IEC 60953-0

Edition 1.0 2022-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Rules for steam turbine thermal acceptance tests – Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines

Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur – Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de turbines

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 27.040

ISBN 978-2-8322-0938-7

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

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

CONTENTS

FOREWORD 7
INTRODUCTION 9
1 Scope 11
1.1 General 11
1.2 Object 11
1.3 Matters to be considered in the contract 12
2 Normative references 12
3 Units, symbols, terms and definitions 12
3.1 General 12
3.2 Symbols, units 13
3.3 Subscripts, superscripts and definitions 14
3.4 Definition of guarantee values and test results 16
3.4.1 Guidance on guarantee parameters 16
3.4.2 Thermal efficiency 16
3.4.3 Heat rate 18
3.4.4 Thermodynamic efficiency 18
3.4.5 Steam rate 19
3.4.6 Main steam flow capacity 19
3.4.7 Power output 19
3.4.8 Guarantee values for extraction and mixed-pressure turbines 20
3.4.9 Thermal Load Capacity (for Nuclear applications) 20
4 Guiding principles 20
4.1 Advance planning for test 20
4.2 Preparatory agreements and arrangements for tests 21
4.3 Planning of the test 22
4.3.1 Time for acceptance tests 22
4.3.2 Direction of acceptance tests 22
4.4 Preparation of the tests 22
4.4.1 Condition of the plant 22
4.4.2 Condition of the steam turbine 23
4.4.3 Condition of the condenser 23
4.4.4 Isolation of the cycle 24
4.4.5 Checks for leakage of condenser and feed water heaters 26
4.4.6 Cleanliness of the steam strainers 26
4.4.7 Checking of the test measuring equipment 26
4.5 Comparison measurements 26
4.6 Settings for tests 27
4.6.1 Load settings 27
4.6.2 Special settings 28
4.7 Preliminary tests 28
4.8 Acceptance tests 28
4.8.1 Constancy of test conditions 28
4.8.2 Maximum deviation and fluctuation in test conditions 28
4.8.3 Duration of test runs and frequency of reading 29
4.8.4 Reading of integrating measuring instruments 30
4.8.5 Alternative methods 30
4.8.6 Recording of tests 30

4.8.7 Additional measurement 30
4.8.8 Preliminary calculations 30
4.8.9 Consistency and number of tests 30
4.9 Repetition of acceptance tests 31
5 Measuring techniques and measuring instruments 31
5.1 Overview 31
5.1.1 Instrument accuracy requirements 31
5.1.2 Measuring instruments 31
5.1.3 Measuring uncertainty 31
5.1.4 Calibration of instruments 32
5.1.5 Alternative instrumentation 32
5.2 Measurement of power 36
5.2.1 Determination of mechanical turbine output 36
5.2.2 Measurement of boiler feed pump power 36
5.2.3 Determination of electrical power of a turbine generator 37
5.2.4 Measurement of electrical power 38
5.2.5 Electrical instrument connections 38
5.2.6 Electrical instruments 38
5.2.7 Instrument transformers 39
5.3 Flow measurement 39
5.3.1 Determination of flows to be measured 39
5.3.2 Measurement of primary flow 39
5.3.3 Installation and location of flow measuring devices 42
5.3.4 Calibration of primary flow devices for water flow 43
5.3.5 Inspection of flow measuring devices 44
5.3.6 Differential pressure measurements 45
5.3.7 Water flow fluctuation 45
5.3.8 Secondary flow measurements 45
5.3.9 Occasional secondary flows 48
5.3.10 Density of water and steam 49
5.3.11 Determination of cooling water flow of condenser 49
5.4 Pressure measurement (excluding condensing turbine exhaust pressure) 50
5.4.1 Pressures to be measured 50
5.4.2 Instruments 50
5.4.3 Main pressure measurements 50
5.4.4 Pressure tapping holes and connecting lines 51
5.4.5 Shut-off valves 52
5.4.6 Calibration of pressure measuring devices 52
5.4.7 Atmospheric pressure 52
5.4.8 Correction of readings 52
5.5 Condensing turbine exhaust pressure measurement 53
5.5.1 General 53
5.5.2 Plane of measurement 53
5.5.3 Pressure taps 53
5.5.4 Manifolds 54
5.5.5 Connecting lines 54
5.5.6 Instruments 54
5.5.7 Calibration 54
5.6 Temperature measurement 54

5.6.1 Points of temperature measurement 54
5.6.2 Instruments 55
5.6.3 Main temperature measurements 55
5.6.4 Feed train temperature measurements (including bled steam) 55
5.6.5 Condenser cooling water temperature measurement 56
5.6.6 Thermometer wells 56
5.6.7 Precautions to be observed in the measurement of temperature 57
5.7 Steam quality determination 57
5.7.1 General 57
5.7.2 Tracer technique 57
5.7.3 Condensing method 58
5.7.4 Constant rate injection method 61
5.7.5 Extraction enthalpy determined by constant rate injection method 62
5.7.6 Tracers and their use 64
5.8 Time measurement 65
5.9 Speed measurement 65
6 Evaluation of tests 65
6.1 Preparation of evaluation 65
6.2 Computation of results 66
6.2.1 Calculation of average values of instrument readings 66
6.2.2 Correction and conversion of averaged readings 66
6.2.3 Checking of measured data 66
6.2.4 Thermodynamic properties of steam and water 67
6.2.5 Calculation of test results 68
7 Correction of test results and comparison with guarantee 68
7.1 Guarantee values and guarantee conditions 68
7.2 Correction of initial steam flow capacity 68
7.3 Correction of output 69
7.3.1 Correction of maximum output 69
7.3.2 Correction of Output with specified initial steam flow 69
7.4 Correction of the thermal performance 69
7.5 Definition and application of correction values 70
7.6 Correction methods 70
7.6.1 General 70
7.6.2 Correction by heat balance calculation 71
7.6.3 Correction by use of correction curves prepared by the manufacturer 72
7.6.4 Tests to determine correction values 72
7.7 Variables to be considered in the correction of specific turbine cycles 72
7.7.1 Scope of corrections 72
7.7.2 Turbines with regenerative feed-water heating 72
7.7.3 Turbines which have no provision for the addition or extraction of steam after partial expansion 74
7.7.4 Turbines with steam extraction for purposes other than feed-water heating (extraction turbines) 74
7.7.5 Other types of turbine 74
7.8 Guarantee comparison 75
7.8.1 Tolerance and weighting 75
7.8.2 Guarantee comparison with locus curve 75
7.8.3 Guarantee comparison with guarantee point 76

