NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
994

Première édition
First edition
1991-01

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

Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

IEC

Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 994: 1991

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
  Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
  Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique,* la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles,* et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas.*

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
  Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
  Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams.*

* See web site address on title page.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
994

Première édition
First edition
1991-01

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

Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

© IEC 1991 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site http: //www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XB

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

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

Publication 60994 de la CEI
(Première édition - 1991)

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

IEC Publication 60994
(First edition - 1991)

Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)

CORRIGENDUM 1

Page 6 - AVANT-PROPOS

Dans la liste des publications citées de la CEI, à la cinquième ligne, au lieu de

*** Actuellement document 4(Bureau Central)48

lire:

CEI 41 (1991): Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines en vue de la détermination de leurs performances (troisième édition)

Corrections en anglais uniquement

Page 7 - PREFACE

In the list of other IEC publications quoted, fifth line, instead of

*** At present Document 4(Central Office)48

read:

IEC 41 (1991): Field acceptance tests to deter- mine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines (third edition)

Page 17 – Subclause 2.3.2.7

In the definitions column, third line, instead of ...quantity. *A* is... *read* ...**quantity, *A* is**... (comma instead of full stop) *

Page 19

In the footnote, at end of first line, instead of ...*N* in the denomination... *read* ...*N* in the denomin**ator**...

Page 21

In the definitions column, fifth line, instead of ...function, *X*(*t*) over... *read* ...**function *X*(*t*) over**... (no comma)

Page 25 – 2.3.4.11

In the definitions column, first and second line, instead of ...length of the connecting pipe connecting the pressure transducer... *read* ...**length of the pipe connecting the pressure transducer**...

Page 41 – 4.1.1

In item d), second and third line, instead of ...unbalance; also and if... *read* ...**unbalance and also if**...

4.1.3 - *In the first line, instead of* ...to the machine water passages... *read* ...**to the water passages**...

---

* Bold types are for clarity only

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

Corrections en anglais uniquement

Page 49 – 5.2.3

In the eighth line, instead of ...in the draft tube at a distance of 0.5 D_5 to 1.0 D_5 from... *read* ...**0.5 to 1.0 times the suction diameter of the runner (D_S) from**...

Tenth line, instead of ...0.2 D_5 – 0.8 D_5 from... *read* ...**0.2 D_S – 0.8 D_S from**...

Eleventh line, instead of ...D_5 being... *read* ...**D_S being**...

Twelfth line, instead of ...outer contour of the elbow, *read* ...**outer side of the elbow.**

Page 51 – 5.2.10

Item b), instead of ...thrust bearing load pulsations, by means of strain measurements on every bearing element; *read* ...**thrust bearing load pulsations, on every bearing element by means of strain measurements;**

Page 53 – 5.6.1

In item b), first line, instead of ...and runner blade angle... *read* ...**and runner/impeller blade angle**...

Page 55 – 5.7.4

In the second line, instead of ...position of a runner vane or nozzle and/or guide blade... *read* ...**position of a guide vane or nozzle and/or runner blades**...

Page 58 – 6.1.1

Au point b), au lieu de
Limite supérieure de fréquence**:
— turbines Pelton:
lire **Limite supérieure de fréquence:**
— turbines Pelton**

Corrections en anglais uniquement

Page 59 – 6.1.1

In item b), instead of Upper frequency**:
— for Pelton turbines:
read **Upper frequency:**
— for Pelton turbines**

In the first footnote (*), end of first line, instead of ...lower than the vortex rope... *read* ...**lower than the suction vortex**...

Page 65 – 6.3.5

In the second line, instead of ...any measuring point. *read* ...**any measuring operating condition.**

Page 71 – Clause 6.8

In the seventh line (second dash), remove the words ...(see Figure 7)... *and place them in next line so as to obtain* ...**are eliminated (see Figure 7).**

Page 85 – 8.3

In the seventh line, instead of ...A/D conversion... *read* ...**A/D (analog to digital) conversion**...

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

Page 95 – 9.2.4

Ninth line, instead of Only in the last case is phase information preserved, *read:* **Only in the last case phase information is preserved.**

Page 99 – 10.3

In the second line, instead of ...should be agreed with the concerned parties,... *read* ...**should be agreed between the concerned parties,**...

Page 103 – Clause A2.

In the last but one line, instead of ...conversion of the signals from the three signals... *read* ...**conversion of the three signals**...

Page 108 – Article B2.

Dans la dernière formule de la page, ajouter un signe moins à la suite du second signe égale (= –)

Page 109 – B2.

In the last formula of the page, add a minus sign just after the second equal sign (= –)

Corrections en anglais uniquement

Page 115 – C7.

In the fifth line (third dash), instead of (...recorder or plotter, output)... *read* **(...recorder or plotter output)**... (no comma)

Page 117 – Figure C1.

In the heading of the table, last column, instead of Conditions test/... *read* **Test conditions/...**

Page 118 – Figure C2.

Sous le tableau, à la cinquième ligne (4ème tiret), au lieu de

– rendement de la pompe ou de la turbine,

lire

– rendement de la pompe ou de la turbine, **etc.**

Page 119 – Figure C2.

Below the table, fifth line (4th dash), instead of

– turbine or pump efficiency,

read

– turbine or pump efficiency, **etc.**

Page 132 – Figure D1.

