

Fascicule 41

Publication 41

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FASCICULE DE LA C.E.I.
RELATIF AUX ESSAIS DES
TURBINES HYDRAULIQUES.

Première Edition
1928

I.E.C. PUBLICATION
ON THE TESTING OF
HYDRAULIC TURBINES.

First Edition
1928

Reproduit en Suisse,
Novembre 1950.

Bureau Central de la C.E.I.,
39, Route de Malagnou,
Genève.

DROITS DE REPRODUCTION RESERVES

Reproduced in Switzerland
November, 1950.

Central Office of the I.E.C.,
39, Route de Malagnou,
Geneva.

COPYRIGHT - ALL RIGHTS RESERVED

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Fascicule de la C.E.I. relatif aux Essais des Turbines Hydrauliques

PREAMBULE

L'exécution des essais de réception et la spécification des moteurs mécaniques sont d'une grande importance pour le commerce international des divers pays industriels. Le Comité d'Etudes No. 4 de la C.E.I. s'est efforcé en conséquence d'atteindre un accord sur un aussi grand nombre que possible des éléments essentiels qui constituent un code d'essais ou spécification.

L'objet initial de ces Règles est de fournir des directives types pour l'exécution et l'interprétation de l'essai de réception ainsi qu'on le pratique d'ordinaire commercialement. On espère que ces accords internationaux se développeront à l'avenir de façon à englober tous les essais de turbines hydrauliques se rapportant d'une façon générale à l'exécution des garanties de fonctionnement. Le texte suivant, qui a reçu l'approbation de l'Assemblée Plénière de Rome en septembre 1927, se divise en trois parties: (a) Définitions, (b) Méthodes d'essais, et (c) Instruments et Méthodes de Mesure.

Le Comité espère que d'autres groupes de conditions essentielles seront ajoutés à cette série d'accords après que ceux-ci auront été expérimentés par les pays intéressés.

Au cours des réunions du Comité d'Etudes, il a été proposé de compléter ce document par un second document contenant les "Données requises pour une offre et une commande" et par un troisième contenant les Règles pour l'Essai complet d'une Turbine Hydraulique. Ces propositions seront mises à l'étude aux prochaines sessions du Comité d'Etudes No. 4.

DEFINITIONS

1. LE TUNNEL EN PRESSION est une conduite fermée amenant l'eau sous pression de la prise à la conduite forcée ou à la cheminée d'équilibre.
2. LE CHATEAU D'EAU est une chambre à surface libre d'eau à l'extrémité amont de la conduite forcée.
3. LA CHEMINEE D'EQUILIBRE est une chambre à l'extrémité d'aval du tunnel en pression et au commencement de la conduite forcée.
4. LA CONDUITE FORCEEE est la conduite amenant l'eau du château d'eau ou de la cheminée d'équilibre à la turbine.
5. LE DEBIT est la quantité d'eau qui passe dans la turbine dans l'unité de temps.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

I.E.C. Publication on the Testing of Hydraulic Turbines

INTRODUCTION

The conduct of acceptance tests and the rating of prime movers have an important bearing on international commerce in the various industrial countries. The I.E.C. Advisory Committee No.4 on Hydraulic Turbines has accordingly endeavoured to reach agreements on as many as possible of the essential elements which constitute such a test code or specification.

The primary purpose of this specification is to provide standard directions for conducting and reporting a performance test in the way commonly undertaken in commercial work. It is hoped that in time these international agreements will be extensive enough to cover all tests of hydraulic turbines with general reference to the fulfilment of performance guarantees. The present draft, which received the approval of the Plenary Meeting at Rome, September, 1927, includes (a) Definitions; (b) Methods of Test; and (c) Instruments and Methods of Measurement.

It is the hope of the Committee that other groups of essential requirements for the testing of Hydraulic Turbines will be added to this set of international agreements after it has been given a fair trial by the member countries.

At meetings of the Advisory Committee it has been suggested that this document be supplemented by a second giving "Information Requested with Order or Enquiry", and a third covering the complete test of an hydraulic turbine. These proposals will receive consideration at subsequent meetings of Advisory Committee No.4.