7.8.4 Guarantee comparison for turbines with throttle governing 76
7.8.5 Guarantee comparison for extraction turbines 76
7.9 Deterioration of turbine performance (ageing) 77
7.9.1 Timing to minimise deterioration 77
7.9.2 Correction with comparison tests 77
7.9.3 Correction without comparison tests 77
8 Measuring uncertainty 78
8.1 General 78
8.2 Determination of measuring uncertainty of steam and water properties 79
8.2.1 Pressure 79
8.2.2 Temperature 79
8.2.3 Enthalpy and enthalpy difference 79
8.3 Calculation of measuring uncertainty of output 80
8.3.1 Electrical measurement 80
8.3.2 Mechanical measurement 82
8.3.3 Additional uncertainty allowance because of unsteady load conditions 82
8.4 Determination of measuring uncertainty of mass flow 82
8.4.1 Measuring uncertainty of mass flow measurements 82
8.4.2 Measuring uncertainty of multiple measurements of primary flow 82
8.4.3 Uncertainty allowance for cycle imperfections 83
8.5 Calculation of measuring uncertainty of results 83
8.5.1 General 83
8.5.2 Measuring uncertainty of thermal efficiency 83
8.5.3 Measuring uncertainty of thermodynamic efficiency 84
8.5.4 Uncertainty of corrections 84
8.5.5 Guiding values for the measuring uncertainty of results 85
8.6 Example uncertainty calculation 85
Annex A (normative) Feedwater heater leakage and condenser leakage tests 87
A.1 Feedwater heater leakage tests 87
A.2 Condenser leakage tests 87
Annex B (normative) Evaluation of multiple measurements, compatibility 88
Annex C (normative) Mass flow balances 89
C.1 General 89
C.2 Flows for further evaluations (informative) 90
Annex D (informative) Short-statistical definition of measuring uncertainty and error propagation in acceptance tests 92
Annex E (informative) Temperature variation method 96
E.1 Description of the problem 96
E.2 Possibility to determine the leakage flow 96
E.3 Applied example 98
Bibliography 102

Figure 1 – Diagrams for interpretation of symbols and subscripts 17
Figure 2 – Diagram showing location and type of test instrumentation (fossil fuel plant) 33
Figure 3 – Diagram showing location and type of test instrumentation (nuclear plant) 34
Figure 4 – USM with flow conditioner or flow straightener. 41
Figure 5 – Throttle steam quality calculations for boiling water reactor 60

Figure 6 – Throttle steam quality calculations for pressurized water reactor 61
Figure 7 – Typical installation of injection and sampling points 63
Figure 8 – Oxygen content of sample stream 64
Figure 9 – Guarantee comparison on locus curve 76
Figure 10 – Correction factor for steam table tolerance 80
Figure C.1 – Diagram of cycle for plant with steam turbine with single reheating and five stages of regenerative feedwater heating extraction 90
Figure E.1 – IP turbine bowl expansion line depending on different labyrinth flow rates 97
Figure E.2 – Schematic diagram of a combined HP/IP1/IP2 turbine 98
Figure E.3 – Result of temperature variation tests. IP2 turbine bowl efficiency as a function of the labyrinth flow rate (sealing 2) for varying live and reheat temperatures 101

Table 1 – Maximum deviations and fluctuations in operating conditions 29
Table 2 – Acceptable instrumentation and uncertainties for acceptance tests 35
Table 3 – Apportionment of unaccounted leakages 67
Table 4 – Average deterioration by ageing 77
Table 5 – Deterioration of thermal efficiency and power output 77
Table 6 – Guiding values for the uncertainty of test results 85
Table 7 – Example uncertainty calculation for reheat cycle with uncalibrated primary flows measurements 86
Table E.1 – Measured thermodynamic parameters and calculated IP2 turbine bowl isentropic efficiencies 100

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

RULES FOR STEAM TURBINE THERMAL ACCEPTANCE TESTS –

Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines

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.

IEC 60953-0 has been prepared by subcommittee WG 11/MT 14: Thermal Acceptance Test, of IEC technical committee 5: Steam Turbines. It is an International Standard.

This first edition cancels and replaces IEC 60593-2, published in 1990. This edition constitutes a technical revision.This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) IEC 60953-2:1990 has been used as the basis to develop IEC 60953-0;
b) Outdated measuring techniques have been updated and the corresponding reduction of the expected test result measuring uncertainty indicated;
c) Guarantee of power output at specified steam flow has been included;
d) A proposal for assignment of unaccounted for leakages has been included;
e) Correction methods and guarantee comparisons are updated;
f) Various appendices deleted:
   – Appendix B (flow nozzle)
   – Appendix E (generalized correction curves)
   – Appendix G (power measurement uncertainty)

g) Annex added:

– Annex E (Temperature variation method) taken over from IEC 60953-3:2002,Annex L

The text of thisInternational Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
5/248/FDIS	5/250/RVD

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

A list of all parts in the IEC 60953 series, published under the general title *Rules for steam turbine thermal acceptance tests*, can be found on the IEC website.