Dans le schéma, au lieu de II_B *lire* II

Page 133 – Figure D1.

In the diagram, instead of II_B *read* II

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

SOMMAIRE

Pages

PRÉAMBULE 6
PRÉFACE 6
INTRODUCTION 8

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application et objet 10
   1.1 Domaine d'application 10
   1.2 Objet 10
   1.3 Restrictions 12
2. Termes, définitions, symboles et unités 12
   2.1 Unités 12
   2.2 Termes 12
   2.3 Liste des termes spécifiques à ce guide 14
   2.4 Classification des machines hydrauliques 26
3. Garanties 40

SECTION DEUX — EXÉCUTION DES ESSAIS

4. Conditions à remplir pour l'essai 40
   4.1 Conditions de fonctionnement dans lesquelles sont réalisées les mesures 40
   4.2 Vérification sur la machine avant le début des essais 42
5. Procédure d'essai 42
   5.1 Paramètres déterminant le point de fonctionnement 42
   5.2 Grandeurs vibratoires et fluctuantes à mesurer et localisation des points de mesure 46
   5.3 Personnel 50
   5.4 Accord sur la procédure d'essai 50
   5.5 Programme d'essais 52
   5.6 Préparation des essais 52
   5.7 Observations 54
   5.8 Reprise des essais 56

SECTION TROIS — MÉTHODES DE MESURE, SAISIE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

6. Considérations relatives aux méthodes de mesure 58
   6.1 Vibrations 58
   6.2 Vibrations radiales de l'arbre par rapport aux paliers 64
   6.3 Fluctuations de pression 64
   6.4 Contraintes 66
   6.5 Fluctuations du couple sur l'arbre 66
   6.6 Fluctuations de la vitesse de rotation 70
   6.7 Fluctuations de puissance 70
   6.8 Fluctuations du couple sur les directrices 70
   6.9 Fluctuations de poussée radiale sur les paliers-guides 70
   6.10 Fluctuations de poussée axiale sur le palier de butée 74
   6.11 Grandeurs mesurées définissant le point de fonctionnement de la machine 74

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

CONTENTS

Page

FOREWORD 7
PREFACE 7
INTRODUCTION 9

SECTION ONE – GENERAL

Clause

1. Scope and object 11
   1.1 Scope 11
   1.2 Object 11
   1.3 Excluded topics 13
2. Terms, definitions, symbols and units 13
   2.1 Units 13
   2.2 Terms 13
   2.3 List of terms specific to this guide 15
   2.4 Classification of hydraulic machines 27
3. Guarantees 41

SECTION TWO – EXECUTION OF TESTS

4. Test conditions to be fulfilled 41
   4.1 Operating conditions under which measurements are performed 41
   4.2 Checks on the machine before the beginning of tests 43
5. Test procedure 43
   5.1 Parameters determining the operating point 43
   5.2 Vibration and pulsation quantities to be measured and locations of measuring points 47
   5.3 Personnel 51
   5.4 Agreement of test procedure 51
   5.5 Test programme 53
   5.6 Preparations for tests 53
   5.7 Observations 55
   5.8 Repetition of tests 57

SECTION THREE – METHODS OF MEASUREMENT, DATA ACQUISITION AND PROCESSING

6. Considerations relating to the methods of measurement 59
   6.1 Vibrations 59
   6.2 Radial vibrations of the shaft relative to the bearings 65
   6.3 Pressure pulsations 65
   6.4 Stresses 67
   6.5 Shaft torque pulsations 67
   6.6 Rotational speed pulsations 71
   6.7 Power pulsations 71
   6.8 Guide vane torque pulsations 71
   6.9 Radial thrust pulsations measured at the guide bearings 71
   6.10 Axial thrust pulsations measured at the thrust bearing 75
   6.11 Measured quantities defining the machine operating point 75

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

7. Étalonnage 74
7.1 Généralités 74
7.2 Etalonnage direct 76
7.3 Etalonnage par signaux électriques de référence 80
8. Enregistrement 82
8.1 Enregistreurs graphiques 82
8.2 Enregistreurs à bande magnétique 84
8.3 Enregistrement numérique 84
9. Saisie et traitement des données 86
9.1 Généralités 86
9.2 Choix des méthodes de traitement des données 88
10. Incertitudes de mesure 96
11. Rapport final 98

ANNEXE A — Formules de calcul des contraintes principales et de traitement des signaux dans les mesures de déformations dynamiques à l'aide de rosettes 100
ANNEXE B — Formules de calcul du couple sur un arbre cylindrique plein et de la charge axiale sur une biellette de section rectangulaire ou cylindrique selon la technique des jauges extensométriques 108
ANNEXE C — Exemple de rapport final 112
ANNEXE D — Distorsion des mesures de fluctuations de pression pour des capteurs montés avec conduit de raccordement 130

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

7. Calibration 75
7.1 General 75
7.2 Direct calibration 77
7.3 Calibration by electrical reference signals 81
8. Recording 83
8.1 Graphical recorders 83
8.2 Magnetic tape recorders 85
8.3 Digital recording 85
9. Data acquisition and processing 87
9.1 General 87
9.2 Selection of data processing methods 89
10. Measurement uncertainties 97
11. Final report 99

