179
Figure B.2 – Section de mesure au niveau de la galerie d’évacuation	180
Figure B.3 – Section de mesure au niveau du tube d’aspiration	180

Figure B.4 – Définition des sections de mesure	181
Figure B.5 – Turbine Kaplan à arbre horizontal	182
Figure B.6 – Turbine Kaplan à arbre vertical	182
Figure B.7 – Turbine Francis en canal ouvert et arbre vertical	183
Figure B.8 – Turbine Francis à arbre horizontal	183
Figure B.9 – Turbine Francis à arbre vertical, avec tubes de Pitot.....	184
Figure B.10 – Turbine Francis à arbre horizontal avec pression côté aspiration	184
Figure B.11 – Turbine Pelton à arbre horizontal	185
Figure B.12 – Turbine Pelton à arbre vertical	185
Figure B.13 – Turbine Turgo à arbre horizontal	186
Figure B.14 – Turbine Turgo à arbre vertical.....	186
Figure B.15 – Turbine crossflow à arbre horizontal avec tube d'aspiration	187
Figure B.16 – Turbine crossflow avec arbre horizontal sans tube d'aspiration	187
Figure B.17 – Spécifications pour les prises de pression statiques	188
Figure B.18 – Exemple: débit en fonction de l'ouverture du distributeur	190
Figure C.1 – Survitesse et emballement.....	191
Figure D.1 – Pertes typiques d'un générateur synchrone	193
Figure D.2 – Générateur asynchrone: facteur de puissance typique et glissement	194
Figure D.3 – Mesure de puissance utilisant la méthode des deux wattmètres	194
Figure D.4 – Mesure de puissance utilisant la méthode des trois wattmètres	195
Figure E.1 – Installations typiques des transducteurs à ultrasons	198
Figure E.2 – Equipement pour la méthode pression-temps.....	199
Figure E.3 – Exemple de diagramme pression-temps pour une conduite à section constante.....	200
Figure E.4 – Exemple de diagramme pression-temps pour une conduite à section variable.....	200
Figure E.5 – Exemple de diagramme pression-temps pour une combinaison de conduites à sections constante et variable entre plusieurs sections	201
Figure E.6 – Emplacement des prises de pression pour la détermination du débit par la mesure de la pression différentielle.....	207
Figure E.7 – Emplacement des prises de pression pour la détermination du débit par la mesure de la pression différentielle sur une turbine bulbe	208
Figure E.8 – Emplacement des prises de pression pour la méthode Winter-Kennedy de mesurage du débit à travers une turbine équipée d'une bêche spirale en acier	208
Figure H.1 – Comparaison du rendement indiciel mesuré avec les valeurs garanties	218
Figure I.1 – Mesure indicielle pour optimiser le rendement.....	221
Figure I.2 – Corrélations des cames en deux dimensions	222
Tableau 1 – Domaine d'application des classes A, B et C	121
Tableau 2 – Vitesses d'emballage maximales (n_{run}) exprimées en pourcentage de la vitesse nominale	130
Tableau 3 – Paramètres d'essais de performance.....	140
Tableau 4 – Méthodes de mesure du débit indiciel.....	142
Tableau 5 – Données du site	148
Tableau 6 – Incertitudes systématiques en pleine charge	153

Tableau 7 – Incertitudes systématiques du débit en fonction de l'ouverture de la turbine	154
Tableau 8 – Incertitudes globales sur la forme des caractéristiques de la turbine par rapport au rendement garanti.....	162
Tableau 9 – Données utilisées dans la Figure 28	164
Tableau 10 – Limites de l'endommagement par cavitation	166
Tableau A.1 – Masse volumique de l'eau	176
Tableau E.1 – Choix de la méthode de mesure du débit.....	196
Tableau E.2 – Évaluation du facteur de conduite forcée avec estimation de l'incertitude systématique	205
Tableau H.1 – Garanties sur le rendement indiciel de l'aménagement.....	213
Tableau H.2 – Données du transformateur.....	214
Tableau H.3 – Mesures (tous les essais ne sont pas inclus)	215
Tableau H.4 – Calcul des résultats	216

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES HYDRAULIQUES – ESSAIS DE RÉCEPTION DES PETITS AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI 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 62006 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/254/FDIS	4/257/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

MACHINES HYDRAULIQUES – ESSAIS DE RÉCEPTION DES PETITS AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit les essais, les méthodes de mesure et les conditions de garantie contractuelles relatifs aux essais de réception sur site des machines générant l'énergie dans les petits aménagements hydroélectriques. Elle s'applique aux installations comportant des turbines à impulsion ou à réaction d'une puissance allant jusqu'à 15 MW environ et d'un diamètre de référence de 3 m environ. Le générateur peut être de type synchrone ou asynchrone.

La présente Norme internationale contient des informations relatives à la plupart des essais requis pour la réception des turbines hydrauliques tels que les essais pour approuver la sécurité, les essais de fonctionnement et de fiabilité, ainsi que les essais de vérification des conditions de cavitation, de bruit et de vibration, s'ils sont exigés.

La présente norme présente les méthodes types utilisées pour les petits aménagements hydroélectriques, et se divise en trois classes, comme suit (voir Tableau 1 pour de plus amples renseignements):

Classe A:	Programme d'essai normal (relevés sur le panneau de contrôle) Pour déterminer la puissance maximale fournie par l'installation.	Par défaut
Classe B:	Programme d'essai étendu Pour déterminer les caractéristiques de l'aménagement en matière de performances.	Recommandé
Classe C:	Programme d'essai complet. Pour déterminer le rendement absolu de l'aménagement.	Optionnel

NOTE Toutes les classes comportent des essais de sécurité, des essais de fonctionnement et des essais de fiabilité.

La présente norme fournit toutes les références nécessaires au contrat afin de réaliser l'essai, d'évaluer, de calculer et de comparer le résultat par rapport à la garantie pour toutes les classes: A, B et C.

Le fabricant ou l'ingénieur-conseil est chargé de s'assurer que les raccords normalisés sont en place afin de réaliser les essais. La présente norme ne couvre pas les détails structurels d'un aménagement hydroélectrique ou de ses composants.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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 60193, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Essais de réception sur modèle*

CEI 60308, *Turbines hydrauliques – Essais des systèmes de régulation*

CEI 60609 (toutes les parties), *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Evaluation de l'érosion de cavitation*

CEI 60651, *Sonomètres*

CEI 61362, *Guide pour la spécification des régulateurs des turbines hydrauliques*

ISO 1680, *Acoustique – Code d'essai pour le mesurage du bruit aérien émis par les machines électriques tournantes*

ISO 1940-1:2003, *Vibrations mécaniques – Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage pour les rotors en état (rigide) constant – Partie 1: Spécifications et vérification des tolérances d'équilibrage*

ISO 3746, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant*

ISO 4412 (toutes les parties), *Transmissions hydrauliques – Code d'essai pour la détermination du niveau de bruit aérien*

ISO 5168, *Mesure de débit des fluides – Procédures pour le calcul de l'incertitude*

ISO 7919-5:2005, *Vibrations mécaniques – Evaluation des vibrations des machines par mesurages sur les arbres tournants – Partie 5: Machines équipant les centrales hydroélectriques et les stations de pompage*

ISO 10816-3:2003, *Vibrations mécaniques – Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes – Partie 3: Machines industrielles de puissance nominale supérieure à 15 kW et de vitesse nominale de fonctionnement entre 120 r/min et 15 000 r/min, lorsqu'elles sont mesurées in situ*

ANSI/IEEE 810, *Turbines électriques et génératrices, accouplements intégralement forgés et tolérances d'emballément*