The language used for the development of thisInternational Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement,available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability dateindicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

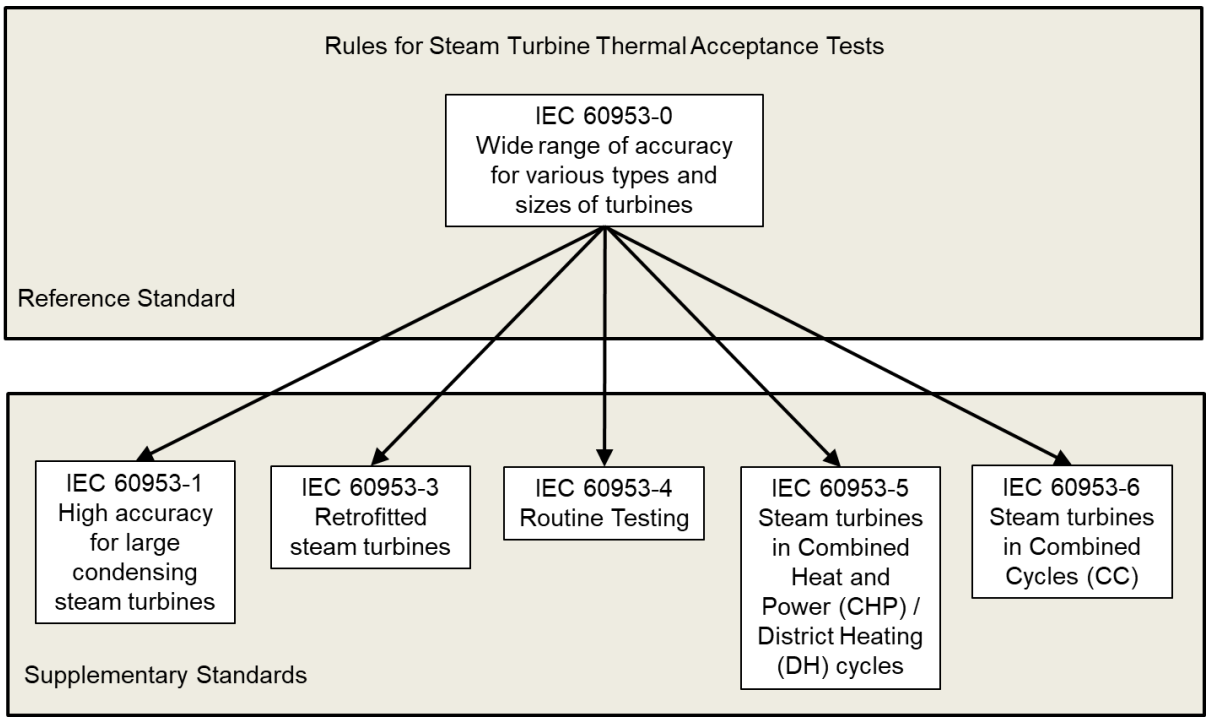
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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.

INTRODUCTION

The continuing development of measuring techniques, the increasing capacity of steam turbines and increasing variety of steam turbine configurations has necessitated a revision of IEC 60953:1990.

Since all the needs of the power industry could not be satisfied by one single performance test standard covering the requirements for all of the steam turbine configurations and accuracy, the revision to this standard is based upon one reference standard and various supplementary parts as indicated below:



1) Basic philosophy and figures on uncertainty

   IEC 60953-0 provides for acceptance tests of steam turbines of various types and capacities with corresponding measuring uncertainty, it is based upon the Method B of IEC 60953-2:1990. Additional and alternative guidance will be given for specific steam turbine applications in the supplementary standards where it is required.

   Instrumentation and measuring procedures are chosen accordingly from a scope specified in the standard series which is centred mainly on standardized instrumentation and procedures, but may extend up to high accuracy provisions requiring calibration of flow measuring devices. The resulting measuring uncertainty of the test result is then determined by calculating methods presented in the standard series and normally, if not stated otherwise in the contract, taken into account in the comparison between test result and guarantee value. The total cost of an acceptance test can therefore be maintained in relationship with the economic value of the guarantee values to be ascertained.

   When good-standardized instrumentation and procedures are applied in a test, the measuring uncertainty given in Table 6 can be achieved. The parties to the test should reach agreement on the measuring uncertainty desired for the acceptance tests.

2) Guiding principles

   The requirements concerning the preparation and conditions of the test and especially such conditions of the test as duration, deviations and constancy of test conditions are defined.

The test should be conducted preferably within eight weeks after first synchronisation. It is the intent during this period to minimize performance deterioration and risk of damage to the turbine.

Enthalpy drop tests should be made during this period to monitor HP and IP turbine section performance. However, these tests do not provide LP section performance and for this reason it is imperative to conduct the acceptance tests as soon as practicable.

Adjustment of the heat rate and power output test results for the effects of aging preferably by use of start-up enthalpy drop efficiency tests or by application of a standard allowance according to 7.9 is to be applied unless otherwise agreed in the contract.

3) Instruments and methods of measurement

   a) Measurement instruments (for electrical power, pressure, temperature)
      The measuring instruments used should be individually calibrated shortly before the test.

   b) Flow measurement devices
      For the measurement of main flows, uncalibrated or calibrated standardized flow measuring devices may be used.
      Typically uncalibrated standardized flow measuring devices are used, however calibration is recommended where a reduction of overall measuring uncertainty is desirable. Double or multiple measurement of primary flow is recommended for the reduction of measuring uncertainty and a method for checking the compatibility is described.