APPENDIX A — Formulae for calculating principal stresses and signal processing for dynamic strain measurements with rosettes 101
APPENDIX B — Formulae for calculating the torque on a cylindrical solid shaft and the axial load on a rectangular or circular section link using the strain gauge technique 109
APPENDIX C — Example of final report 113
APPENDIX D — Distortion of pressure pulsation measurements for transducers mounted with connecting pipe 131

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR LA MESURE *IN SITU* DES VIBRATIONS ET FLUCTUATIONS SUR MACHINES HYDRAULIQUES (TURBINES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES)

PRÉAMBULE

1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
4(BC)45	4(BC)50

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

Publications n^os^
- 184 (1965): Méthodes de spécification des caractéristiques relatives aux transducteurs électromécaniques destinés aux mesures de chocs et de vibrations.
- 222 (1966): Méthodes de spécification des caractéristiques relatives à l'équipement auxiliaire pour les mesures de chocs et de vibrations.
- *** Actuellement document 4(Bureau Central)48.

Autres publications citées:

Normes ISO
- 2041 (1975): Vibrations et chocs — Vocabulaire. Edition bilingue.
- 3945 (1985): Vibrations mécaniques des grandes machines tournantes dans la gamme des vitesses comprises entre 10 et 200 tr/s — Mesurage et évaluation de l'intensité vibratoire *in situ*.
- 5347-0 (1987): Méthodes pour l'étalonnage des capteurs de vibrations et de chocs — Partie 0: Concepts de base.
- 5348 (1987): Vibrations et chocs mécaniques — Fixation mécanique des accéléromètres.
- 7919-1 (1986): Vibrations mécaniques des machines non alternatives — Mesurages sur les arbres tournants et évaluation — Partie 1: Directives générales.
- 8042 (1988): Mesurage des chocs et des vibrations — Caractéristiques à spécifier pour les capteurs sismiques.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE FOR FIELD MEASUREMENT OF VIBRATIONS AND PULSATIONS IN HYDRAULIC MACHINES (TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES)

FOREWORD

1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as posssible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 4: Hydraulic turbines.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
4(CO)45	4(CO)50

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

Other IEC Publications quoted in this standard:

Publication Nos. 184 (1965): Methods for specifying the characteristics of electro-mechanical transducers for shock and vibration measurements.
222 (1966): Methods for specifying the characteristics of auxiliary equipment for shock and vibration measurement.
*** At present Document 4(Central Office)48.

Other publications quoted:

ISO standards 2041 (1975): Vibration and shock — Vocabulary. Bilingual edition.
3945 (1985): Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 tr/s — Measurement and evaluation of vibration severity *in situ*.
5347-0 (1987): Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 0: Basic concepts.
5348 (1987): Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers.
7919-1 (1986): Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation — Part 1: General guidelines.
8042 (1988): Shock and vibration measurements — Characteristics to be specified for seismic pick-ups.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

GUIDE POUR LA MESURE *IN SITU* DES VIBRATIONS ET FLUCTUATIONS SUR MACHINES HYDRAULIQUES (TURBINES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES)

INTRODUCTION

Dans une machine en fonctionnement, on constate toujours l'existence de fluctuations et de vibrations qui ne peuvent être évitées et qui ne compromettent pas par elles-mêmes la vie de l'installation où on les observe. Elles sont quantitativement fonction de nombreux facteurs tels que le type d'écoulement dans les conduits hydrauliques sous différentes conditions d'exploitation de l'installation, les particularités de conception mécanique ainsi que la qualité de la construction, du montage et de l'entretien. Ce n'est que quand certaines parties de la machine ou de l'installation sont soumises à des efforts dangereux pour sa résistance ou quand des perturbations inacceptables sont transmises à son environnement, que ces fluctuations et ces vibrations peuvent être qualifiées d'excessives.

Dans des cas extrêmes, les vibrations des machines hydrauliques peuvent entraîner la formation de fissures, voire la rupture de certaines pièces par fatigue*.

Des vibrations excessives sur les machines hydrauliques, non seulement réduisent leur durée de bon fonctionnement, mais se répercutent aussi sur le fonctionnement des systèmes et instruments de commande et influent sur le comportement des structures connectées ainsi que sur l'état de santé du personnel.

La mesure des caractéristiques des fluctuations et des vibrations, ou de préférence de leurs effets, doit être faite conformément au présent guide qui fournit également les informations nécessaires pour déduire la valeur des grandeurs physiques des indications des appareils de mesure.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut seulement espérer que des mesures réalisées conformément au présent guide feront apparaître une caractéristique fondamentale permettant de lier statistiquement les fluctuations et les vibrations à leurs effets, avec un intervalle de confiance acceptable.

L'étude vibratoire d'une machine hydraulique est une opération longue et difficile donc coûteuse (notamment en disponibilité), qui ne doit être entreprise que si des mesures limitées de sollicitation ou de mouvement font craindre un danger réel. Le but d'une telle étude est, si possible, de supprimer la source des sollicitations excessives après l'avoir identifiée ou, à défaut, de définir une procédure d'exploitation réduisant ces sollicitations à un niveau acceptable. Les sources de perturbations sont nombreuses mais un très petit nombre d'entre elles, voire une seule, crée une réelle difficulté sur une machine donnée.

