IEC 62006

Edition 1.0 2010-10

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

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
CODE PRIX XE

ICS 27.140

ISBN 978-2-88912-228-8

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

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 déflecteur (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 Surpression 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 bâche 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 – Corrélation des cames en deux dimensions 222

Tableau 1 – Domaine d'application des classes A, B et C 121
Tableau 2 – Vitesses d'emballement 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 raccordements 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'emballement*