4) Evaluation of tests

   The preparatory work for the evaluation and calculation of the test results is covered.

   Detailed methods for calculation of measuring uncertainty values of measured variables and tests results are given.

5) Correction of test results and comparison with guarantees

   The correction of test results to guarantee conditions is covered. The measuring uncertainty of the result is taken into account in the guarantee comparison.

6) Proposals for application

   Since the acceptance test method to be applied has to be considered in the details of the plant design, it should be stated as early as possible, preferably in the turbine contract, which method will be used.

   This standard series can be applied to steam turbines of any type and any power. The desired measuring uncertainty should be decided upon sufficiently early, so that the necessary provisions can be included in the plant.

   If the guarantee includes the complete power plant or large parts thereof, the relevant parts of this standard series can be applied for an acceptance test in accordance with the definition of the guarantee value.

RULES FOR STEAM TURBINE THERMAL ACCEPTANCE TESTS –

Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines

1 Scope

1.1 General

The rules given in this document are applicable to thermal acceptance tests covering a wide range of accuracy on steam turbines of every type, rating and application. Only the relevant portion of these rules will apply to any individual case.

The rules provide for the testing of turbines, whether operating with either superheated or saturated steam. They include measurements and procedures required to determine specific enthalpy within the moisture region and describe precautions necessary to permit testing while respecting radiological safety rules in nuclear plants.

Uniform rules for the preparation, carrying out, evaluation, comparison with guarantee and calculation of measuring uncertainty of acceptance tests are defined in this standard. Details of the conditions under which the acceptance test can take place are included.

Should any complex or special case arise which is not covered by these rules, appropriate agreement is to be reached by manufacturer and purchaser before the contract is signed.

1.2 Object

The purpose of the thermal acceptance tests of steam turbines and turbine cycles described in this document is to verify guarantees given by the manufacturer of the equipment concerning:

Efficiency guarantees

a) Thermal efficiency;
b) Heat rate;
c) Thermodynamic efficiency;
d) Steam rate;
e) Power output.

Capacity guarantees

a) Main steam flow capacity;
b) Maximum power output at specified steam conditions according to IEC 60045-1 (other than steam flow);
c) Nuclear: thermal load capacity of the steam turbine under defined conditions.

The guarantees with their provisions are formulated completely and without contradictions (see 3.4). The acceptance tests may also include such measurements as are necessary for corrections according to the conditions of the guarantee and checking of the results.

1.3 Matters to be considered in the contract

Some matters in these rules are to be considered at an early stage. Such matters are dealt with in the following subclauses:

Subclause	
1.1	(paragraph 4)
1.2	(paragraph 2)
4.1	(paragraph 3 and 4)
4.3.2	(paragraph 1)
7.6	
7.8	
7.9	(paragraph 1)

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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.

ISO/IEC Guide 98, *Uncertainty of measurement*

IEC 60045-1, *Steam turbines – Part 1: Specifications*

ISO 5167 (all parts), *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full.*

ISO 12242, *Measurement of fluid flow in conduits – ultrasonic transit-time meters for liquids*

ISO 18888, *Gas turbine combined cycle power plants –Thermal performance tests*

ANSI/IEEE C57.13, *IEEE Standard requirements for instrument transformers*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 109
INTRODUCTION 111
1 Domaine d'application 113
1.1 Généralités 113
1.2 Objet 113
1.3 Points à examiner dans le contrat 114
2 Références normatives 114
3 Unités, symboles, termes et définitions 114
3.1 Généralités 114
3.2 Symboles et unités 115
3.3 Indices, exposants et définitions 116
3.4 Définition des valeurs garanties et des résultats d'essais 118
3.4.1 Recommandations relatives aux paramètres garantis 118
3.4.2 Rendement thermique 118
3.4.3 Consommation spécifique de chaleur 120
3.4.4 Rendement thermodynamique 120
3.4.5 Consommation spécifique de vapeur 121
3.4.6 Débit de vapeur principal 121
3.4.7 Puissance électrique fournie 121
3.4.8 Valeurs garanties pour les turbines à prélèvements et à pression mixte 122
3.4.9 Capacité de charge thermique (pour applications nucléaires) 122
4 Principes directeurs 122
4.1 Dispositions à prendre avant l'essai 122
4.2 Accords et dispositions préparatoires en vue des essais 123
4.3 Planification de l'essai 124
4.3.1 Délai pour la réalisation des essais de réception 124
4.3.2 Réalisation des essais de réception 124
4.4 Préparation des essais 125
4.4.1 Etat de l'installation 125
4.4.2 Etat de la turbine à vapeur 125
4.4.3 Etat du condenseur 125
4.4.4 Isolement du cycle 126
4.4.5 Vérifications de la fuite des réchauffeurs de condenseur et d'eau alimentaire 128
4.4.6 Propreté des filtres à vapeur 128
4.4.7 Contrôle des instruments de mesure utilisés pendant l'essai 128
4.5 Mesures comparatives 129
4.6 Paramétrages en vue des essais 129
4.6.1 Paramètres de charge 129
4.6.2 Paramètres spéciaux 130
4.7 Essais préliminaires 130
4.8 Essais de réception 131
4.8.1 Constance des conditions d'essai 131
4.8.2 Ecart maximal et fluctuation maximale des conditions d'essai 131
4.8.3 Durée des essais et fréquence des relevés 132
4.8.4 Lecture de l'intégration des instruments de mesure 133
4.8.5 Autres méthodes 133