En règle générale, l'état vibratoire d'une machine hydraulique s'évalue par des essais qui consistent à mesurer la vibration en divers points caractéristiques de la structure. Un montage expérimental standard, conçu en fonction de la pratique et de l'expérience réunies, devrait suffire à donner des indications suffisantes sur l'état vibratoire général de la machine. L'examen des résultats ainsi obtenus peut néanmoins attirer parfois l'attention sur de fortes amplifications locales (résonances) de certaines pièces vitales de la machine; si tel est effectivement le cas, il convient de se livrer à un examen plus approfondi des pièces en question par un montage d'essai approprié. Le

---

* Par le passé, les défaillances imputables à la fatigue étaient chose rare dans les machines hydrauliques. Toutefois, la tendance actuelle à l'augmentation des charges spécifiques et à l'économie de matière dans la conception des machines hydrauliques entraîne une diminution de la rigidité dynamique de la structure, ce qui peut accroître le risque d'un excès de vibrations dans les machines de conception récente. L'accroissement des dimensions des installations dû à l'augmentation de leur capacité peut, lui aussi, entraîner un abaissement des fréquences caractéristiques de vibration de la machine ou de certains de ses éléments (directrices, etc.) Les fréquences en question pourraient donc entrer plus facilement en interaction avec les fréquences des oscillations hydrauliques et, le cas échéant, électriques du système (ou avec leurs harmoniques).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

GUIDE FOR FIELD MEASUREMENT OF VIBRATIONS AND PULSATIONS IN HYDRAULIC MACHINES (TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES)

INTRODUCTION

On a machine in service, pulsations and vibrations which cannot be avoided and which do not affect by themselves the service life of the plant where they occur, can always be observed. Their values depend on many factors, among which are the flow pattern in the water passages under different operating conditions of the unit, peculiarities of the design as well as the thoroughness of manufacture, erection and maintenance. Such pulsations and vibrations can be considered as detrimental only when certain parts of the machine or of the plant are subject to forces that may impair its resistance or when unacceptable disturbances are carried to its environment.

In extreme cases, vibrations in hydraulic machines can result in the formation of cracks and even in fracture of components due to fatigue*.

Excessive vibration in hydraulic machines not only can reduce their trouble-free service life but can also affect operation of governing systems and instruments, the behaviour of the attached structures and the health of personnel.

Measurement of pulsation and vibration characteristics or, preferably, of their effects is to be carried out in accordance with this guide which also gives the information necessary to derive the value of the physical quantities from the readings of the measuring instruments.

Given the present state of knowledge, it can only be hoped that measurements made in compliance with this guide will reveal a basic characteristic making it possible to relate pulsations and vibrations to their effects statistically, with an acceptable confidence level.

Vibration studies of a hydraulic machine represent a long and difficult operation and hence are expensive (particularly as regards the non-availability of the machine) and therefore should be undertaken only if a limited number of measurements of stresses or movements indicates the possibility of a real danger. The purpose of such work is, if possible, to eliminate the source of detrimental loadings after having identified it or, should this not be practicable, to define an operating procedure reducing such loadings to an acceptable level. There are many sources of disturbances but a very small number of them, and even one only, may create a real problem on a given machine.

As a rule, the vibrational state of a hydraulic machine is assessed from tests in which the vibration is measured at individual characteristic points of the structure. A standard experimental set-up, designed on the basis of good practice and experience, should already yield sufficient indications about the general vibrational conditions of the machine. However, examination of results thus acquired can sometimes point to strong local amplification (resonance) in some vital parts of the machine; if such is the case, the affected part(s) should be more closely investigated by means of an appropriate experimental arrangement. Flow pattern in the water passages may have

* In previous years fatigue failures in hydraulic machines were few in number. However, the current tendency to increase specific loads and to save material in the design of hydraulic machines can lead to lowering of dynamic rigidity of the structure, which may increase the risk of vibration in newly designed machines. Also the increase in geometrical dimensions stemming from increasing unit capacity can lead to a lowering of characteristic vibration frequencies of the machine or of some parts thereof (guide vanes, etc.). Thus the frequencies in question could more easily interact with the frequencies of hydraulic and/or electrical oscillations in the system (or harmonics thereof).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

type d'écoulement dans les conduits hydrauliques peut avoir un effet important sur les vibrations des machines hydrauliques. Pour obtenir une analyse précise des vibrations, il est courant de comparer les mesures de vibrations effectuées en des endroits appropriés (voir 5.2.1 et 5.2.2) avec des mesures de fluctuations* d'autres paramètres importants, effectuées également en des endroits appropriés. Ces autres paramètres peuvent être:

— fluctuations de pression (voir 5.2.3);
— fluctuations des déformations locales et des contraintes correspondantes (voir 5.2.4);
— fluctuations du couple sur l'arbre (voir 5.2.5);
— fluctuations de la vitesse de rotation (voir 5.2.6);
— fluctuations de la puissance (voir 5.2.7);
— fluctuations du couple sur les directrices (voir 5.2.8);
— fluctuations de la poussée radiale sur les palier-guides (voir 5.2.9);
— fluctuations de la poussée axiale sur le palier de butée (voir 5.2.10);

et, si besoin est, d'autres paramètres encore.

Il est hors de question que les mesures énumérées dans le présent guide soient toujours toutes effectuées.