DEFINITIONS

1. THE PRESSURE CONDUIT (Pressure Tunnel) is a closed pipeline or tunnel conveying water under pressure between the headwater and the turbine conduit or surge tank.
2. THE FOREBAY is a chamber having a free water surface at the intake end of the turbine conduit or penstock.
3. THE SURGE TANK is a chamber at the discharge end of the pressure conduit and entrance to the turbine conduit or penstock.
4. THE TURBINE CONDUIT OR PENSTOCK is the conduit conveying the water from the forebay or surge tank to the turbine.
5. THE RATE OF FLOW is the quantity of water used by the turbine in unit time.

6. NIVEAU PIEZOMETRIQUE. - Le niveau piézométrique en un point quelconque est constitué par la somme de :

- (1) La hauteur correspondant à la pression.
- (2) La dénivellation cinétique ou correspondant à la vitesse de l'eau.
- (3) La hauteur de ce point au-dessus d'un point de repère.

7. LA HAUTEUR CORRESPONDANT A LA PRESSION est la pression par unité de surface divisée par le poids de l'unité de volume. Toutes les pressions doivent être mesurées à partir de la pression atmosphérique.

8. DENIVELLATION CINETIQUE OU DE VITESSE, - Si v est la vitesse moyenne, la chute cinétique à ce point doit être prise égale à $\frac{v^2}{2g}$, g ayant la valeur convenable.

9. LA CHUTE BRUTE DE L'INSTALLATION est obtenue en prenant la différence de niveau entre les surfaces de l'eau au point de prise d'eau en rivière et au point où elle fait retour au cours d'eau, les deux niveaux étant mesurés simultanément.

10. LA CHUTE TOTALE DE L'INSTALLATION est obtenue en prenant la différence entre les niveaux de l'eau dans le château d'eau, et dans le canal de fuite; comme il est défini dans la section 1, en tenant compte des hauteurs correspondant aux vitesses.

11. LA CHUTE NETTE OU EFFECTIVE est la chute disponible pour la turbine dans les conditions de fonctionnement, c'est-à-dire la différence entre les niveaux piézométriques à l'entrée de la turbine et dans le canal de fuite.

(a) Turbine à réaction. - Pour une turbine à bêche ouverte, la chute utile est la différence des niveaux d'eau dans une section du canal d'amenée immédiatement en amont de la turbine, corrigée de la chute cinétique et dans le canal de fuite, à l'extrémité du domaine du tube d'aspiration, corrigée de la chute cinétique.

La chute effective pour une turbine à bêche fermée est la différence entre le niveau piézométrique dans la conduite à l'entrée de la bêche de la turbine, et le niveau dans le canal de fuite, augmentée de la chute cinétique dans la conduite au point de mesure, diminuée de la chute correspondant à la vitesse résiduelle au point de mesure dans le canal de fuite.

Le domaine du tube d'aspiration sera considéré comme s'étendant de la roue de la turbine au point du canal de fuite où le niveau d'eau est mesuré. Ce niveau sera le plus élevé observé à proximité de l'extrémité proprement dite du tube d'aspiration, mais sans tenir compte des irrégularités superficielles, locales, ou de niveaux exagérément élevés dus à des influences extérieures. Il ne sera pas nécessairement mesuré à l'extrémité même du tube d'aspiration.

La chute cinétique dans les deux cas ci-dessus doit être prise égale au carré de la vitesse moyenne au point de mesure divisé par $2g$, la vitesse moyenne étant le quotient du débit par la section normale du conduit ou du canal.

6. TOTAL HEAD. - The total head of water at any point consists of the sum of:-

- (1) The pressure head.
- (2) The velocity head or kinetic head.
- (3) The height of that point above some datum level.

7. THE PRESSURE HEAD is the pressure per unit area divided by the weight per unit volume. All pressures are to be measured from atmospheric pressure as datum.

8. THE VELOCITY HEAD OR KINETIC HEAD at a point is to be taken as $\frac{v^2}{2g}$, v being the mean velocity at that point and g having the appropriate value.

9. THE GROSS HEAD OF THE DEVELOPMENT is the difference in elevation between the water in the stream at the point of diversion and the elevation of the water in the stream at the point of return of water to the stream, these elevations being measured simultaneously.