4.8.6 Enregistrement des essais 133
4.8.7 Mesurage supplémentaire 133
4.8.8 Calculs préliminaires 134
4.8.9 Cohérence et nombre d'essais 134
4.9 Répétition des essais de réception 134
5 Techniques de mesure et instruments de mesure 134
5.1 Vue d'ensemble 134
5.1.1 Exigences de précision des instruments 134
5.1.2 Instruments de mesure 134
5.1.3 Incertitude de mesure 135
5.1.4 Etalonnage des instruments 135
5.1.5 Autres instruments 135
5.2 Mesurage de la puissance 139
5.2.1 Détermination de la puissance mécanique en sortie de turbine 139
5.2.2 Mesurage de la puissance de la pompe d'alimentation de la chaudière 139
5.2.3 Détermination de la puissance électrique d'un groupe turboalternateur 140
5.2.4 Mesurage de la puissance électrique 141
5.2.5 Branchements électriques des instruments 141
5.2.6 Instruments électriques 141
5.2.7 Transformateurs de mesure 142
5.3 Mesurage du débit 142
5.3.1 Détermination des débits à mesurer 142
5.3.2 Mesurage du débit principal 142
5.3.3 Installation et emplacement des débitmètres 145
5.3.4 Etalonnage des dispositifs de mesure du débit principal pour le débit d'eau 146
5.3.5 Examen des débitmètres 147
5.3.6 Mesurages de pression différentielle 148
5.3.7 Fluctuation du débit d'eau 149
5.3.8 Mesurage des débits secondaires 149
5.3.9 Débits secondaires occasionnels 152
5.3.10 Masse volumique de l'eau et de la vapeur 153
5.3.11 Détermination du débit d'eau de refroidissement du condenseur 153
5.4 Mesurage de la pression (à l'exclusion de la pression d'échappement des turbines à condensation) 154
5.4.1 Pressions à mesurer 154
5.4.2 Instruments 154
5.4.3 Mesurages de la pression principale 155
5.4.4 Pression des orifices de soutirage et des conduites de raccordement 155
5.4.5 Vannes d'arrêt 156
5.4.6 Etalonnage des dispositifs de mesure de la pression 156
5.4.7 Pression atmosphérique 157
5.4.8 Correction des relevés 157
5.5 Mesurage de la pression d'échappement d'une turbine à condensation 158
5.5.1 Généralités 158
5.5.2 Plan de mesure 158
5.5.3 Prises de pression 158
5.5.4 Distributeurs 159
5.5.5 Conduites de raccordement 159

5.5.6 Instruments 159
5.5.7 Etalonnage 159
5.6 Mesurage de la température 159
5.6.1 Points de mesure de la température 159
5.6.2 Instruments 159
5.6.3 Mesurages de la température principale 160
5.6.4 Mesurages de la température du train d'alimentation (y compris la vapeur soutirée) 160
5.6.5 Mesurage de la température de l'eau de refroidissement du condenseur 161
5.6.6 Sondes thermométriques 161
5.6.7 Précautions à prendre lors des mesurages de la température 162
5.7 Détermination du titre de la vapeur 162
5.7.1 Généralités 162
5.7.2 Technique des traceurs 163
5.7.3 Méthode de la condensation 163
5.7.4 Méthode d'injection à vitesse constante 166
5.7.5 Enthalpie au prélèvement, déterminée par méthode d'injection à vitesse constante 167
5.7.6 Les traceurs et leur utilisation 169
5.8 Mesurage du temps 170
5.9 Mesurage de la vitesse 170
6 Evaluation des essais 170
6.1 Préparation de l'évaluation 170
6.2 Calcul des résultats 171
6.2.1 Calcul des valeurs moyennes des relevés effectués avec les instruments 171
6.2.2 Correction et conversion des moyennes relevées 171
6.2.3 Vérification des données mesurées 171
6.2.4 Propriétés thermodynamiques de la vapeur et de l'eau 173
6.2.5 Calcul des résultats d'essais 173
7 Correction des résultats d'essais et comparaison à la garantie 173
7.1 Valeurs garanties et conditions de garantie 173
7.2 Correction du débit de vapeur initial 173
7.3 Correction de la puissance fournie 174
7.3.1 Correction de la puissance maximale fournie 174
7.3.2 Correction de la puissance fournie avec le débit de vapeur initial spécifié 174
7.4 Correction des performances thermiques 175
7.5 Définition et application des valeurs de correction 175
7.6 Méthodes de correction 176
7.6.1 Généralités 176
7.6.2 Correction par calcul du bilan thermodynamique 177
7.6.3 Correction à l'aide de courbes de correction élaborées par le constructeur 178
7.6.4 Essais pour déterminer les valeurs de correction 178
7.7 Variables à prendre en compte dans la correction de cycles de turbine spécifiques 178
7.7.1 Domaine d'application des corrections 178
7.7.2 Turbines avec réchauffage de l'eau alimentaire 178