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application et objet

1.1 *Domaine d'application*

1.1.1 Le présent guide s'applique à tout type de turbine à réaction ou à action, ainsi qu'à tout type de pompe-turbine et de pompe d'accumulation, couplée à un alternateur ou à un moteur.

1.1.2 Le présent guide couvre le domaine des essais de vibrations et de fluctuations qualifiés d'essais standards.

Les objectifs de ces essais sont les suivants:

— Evaluation de la conception de machines hydrauliques et de la qualité de la construction du point de vue des vibrations**.
— Evaluation des modifications du comportement vibratoire durant la vie de la machine.
— Proposition de recommandations s'appliquant au fonctionnement de l'installation (choix des séquences de transitoires les plus appropriées par exemple).
— Aide à l'analyse en cas d'anomalie ou d'incident.

1.1.3 Si, dans certains cas, il n'est pas possible d'appliquer les recommandations de ce guide, soit en raison de l'agencement de la machine hydraulique soit parce que, dans tel cas précis, il n'est pas nécessaire d'effectuer certaines mesures, celles-ci pourront être omises après accord préalable entre le constructeur et l'utilisateur.

1.2 *Objet*

1.2.1 Etablir des règles uniformes à appliquer lors d'essais de vibrations et de fluctuations. Etablir des méthodes de mesure et de traitement des données d'essais.

---

* Par le terme «fluctuation», on entend dans ce guide une variation périodique (ou quasi périodique), indépendamment de sa fréquence.

** Les recommandations relatives à l'évaluation de l'état vibratoire et fluctuant de la machine ne seront pas élaborées tant que des données systématiques n'auront pas été collectées conformément au présent guide et n'auront pas été interprétées de façon adéquate.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

important effects on the vibrations of hydraulic machines. In order to obtain an accurate vibration analysis, it is common practice to relate appropriately located measurements of vibrations (see 5.2.1 and 5.2.2) with appropriately located measurements of pulsations* of other important quantities, such as:

- pressure pulsations (see 5.2.3);
- pulsations of local strains and corresponding stresses (see 5.2.4);
- shaft torque pulsations (see 5.2.5);
- rotation speed pulsation (see 5.2.6);
- power pulsations (see 5.2.7);
- guide vane torque pulsations (see 5.2.8);
- radial thrust pulsations measured at guide bearings (see 5.2.9);
- axial thrust pulsations measured at thrust bearing (see 5.2.10);

and, if need be, also other quantities.

It is in no way intended that all the measurements listed in this guide should be carried out in every case.

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope and object

1.1 *Scope*

1.1.1 This guide applies to any type of reaction or impulse turbine, as well to any type of pump-turbine and storage pump, coupled to an electric generator or motor.

1.1.2 The guide covers the field of vibration and pulsation tests referred to as standard tests.

The objectives of the tests are as follows:

- Assessment of hydraulic machine design, manufacture and quality of erection from the viewpoint of vibration**.
- Assessment of the changes of vibration behaviour during the machine life.
- Provision of recommendations applying to operation of unit (for instance, choice of the most appropriate transient sequences).
- Aid in analysing faults and break downs.

1.1.3 If it is not possible to apply the recommendations of the guide because of the construction of the hydraulic machine, or if it is not necessary to conduct some of the measurements, such items may be omitted on prior agreement between the manufacturer and the user.

1.2 *Object*

1.2.1 To establish uniform rules to be applied when carrying out vibration and pulsation tests. To establish methods of measuring and of test data processing.

---

* In this guide, the term "pulsation" is understood to mean any periodic (or quasi-periodic) fluctuation, irrespective of its frequency.

** Recommendations on assessment of the vibrational and pulsatory state of the machine will not be prepared until systematic data have been accumulated in accordance with this guide and have been properly interpreted.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

1.2.2 Indiquer des critères permettant une approche homogène quant à la comparaison des vibrations et fluctuations de différentes machines hydrauliques d'une même classe (voir 2.4).

1.2.3 S'assurer la possibilité d'accumuler des données expérimentales suffisamment homogènes sur différentes machines hydrauliques.

1.3 *Restrictions*

1.3.1 Le présent guide exclut tous les sujets d'intérêt purement commercial.

1.3.2 Le présent guide n'a pas pour objet des essais de vibrations et de fluctuations particuliers, réalisés à des fins de recherche, bien qu'il soit recommandé dans ce cas d'appliquer les méthodes décrites ici pour les essais habituels de vibrations et de fluctuations.

1.3.3 Les essais de vibrations et de fluctuations sur modèle en laboratoire, ainsi que les essais réalisés en atelier sur des parties réelles de la machine non assemblée, ne sont pas traités dans ce guide.

Toutefois, si des essais de fluctuations sur modèle sont disponibles, il convient de les prendre en considération.

1.3.4 Les problèmes de vibrations des ouvrages de génie civil et des parties de la machine électrique autres que le(s) palier(s) ou l'arbre ainsi que les fluctuations de pression dans les conduits hydrauliques externes de la machine*, ne sont pas traités dans ce guide.

Toutefois, dans certains cas, lorsque les causes des vibrations excessives d'une machine hydraulique sont incertaines ou peuvent influencer d'autres parties de l'installation, il peut être judicieux de procéder à un examen des ouvrages de génie civil et, le cas échéant, de la machine électrique, de même que des conduits hydrauliques externes à la machine.