10. THE TOTAL OPERATING HEAD OF THE PLANT is the difference in elevation between the level of the water in the forebay and the level of the water in the tailrace as defined in Section 1, with due allowance for velocity heads.

11. THE NET OR EFFECTIVE HEAD is the head available for doing work on the turbine under operating conditions, and is the difference in total heads at the entrance to the turbine and in the tailrace.

(a) Reaction Turbine.- For an open flume turbine the effective head on the turbine shall be the difference in elevation between head water in the flume at a section immediately in advance of the turbine, corrected for velocity head, and the tailrace at the end of the draft tube sub-division, corrected for velocity head.

The effective head on an encased turbine shall be the difference between the elevation corresponding to the pressure in the penstock at the entrance to the turbine casing and the elevation of the tailwater, the above difference being corrected by adding the velocity head in the penstock at the point of measurement and subtracting the residual velocity head at the point of measurement in the tailrace.

The draft-tube sub-division shall be considered to be that portion of the hydraulic system extending from the turbine runner to the point in the tailrace where the tailrace elevation is measured. The tailrace elevation shall be the highest general elevation of the tailwater in the vicinity of the physical end of the draft tube beyond, and exclusive of local surface disturbances and exclusive of exaggerated high levels due to external influences. It shall not necessarily be measured at the end of the physical draft tube.

The velocity head in each of the above cases shall be taken as the square of the mean velocity at the point of measurement divided by $2g$; the mean velocity being equal to the quantity of water flowing divided by the cross-sectional area of the conduit or channel.

Pour la chute cinétique dans le canal de fuite à l'extrémité du tube d'aspiration pour l'unité essayée, on ne fera entrer en ligne de compte que la fraction du canal de fuite qui lui correspond raisonnablement. En général, la largeur en sera égale à la distance entre les unités.

(b) Roues Pelton ou turbines à action. - Dans une roue Pelton ou turbine à action la chute nette à considérer dans les calculs de rendement sera la différence entre le niveau piézométrique dans la conduite, immédiatement en amont de la tuyère, si la turbine a une seule tuyère, ou en amont du point où les branches divergent aux tuyères, si la turbine a plusieurs tuyères, augmentée de la chute cinétique à ce point, et la hauteur du point le plus bas du cercle primitif des augets. Dans le cas exceptionnel, où une roue Pelton ou une turbine à action est munie d'un tube d'aspiration, la chute nette doit être augmentée de la chute correspondant à la pression négative (dépression) dans la bêche de la turbine.

Note. - Il est reconnu que les turbines doivent être souvent installées dans des bâtiments existants ou dont les dispositions ne peuvent pas être modifiées par le constructeur. Il peut en résulter des pertes excessives, et la chute utile à faire intervenir devra alors faire l'objet d'une entente préalable avant les essais.

12. L'ENERGIE HYDRAULIQUE ANNUELLE DISPONIBLE d'une installation hydraulique, est la quantité d'énergie qui résulte de l'intégration du produit du poids spécifique de l'eau, du débit et de la chute nette dans une période d'un an.

13. LA PUISSANCE HYDRAULIQUE DISPONIBLE d'une installation hydraulique à un moment donné quelconque est le produit du poids spécifique de l'eau, du débit et de la chute nette.

14. LA PUISSANCE ELECTRIQUE d'une installation hydraulique est la puissance disponible aux bornes des génératrices électriques.

15. PUISSANCE DE LA TURBINE. - La puissance mécanique est la puissance sur l'arbre de la turbine. S'il n'est pas autrement spécifié la puissance à considérer est celle en un point immédiatement au delà du dernier palier de l'ensemble livré par le constructeur de la turbine. Elle doit comprendre toute la puissance prélevée sur l'arbre de la turbine pour actionner les appareils auxiliaires tels que: pompes de régulateurs ou excitatrices, mais à l'exclusion de celle nécessaire pour actionner les pompes de circulation de l'huile ou de l'eau pour les paliers de la turbine. La puissance à ajouter pour ces appareils auxiliaires doit être indiquée séparément.