7.7.3 Turbines qui n'ont pas de dispositions pour l'ajout ou le prélèvement de vapeur après une détente partielle 180
7.7.4 Turbines à soutirage de vapeur pour des usages autres que le réchauffage de l'eau alimentaire (turbines à prélèvements) 180
7.7.5 Autres types de turbines 181
7.8 Comparaison à la garantie 181
7.8.1 Tolérance et pondération 181
7.8.2 Comparaison à la garantie à l'aide d'une courbe de points réels 182
7.8.3 Comparaison à la garantie à l'aide d'un point garanti 182
7.8.4 Comparaison à la garantie pour les turbines avec réglage par étranglement de la vapeur 183
7.8.5 Comparaison à la garantie pour les turbines à prélèvements 183
7.9 Dégradation des performances de la turbine (vieillissement) 183
7.9.1 Délai pour réduire le plus possible la dégradation 183
7.9.2 Correction avec essais de comparaison 183
7.9.3 Correction sans essais de comparaison 183
8 Incertitude de mesure 184
8.1 Généralités 184
8.2 Détermination de l'incertitude de mesure des propriétés de vapeur et d'eau 185
8.2.1 Pression 185
8.2.2 Température 185
8.2.3 Enthalpie et différence d'enthalpie 185
8.3 Calcul de l'incertitude de mesure de la puissance fournie 187
8.3.1 Mesurage électrique 187
8.3.2 Mesurage mécanique 188
8.3.3 Marge d'incertitude supplémentaire en raison de conditions de charge instables 188
8.4 Détermination de l'incertitude de mesure du débit massique 189
8.4.1 Mesurage de l'incertitude relative aux mesures du débit massique 189
8.4.2 Mesurage de l'incertitude relative à plusieurs mesurages du débit principal 189
8.4.3 Marge d'incertitude pour les imperfections du cycle 189
8.5 Calcul de l'incertitude de mesure des résultats 189
8.5.1 Généralités 189
8.5.2 Mesurage de l'incertitude sur le rendement thermique 190
8.5.3 Mesurage de l'incertitude relative au rendement thermodynamique 191
8.5.4 Incertitude sur les corrections 191
8.5.5 Valeurs indicatives pour l'incertitude de mesure des résultats 191
8.6 Exemple de calcul d'incertitude 192
Annexe A (normative) Essais de fuites des réchauffeurs d'eau alimentaire et de fuites du condenseur 194
A.1 Essais de fuites des réchauffeurs d'eau alimentaire 194
A.2 Essais de fuites du condenseur 194
Annexe B (normative) Evaluation de mesures multiples – compatibilité 195
Annexe C (normative) Bilans de débits massiques 196
C.1 Généralités 196
C.2 Débits pour évaluations complémentaires (informatif) 197
Annexe D (informative) Définition statistique courte de la mesure de l'incertitude et de la propagation des erreurs lors des essais de réception 199

Annexe E (informative) Méthode de la variation des températures 203
E.1 Description du problème 203
E.2 Possibilité de déterminer le débit de fuite 203
E.3 Exemple appliqué 205
Bibliographie 209

Figure 1 – Schémas d'interprétation des symboles et des indices 119
Figure 2 – Schéma de l'emplacement et des types d'instruments d'essai (centrale conventionnelle) 136
Figure 3 – Schéma de l'emplacement et des types d'instruments d'essai (centrale nucléaire) 137
Figure 4 – USM avec un conditionneur d'écoulement ou un redresseur d'écoulement 144
Figure 5 – Calculs du titre de la vapeur à l'étranglement (diaphragme) pour un réacteur à eau bouillante 165
Figure 6 – Calculs du titre de la vapeur à l'étranglement (diaphragme) pour un réacteur à eau pressurisée 166
Figure 7 – Installation type des points d'injection et d'échantillonnage 168
Figure 8 – Teneur en oxygène du flux d'échantillon 169
Figure 9 – Comparaison à la garantie sur la courbe de points réels 182
Figure 10 – Facteur de correction pour la tolérance du tableau pour la vapeur 187
Figure C.1 – Diagramme de cycle pour une centrale à turbine à vapeur à simple resurchauffe et cinq étapes de soutirage de réchauffage d'eau alimentaire 197
Figure E.1 – Ligne de détente du tore d'admission MP en fonction de différents débits de fuite aux labyrinthes 204
Figure E.2 – Diagramme schématique d'un corps combiné HP/MP1/MP2 205
Figure E.3 – Résultat des essais de variation de température. Rendement du tore d'admission MP2 en fonction du débit de fuite aux labyrinthes (étanchéité 2) pour différentes températures de vapeur vive et de vapeur resurchauffée 208

Tableau 1 – Ecarts maximaux et fluctuations maximales dans les conditions d'exploitation 132
Tableau 2 – Instruments acceptables et incertitudes pour les essais de réception 138
Tableau 3 – Répartition des fuites non comptabilisées 173
Tableau 4 – Dégradation moyenne par vieillissement 184
Tableau 5 – Dégradation du rendement thermique et de la puissance fournie 184
Tableau 6 – Valeurs indicatives pour l'incertitude des résultats de l'essai 192
Tableau 7 – Exemple de calcul de l'incertitude pour un cycle avec resurchauffe et mesurages du débit principal de condensat non étalonnés 193
Tableau E.1 – Paramètres thermodynamiques mesurés et rendements isentropiques calculés dans le tore d'admission MP2 207

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

RÈGLES POUR LES ESSAIS THERMIQUES DE RÉCEPTION DES TURBINES À VAPEUR –

Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de turbines

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60953-0 a été établie par le sous-comité WG 11/MT 14: Essai thermique de réception, du comité d'études 5 de l'IEC: Turbines à vapeur. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette première édition annule et remplace l'IEC 60593-2 parue en 1990. Cette édition constitue une révision technique. Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

a) l'IEC 60953-2:1990 a servi de base pour l'élaboration de l'IEC 60953-0;
b) les techniques de mesure caduques ont été mises à jour, et la réduction correspondante de l'incertitude de mesure relative aux résultats d'essais présumés est indiquée;
c) la garantie de puissance électrique à un débit de vapeur spécifié a été incluse;

d) une suggestion d'imputation des fuites non comptabilisées a été incluse;

e) les méthodes de correction et les comparaisons à la garantie ont été mises à jour;

f) certaines annexes ont été supprimées:
   – Annexe B (tuyères);
   – Annexe E (courbes de correction généralisées);
   – Annexe G (incertitude de mesure de la puissance);

g) une annexe a été ajoutée:
   – l'Annexe E (Méthode de la variation des températures) reprise de l'IEC 60953-3:2002, Annexe L.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
5/248/FDIS	5/250/RVD