1.3.5 Le guide exclut les recommandations relatives à l'identification et à l'élimination des causes de vibrations.

1.3.6 Bien que les mesures et analyses de bruit puissent très souvent, à condition d'être correctement effectuées, constituer un outil de diagnostic utile pour évaluer les perturbations vibratoires d'une machine hydraulique, le présent guide ne tient compte que des vibrations mécaniques à l'exclusion des effets acoustiques (bruit).

1.3.7 Dans un aménagement hydroélectrique, les systèmes de réglage peuvent interagir avec des phénomènes de «fluctuations» de grandeurs hydrauliques, mécaniques et électriques. Cependant, l'étude de ces interactions ainsi que la mise en place d'essais réalisés en injectant artificiellement un signal sinusoïdal dans la boucle de réglage (comme cela est souvent fait pour déterminer la réponse fréquentielle du système) ne font pas partie du domaine d'application de ce guide.

2. Termes, définitions, symboles et unités

2.1 *Unités*

Le Système International d'Unités (S.I.) est utilisé tout au long de ce guide.

2.2 *Termes*

Les termes, définitions et symboles se rapportant aux turbines, pompes d'accumulation et pompes-turbines hydrauliques sont conformes à la Publication de la CEI 000***. Les termes non définis en 2.3 le sont dans les publications ci-dessus mentionnées.

---

* En cas d'absence de vanne(s), les conduites entre les sections de référence haute et basse pression, telles qu'elles sont définies pour les garanties (voir la Publication CEI 000***) sont considérées comme faisant partie de la machine.

*** Actuellement document 4(Bureau Central)48.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

1.2.2 To indicate criteria for a unified approach to the comparison of vibrations and pulsations of different hydraulic machines of the same class (see 2.4).

1.2.3 To ensure the possibility of accumulating actual data of sufficient homogeneity on different hydraulic machines.

1.3 *Excluded topics*

1.3.1 The guide excludes all matters of purely commercial interest.

1.3.2 The guide is not concerned with special vibration and pulsation tests for research purposes, although it is recommended that the methods described in the guide be applied to usual vibration and pulsation tests.

1.3.3 Laboratory model vibration and pulsation tests and tests of separate full-sized parts in the workshop are not dealt with in this guide.

However, if pulsation tests on a model are available, they should be taken into consideration.

1.3.4 The problems related to the vibrations of civil engineering works and of parts of the electrical machine other than bearing(s) or the shaft, as well as the pressure pulsations in the waterways external to the machine*, are not dealt with in the guide.

However, in specific cases, when the causes of excessive vibration of a hydraulic machine are uncertain or might be influencing other parts of the plant, it may be appropriate to inspect the civil engineering work structures and/or the electrical machine as well as the waterways external to the machine.

1.3.5 The guide excludes recommendations on identifying and eliminating causes of vibrations.

1.3.6 Although quite often noise measurements and noise analysis, if adequately performed, can be a useful diagnostic tool to assess vibratory troubles of a hydraulic machine, this guide considers only mechanical vibrations to the exclusion of acoustical effects (noise).

1.3.7 Regulation systems may interact with phenomena of "pulsations" of hydraulic, mechanical and electrical quantities in a hydroelectric power plant. However, treatment of such interactions or guidelines for conducting artificial-excitation test by injecting a sine signal in the governor loop (as is often done e.g. to determine the frequency response of the system) are outside the scope of this guide.

2. Terms, definitions, symbols and units

2.1 *Units*

The International System (SI) is used throughout this guide.

2.2 *Terms*

The terms, definitions and symbols relating to hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines are in compliance with the IEC Publication 000***. The terms not defined in 2.3 can be found in the publication just mentioned.

---

* In the case of absence of valves and/or gates, the machine is understood to include waterways between high pressure/low pressure reference sections, as specified for guarantees (see IEC Publication 000***).

*** At present Document 4(Central Office)48.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

Les termes, définitions et symboles se rapportant aux vibrations et fluctuations ainsi que les termes mathématiques sont conformes à la Norme ISO 2041 et aux Publications 184 et 222 de la CEI.

2.3 *Liste des termes spécifiques à ce guide*

Dans le tableau ci-dessous, on trouvera les termes, symboles et unités relatifs aux vibrations et fluctuations, qui sont utilisés dans ce guide.