16. VARIATION DE VITESSE. - La variation permanente de vitesse d'une turbine est le quotient par la vitesse normale de la turbine, de la différence entre les vitesses à vide et en charge, sous la chute pour laquelle la turbine a été calculée. La variation maximum momentanée de vitesse est le quotient par la vitesse normale de la turbine, de l'écart maximum à partir de la vitesse originelle avant la variation de charge.

Les valeurs garanties pour la variation momentanée de la vitesse devront être accompagnées d'une indication concernant la variation de vitesse permanente pour laquelle le régulateur est réglé au moment des essais.

In determining the correction for velocity head in the tailrace at the end of the draft tube sub-division for the unit under test, that part of the tailrace channel shall be used which may be fairly charged to that unit alone. In general, the width of channel will be equal to the unit spacing.

(b) Pelton Wheel or Impulse Turbine.- In a Pelton Wheel or Impulse Turbine the net head to be used in the calculation of efficiency shall be the elevation corresponding to the pressure head in the penstock immediately behind the nozzle if only one nozzle is used, or behind the point where the branches to the nozzle diverge if more than one nozzle is used, plus the velocity head at this point minus the elevation of the lowest point of the pitch circle of the runner buckets.

In the exceptional case where a Pelton wheel or impulse turbine is provided with a draft-tube, the net head for calculating the turbine efficiency is to be taken as the sum of the pressure and velocity head behind the nozzle or nozzles, plus the head corresponding to the negative pressure (depression) in the turbine casing.

Note.- It is recognized that frequently machinery must be installed in existing settings or settings over which the machinery builder has no control. In such cases, excessive losses are likely to be present and the head to be charged against the machinery should be subject to agreement in advance of test.

12. THE ANNUAL AVAILABLE HYDRAULIC ENERGY of a hydraulic installation is the amount of energy expressed by the integration of the products of specific weight of water, rate of flow and net head taken over a period of one year.

13. THE AVAILABLE HYDRAULIC POWER of a hydraulic installation at any given moment is the product of the specific weight of water, the rate of flow and the net head.

14. THE ELECTRIC POWER of a hydraulic installation is the power delivered at the terminals of the electric generators.

15. POWER OUTPUT OF TURBINE. - The mechanical output is the power delivered at the turbine-shaft. Unless otherwise specified, the power shall be taken as being delivered at a point immediately beyond the furthest bearing of the unit provided by the turbine builder. It is to include all power taken from the turbine shaft for the driving of such auxiliaries as governor pumps or exciters, but it shall not include the power required for driving the pumps for circulating oil or water in connection with the turbine bearings.

The power to be added for these auxiliaries shall be stated separately.

16. SPEED VARIATIONS.- The permanent speed variation of a turbine is the difference between the speed when the turbine is running at no load and the speed when the turbine is running at full load under the head for which the turbine is rated, divided by the rated speed of the turbine.

The maximum momentary speed variation is the maximum departure from the original speed before the change of load, divided by the rated speed of the turbine.

Guaranteed figures for momentary speed variation shall be accompanied by a statement as to the permanent speed variation for which the governor will be set at the time the tests are made.

17. VARIATION DE PRESSION. - La variation de pression d'une turbine alimentée par une conduite forcée quand la charge est modifiée d'une valeur à une autre, est la différence entre la pression maximum au cours de la période de réglage et la pression permanente à la charge inférieure dans le cas où la charge est réduite, et la différence entre la pression minimum et la pression permanente à la charge supérieure dans le cas où la charge est augmentée.

S'il est demandé d'exprimer ceci en valeur relative on prendra comme dénominateur la chute nette à vide.

METHODES D'ESSAIS

18. Les essais d'une turbine hydraulique comprennent la détermination des quantités ci-après :

- (a) La quantité d'eau employée par la turbine.
- (b) La chute nette.
- (c) La vitesse de rotation de la turbine.
- (d) La puissance mécanique fournie sur l'arbre de la turbine.
- (e) Les variations de vitesse et de pression pendant le réglage.