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60953, publiées sous le titre général *Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur*, se trouve sur le site web de l'IEC.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

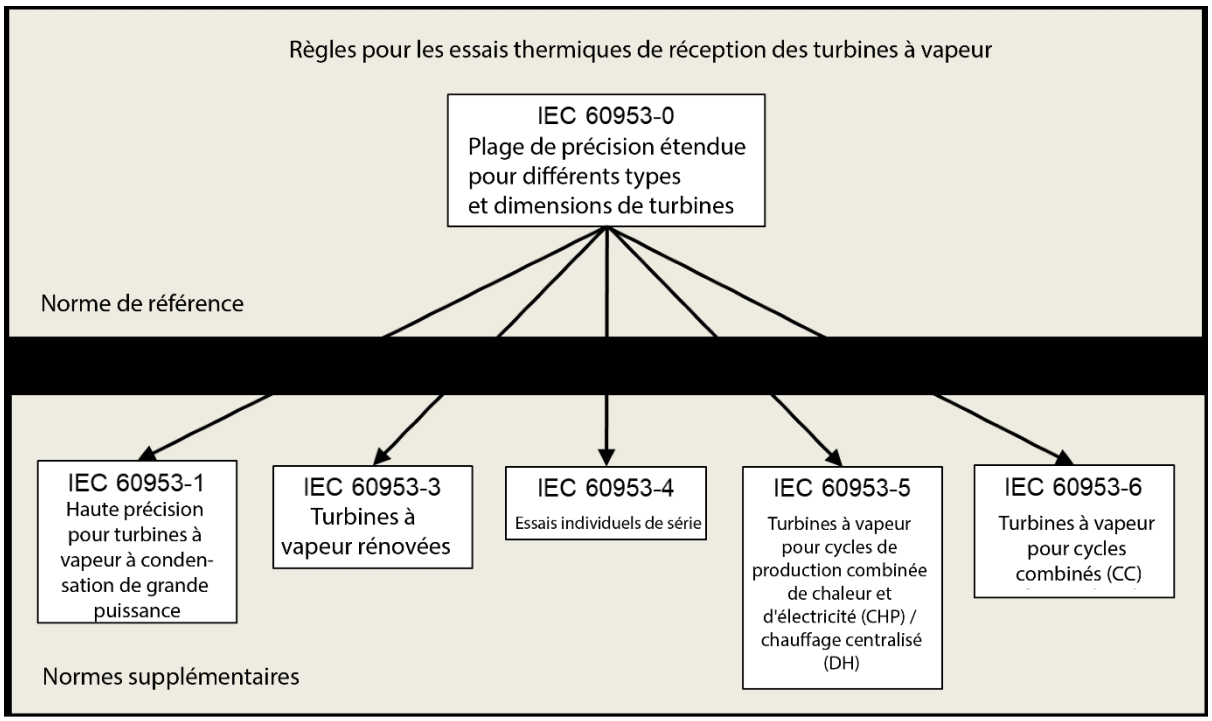
- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

INTRODUCTION

Le développement continu des techniques de mesure, l'augmentation de la capacité des turbines à vapeur et l'accroissement des configurations de turbines à vapeur ont nécessité une révision de l'IEC 60953:1990.

Etant donné que tous les besoins de l'industrie de l'électricité ne peuvent pas être remplis par une seule norme d'essai de performance qui couvre les exigences relatives à l'ensemble des configurations et précisions des turbines à vapeur, la révision de cette norme repose sur une norme de référence et sur différentes parties supplémentaires, qui sont indiquées ci-dessous:



1) Philosophie de base et valeurs d'incertitude

   L'IEC 60953-0 spécifie des essais de réception pour les turbines à vapeur de différents types et capacités avec l'incertitude de mesure correspondante. Elle repose sur la méthode B de l'IEC 60953-2:1990. Pour des applications de turbine à vapeur spécifiques, des recommandations supplémentaires et des variantes sont fournies dans les normes supplémentaires lorsque cela est nécessaire.

   Les instruments et les procédures de mesure sont choisis en conséquence selon le domaine d'application spécifié dans la norme qui est essentiellement centré sur des instruments et des procédures normalisés, mais qui peut s'étendre à des dispositions de précision élevée qui nécessitent l'étalonnage des dispositifs de mesure du débit (débitmètres). L'incertitude de mesure relative au résultat de l'essai est alors déterminée par les méthodes de calcul présentées dans la série de normes et, sauf disposition contraire dans le contrat, est normalement prise en compte dans la comparaison entre résultat d'essai et valeur garantie. Le coût total d'un essai de réception peut donc être maintenu proportionnellement à la valeur économique des valeurs garanties à vérifier.

   Lorsque des instruments et des procédures parfaitement normalisés sont appliqués lors d'un essai, l'incertitude de mesure indiquée dans le Tableau 6 peut être obtenue. Il convient que les parties concernées par l'essai fixent par accord l'incertitude de mesure souhaitée pour les essais de réception.

2) Principes directeurs

Les exigences relatives à la préparation et aux conditions de l'essai sont définies, notamment les conditions telles que la durée, les écarts et la constance des conditions d'essai.

Il convient d'effectuer les essais préférentiellement dans les huit semaines qui suivent le premier couplage. Pendant cette période, l'objet est de réduire le plus possible la dégradation des performances et le risque de dommages à la turbine.