	Termes	Définitions	Symboles	Unités
2.3.1	*Termes se rapportant à la description des vibrations et des fluctuations en fonction du temps**			
2.3.1.1	Déplacement dynamique absolu	(voir CEI 184)	$u(t)$	m
2.3.1.2	Vitesse dynamique absolue	(voir CEI 184)	$v(t)$	m/s
2.3.1.3	Accélération dynamique absolue	(voir CEI 184)	$w(t)$	m/s^2
2.3.1.4	Déplacement dynamique relatif entre deux pièces, p.ex. entre l'arbre et la pièce de fixation du capteur de proximité ($d = 0$ lorsque l'arbre touche le capteur)		$d(t)$	m
2.3.1.5	Fluctuation de pression	Variation oscillatoire de la pression du liquide par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{p}(t)$	Pa
-.3.1.6	Fluctuation de déformation	Variation oscillatoire de la déformation par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{\varepsilon}(t)$	m/m
2.3.1.7	Fluctuation de contrainte	Variation oscillatoire de la contrainte par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{\sigma}(t)$	N/m^2
2.3.1.8	Fluctuation du couple sur l'arbre	Variation oscillatoire du couple sur l'arbre par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{M}(t)$	N · m
2.3.1.9	Fluctuation de la vitesse de rotation	Variation oscillatoire de la vitesse de rotation par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{n}(t)$	tr/s
2.3.1.10	Fluctuation de puissance	Variation oscillatoire de la puissance par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{P}(t)$	W
2.3.1.11	Fluctuation du couple sur une directrice	Variation oscillatoire du couple sur la directrice par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{M}_{GV}(t)$	N · m
2.3.1.12	Fluctuation de la poussée radiale sur un palier-guide	Variation oscillatoire de la poussée radiale appliquée sur le palier-guide par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{R}(t)$	N
2.3.1.13	Fluctuation de la poussée axiale sur le palier de butée	Variation oscillatoire de la poussée axiale sur le palier de butée par rapport à sa valeur moyenne pendant un intervalle de temps Δt préalablement déterminé	$\tilde{T}(t)$	N

* Pour les définitions des vibrations et des fluctuations, voir 2.3.2.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

The terms, definitions and symbols relating to vibrations and pulsations as well as mathematical terms are in compliance with ISO Standard 2041 and IEC Publications 184 and 222.

2.3 *List of terms specific to this guide*

Tabulated below are the terms, symbols and units relating to vibrations and pulsations adopted throughout this guide.

	Terms	Definitions	Symbols	Units
2.3.1	*Terms relating to description of vibrations and pulsations as functions of time**			
2.3.1.1	Dynamic absolute displacement	(see IEC 184)	$u(t)$	m
2.3.1.2	Dynamic absolute velocity	(see IEC 184)	$v(t)$	m/s
2.3.1.3	Dynamic absolute acceleration	(see IEC 184)	$w(t)$	m/s^2
2.3.1.4	Dynamic relative displacement between two parts e.g. the shaft and the part on which the proximity transducer is fixed ($d = 0$ when the shaft touches the transducer)		$d(t)$	m
2.3.1.5	Pressure pulsation	Oscillatory variation of the pressure of the liquid referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{p}(t)$	Pa
2.3.1.6	Strain pulsation	Oscillatory variation of the strain referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{\varepsilon}(t)$	m/m
2.3.1.7	Stress pulsation	Oscillatory variation of the stress referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{\sigma}(t)$	N/m^2
2.3.1.8	Shaft torque pulsation	Oscillatory variation of the shaft torque referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{M}(t)$	N · m
2.3.1.9	Rotational speed pulsation	Oscillatory variation of the rotational speed referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{n}(t)$	rev/s
2.3.1.10	Power pulsation	Oscillatory variation of the power referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{P}(t)$	W
2.3.1.11	Guide vane torque pulsation	Oscillatory variation of the guide vane torque referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{M}_{GV}(t)$	N · m
2.3.1.12	Radial pulsation measured at guide bearing	Oscillatory variation of the radial load on the guide bearing referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{R}(t)$	N
2.3.1.13	Axial pulsation measured at thrust bearing	Oscillatory variation of the axial load on the thrust bearing referred to its mean value during a time interval Δt previously selected	$\tilde{T}(t)$	N

* For the definitions of vibrations and pulsations see 2.3.2.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Termes	Définitions	Symboles	Unités
2.3.2	*Termes généraux se rapportant à des paramètres utilisés pour décrire des vibrations et des fluctuations**			
2.3.2.1	Vibration	Variation dans le temps d'une grandeur représentative du mouvement ou de la position d'un système mécanique lorsque cette grandeur est alternativement supérieure et inférieure à une valeur moyenne de référence		
2.3.2.2	Vibration ou fluctuation périodique	Grandeur dont les valeurs réapparaissent pour des intervalles égaux de la variable indépendante (temps) *Note.* — Grandeur périodique $X(t)$ fonction du temps t et pouvant s'exprimer sous la forme $X = f(t) = f(t + nT)$ où n est un entier, T un intervalle de temps constant et t le temps courant		
2.3.2.3	Période fondamentale (période)	Intervalle de temps le plus petit pour lequel une fonction périodique du temps se répète (voir 2.3.2.2) *Note.* — En l'absence de toute ambiguïté, la période fondamentale est appelée «période»	T	s
2.3.2.4	Fréquence	Inverse de la période	f	Hz
2.3.2.5	Harmonique (d'une grandeur périodique)	Composante sinusoïdale (d'une fonction périodique du temps) dont la fréquence est un multiple entier de la fréquence fondamentale		
2.3.2.6	Pulsation (fréquence circulaire)	Produit de la fréquence d'un phénomène sinusoïdal par le facteur 2π	ω	rad/s
2.3.2.7	Grandeur purement harmonique; grandeur sinusoïdale	Grandeur périodique qui est une fonction sinusoïdale du temps. Donc $X = A \sin(\omega t + \varphi)$ où $X(t)$ est la grandeur purement harmonique, A est l'amplitude, ω la fréquence circulaire (voir 2.3.2.6), t le temps courant, φ la phase (radians)		
2.3.2.8	Mouvement ou fluctuation purement harmonique	Mouvement ou fluctuation qui est une fonction sinusoïdale du temps		
2.3.2.9	Angle de phase; phase (d'une grandeur sinusoïdale)	Si une grandeur sinusoïdale a avancé de mT unités de temps (T étant la période), par comparaison à une valeur de temps prise comme référence, l'angle de phase est $m2\pi$	φ	rad
2.3.2.10	Amplitude	Valeur maximale d'une grandeur sinusoïdale $X(t)$	A	[X] (différentes unités selon la nature physique de X)
2.3.2.11	Valeur crête à crête d'une grandeur oscillatoire**	Différence algébrique entre les valeurs extrêmes de la grandeur. Dans le cas d'une grandeur sinusoïdale, la valeur crête à crête est le double de l'amplitude, soit $2A$	ΔX_{pp}	[X]
2.3.2.12	Vibration ou fluctuation composée	Vibration ou fluctuation consistant en la superposition (somme) de plusieurs vibrations ou fluctuations harmoniques pures *Note.* — Dans le cas où le rapport de chacune des fréquences à la fréquence fondamentale est un entier, la vibration composée est appelée vibration polyharmonique		