19. CONDITIONS DE CHUTE, VITESSE ET PUISSANCE POUR LES ESSAIS DE RECEPTION. - Les essais de réception devraient être exécutés autant que possible sous la chute et à la vitesse spécifiés dans le contrat. Si la chute effective pour les essais est différente de la chute prévue, les résultats devront être corrigés conformément à ceux obtenus sur une turbine analogue si l'on dispose d'essais semblables, ou la vitesse de l'unité devra être corrigée pour correspondre à la chute réelle sous laquelle l'essai est exécuté. Si aucune de ces corrections n'est matériellement possible, la chute pendant l'essai sera maintenue entre les limites de trois pour cent en plus et en moins de celle prévue au contrat. En aucun cas la chute au moment des essais ne devra différer de la chute prévue de plus de 10% en plus ou en moins. La puissance sera modifiée en proportion de la puissance trois demi ($3/2$) de la chute, et le rendement de la turbine doit être considéré comme restant le même si la vitesse varie en proportion de la racine carrée de la hauteur de chute.

Les variations de charge pendant une série d'expériences ne doivent pas dépasser 3% en plus ou en moins de la charge moyenne. Les variations de chute ne doivent pas dépasser 3% en plus ou en moins de la chute moyenne et les variations de vitesse ne doivent pas dépasser 1% en plus ou en moins de la vitesse moyenne. Si on ne peut pas se conformer à ces limitations en employant la charge d'un réseau on devra prévoir une charge artificielle.

20. CONDITION DE LA TURBINE PENDANT LES ESSAIS. - Pendant les essais la turbine devra être en état normal de fonctionnement et devra avoir fonctionné en charge pendant une période totale d'au moins 24 heures avant l'essai. Une inspection soigneuse devra être faite avant et après l'essai pour être sûr que les canaux ne sont pas obstrués et que toutes les parties sont dans leur état normal de fonctionnement.

Tous les appareils installés pour effectuer des essais doivent être disposés de manière à ne pas influencer le fonctionnement d'une partie quelconque de la machine essayée. Si cela n'est pas possible l'effet de l'enlèvement ou du remplacement des appareils en question sera déterminé expérimentalement, et on tiendra compte de cette influence.

17. PRESSURE VARIATIONS. - The pressure variations for a turbine supplied through a pipe or other closed conduit, when the load has changed from one value to another, are the difference between the highest pressure during the period of regulation and the steady pressure at the lower load in the case of the load being reduced, and the difference between the lowest pressure and the steady pressure at the higher load in the case of the load being increased.

If it is required to express these as percentages, they shall be expressed as percentages of the net head at no load.

METHODS OF TEST

18. The tests of an hydraulic turbine involve the determination of the following quantities:-

- (a) The quantity of water used by the turbine.
- (b) The net head.
- (c) The speed of rotation of the turbine.
- (d) The mechanical output delivered at the turbine shaft.
- (e) The variations of speed and pressure during regulation.

19. CONDITIONS OF HEAD, SPEED AND OUTPUT FOR ACCEPTANCE TEST.- Acceptance tests should be made, if possible, under the head and at the speed specified in the contract. If the actual head for the test varies from the head specified, the results shall be corrected in accordance with the test of a homologous turbine if such is available; or the speed of the unit shall be adjusted to correspond to the actual head under which the test is made. If neither of these adjustments is physically possible, the test head shall be maintained within 3 per cent. above or 3 per cent. below the head specified; and in no event shall the test head differ from the specified head by more than 10 per cent. above or 10 per cent. below. The output will change in proportion to the three-halves power of the head and the turbine efficiency may be assumed to remain the same if the speed is changed in proportion to the square root of the head.

Variations in load during an individual run shall not exceed 3 per cent. above or 3 per cent. below the average load; variations of head shall not exceed 2 per cent. above or 2 per cent. below the average head, and variations of speed shall not exceed 1 per cent. above or 1 per cent. below the average speed. If these limitations cannot be complied with by the use of the commercial load, an artificial load must be provided.

20. CONDITION OF TURBINE DURING TEST.- The turbine throughout the test shall be in normal operating condition and shall have been operated under load for an aggregate time of at least 24 hours prior to the test. A careful inspection shall be made before and after the test to ensure that the water passages are free from all obstruction and that all parts are in normal operating condition.

Any apparatus installed for the purpose of the tests shall be so arranged as not to affect the performance of any part of the equipment under test. If this is not practicable, the effect of removing and replacing the apparatus in question shall be determined experimentally, and due allowance shall be made for such effect.