Il convient d'effectuer des essais de chute d'enthalpie pendant cette période afin de surveiller les performances des sections HP et MP de la turbine. Cependant, ces essais ne fournissent pas les performances de la section BP. Il est donc primordial de procéder aux essais de réception dès que possible.

Un ajustement des résultats d'essais de la consommation spécifique de chaleur et de la puissance électrique fournie pour tenir compte des effets du vieillissement, préférentiellement par des essais de rendement de la chute d'enthalpie au démarrage ou par l'application d'une tolérance normalisée conformément au 7.9, doit être appliqué, sauf accord contraire dans le contrat.

3) Instruments et méthodes de mesure

   a) Instruments de mesure (pour la puissance électrique, la pression, la température)

      Il convient que les instruments de mesure utilisés soient étalonnés individuellement peu de temps avant l'essai.

   b) Débitmètres

      Pour le mesurage des débits principaux, des débitmètres normalisés, étalonnés ou non, peuvent être utilisés.

      En règle générale, des débitmètres normalisés non étalonnés sont utilisés, mais un étalonnage est recommandé lorsqu'une réduction de l'incertitude de mesure globale est souhaitable. Un mesurage double ou multiple du débit principal est recommandé afin de réduire l'incertitude de mesure, et une méthode de vérification de la compatibilité est décrite.

4) Evaluation des essais

   Les travaux préparatoires à l'évaluation et au calcul des résultats d'essais sont couverts.

   Des méthodes complètes sont fournies pour le calcul des valeurs d'incertitude de mesure relatives aux variables mesurées et aux résultats d'essais.

5) Correction des résultats d'essais et comparaison aux garanties

   La correction des résultats d'essais par rapport aux conditions de la garantie est couverte. L'incertitude de mesure du résultat est prise en compte lors de la comparaison à la garantie.

6) Suggestions d'application

   Etant donné que la méthode d'essai de réception à appliquer doit être prise en compte dans les détails de la conception de l'installation, il convient de préciser le plus tôt possible, préférentiellement dans le contrat relatif à la turbine, quelle méthode est utilisée.

   La présente série de normes peut être appliquée aux turbines à vapeur de tout type et de toute puissance. Il convient de déterminer l'incertitude de mesure souhaitée suffisamment tôt afin de pouvoir mettre en œuvre les dispositions nécessaires dans l'installation.

   Si la garantie concerne l'ensemble ou une partie importante de la centrale, les parties pertinentes de la présente série de normes peuvent être appliquées à un essai de réception conformément à la définition de la valeur garantie.

RÈGLES POUR LES ESSAIS THERMIQUES DE RÉCEPTION DES TURBINES À VAPEUR –

Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de turbines

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

Les règles établies dans le présent document s'appliquent aux essais thermiques de réception qui portent sur une plage de précision étendue pour des turbines à vapeur de tous types, débits et applications. Seule la partie pertinente de ces règles s'applique à chaque cas particulier.

Les règles s'appliquent aux essais des turbines, qu'elles fonctionnent avec de la vapeur surchauffée ou saturée. Elles comprennent les mesurages et les procédures exigés pour déterminer l'enthalpie spécifique dans la région humide, et décrivent les précautions nécessaires pour réaliser les essais tout en respectant les règles de sécurité radiologique dans les centrales nucléaires.

La présente norme établit des règles uniformes pour la préparation, l'exécution, l'évaluation, la comparaison à la garantie et le calcul de l'incertitude de mesure pour les essais de réception. Les conditions dans lesquelles les essais de réception peuvent se dérouler sont spécifiées.

Si un cas complexe ou particulier n'est pas couvert par les présentes règles, un accord approprié doit être conclu entre le constructeur et l'acheteur avant la signature du contrat.

1.2 Objet

Les essais thermiques de réception des turbines à vapeur et des cycles de turbine décrits dans le présent document ont pour objet de vérifier les garanties données par le constructeur de l'équipement, notamment:

Garanties de rendement

a) rendement thermique;
b) consommation spécifique de chaleur;
c) rendement thermodynamique;
d) consommation spécifique de vapeur;
e) puissance électrique fournie.

Garanties de capacité

a) débit de vapeur principal;
b) puissance électrique maximale fournie dans les conditions de vapeur spécifiées selon l'IEC 60045-1 (autres que le débit de vapeur);
c) nucléaire: capacité de charge thermique de la turbine à vapeur dans des conditions définies.

Les garanties et leurs dispositions sont formulées dans leur intégralité et sans contradictions (voir 3.4). Les essais de réception peuvent également inclure, si nécessaire, des mesurages pour appliquer les corrections conformément aux conditions de la garantie et vérifier les résultats.

1.3 Points à examiner dans le contrat

Certains points des dispositions doivent être examinés dès la phase initiale du contrat. Ces points sont traités dans les paragraphes suivants:

Paragraphe	
1.1	(alinéa 4)
1.2	(alinéa 2)
4.1	(alinéas 3 et 4)
4.3.2	(alinéa 1)
7.6	
7.8	
7.9	(alinéa 1)

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

Guide 98 de l'ISO/IEC, *Incertitude de mesure*

IEC 60045-1, *Turbines à vapeur – Partie 1: Spécifications*

ISO 5167 (toutes les parties), *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire*

ISO 12242, *Mesurage de débit des fluides dans les conduites fermées – Compteurs ultrasoniques pour liquides*

ISO 18888, *Turbines à gaz – Centrales à cycle combiné – Essais de performance thermique*

ANSI/IEEE C57.13, *IEEE Standard requirements for instrument transformers* (disponible en anglais seulement)