* La définition du terme «fluctuation» est la même que celle du terme «vibration», à cette différence près que la grandeur en jeu ne rend pas compte du mouvement ou de la position d'un système mécanique.

** La valeur crête (ΔX_p [X]) d'une grandeur oscillatoire (par opposition à la valeur crête à crête) est la valeur maximale absolue de l'écart par rapport à la valeur moyenne (voir 2.3.3.1) de la grandeur oscillatoire.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Terms	Definitions	Symbols	Units
2.3.2	*General terms relating to parameters used to describe vibrations and pulsations**			
2.3.2.1	Vibration	The variation with time of a quantity, which is descriptive of the motion or position of a mechanical system, when the magnitude is alternately greater and smaller than some average value of reference		
2.3.2.2	Periodic vibration or pulsation	A quantity whose values recur at equal intervals of the independent variable (time) *Note.* — A periodic quantity $X(t)$ which is a function of time t, and can be expressed as $X = f(t) = f(t + nT)$ where n is an integer, T is a constant interval of time and t is the running time		
2.3.2.3	Fundamental period (period)	The smallest interval of time for which a periodic function of time repeats itself (see 2.3.2.2) *Note.* — If there is no ambiguity, the fundamental period is called the period	T	s
2.3.2.4	Frequency	The reciprocal of period	f	Hz
2.3.2.5	Harmonic (of a periodic quantity)	A sinusoidal component (of a composite periodic function of time) whose frequency is an integer multiple of the fundamental frequency		
2.3.2.6	Angular frequency (circular frequency)	The product of the frequency of a sinusoidal phenomenon by the factor 2π	ω	rad/s
2.3.2.7	Simple harmonic quantity; sinusoidal quantity	A periodic quantity that is a sinusoidal function of time. Thus $X = A \sin(\omega t + \varphi)$ where $X(t)$ is the simple harmonic quantity. A is the amplitude, ω is the angular frequency (see 2.3.2.6), t is the running time, φ is the phase angle of the oscillation (radians)		
2.3.2.8	Simple harmonic motion or pulsation	A motion or pulsation that is a sinusoidal function of time		
2.3.2.9	Phase angle; Phase (of a sinusoidal quantity)	If a sinusoidal quantity has advanced through mT units of time (T being the period) as measured from a value of time taken as reference, the phase angle is $m2\pi$	φ	rad
2.3.2.10	Amplitude	The maximum value of a sinusoidal quantity $X(t)$	A	[X] (different units according to the physical nature of X)
2.3.2.11	Peak-to-peak value of an oscillating quantity**	The algebraic difference between the extreme values of the quantity. In the case of a sinusoidal quantity the peak-to-peak value is twice the amplitude, i.e. $2A$	ΔX_{pp}	[X]
2.3.2.12	Compound vibration or pulsation	Vibration or pulsation consisting of the superposition (sum) of several simple harmonic vibrations or pulsations *Note.* — In cases when the ratio of each of the frequencies of simple harmonic vibrations to fundamental frequency is an integer, compound vibration is called polyharmonic vibration		

* The definition of "pulsation" is the same as that of "vibration", with the difference that the quantity involved is not descriptive of the motion or position of a mechanical system.

** Peak value (ΔX_p [X]) of an oscillating quantity (as opposed to peak-to-peak value) is the maximum absolute value of the deviation from the mean value (see 2.3.3.1) of the oscillating quantity.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Termes	Définitions	Symboles	Unités
2.3.2.13	Résonance	Un système soumis à une excitation forcée est à sa résonance lorsqu'une modification, même infime, de la fréquence d'excitation provoque une baisse de la réponse du système		
2.3.2.14	Vibration ou fluctuation aléatoire	Vibration ou fluctuation dont l'amplitude ne peut pas être prévue avec précision à tout instant		
2.3.3	*Termes mathématiques*			
2.3.3.1	Valeur moyenne; moyenne algébrique	*a)* La valeur moyenne de grandeurs homogènes discrètes est égale à la somme algébrique de ces grandeurs divisée par le nombre de grandeurs. La valeur moyenne est alors égale à: $$\overline{X} = \frac{\sum_{n=1}^{N} X_n}{N}$$ où X_n est la valeur de la nième grandeur, N étant le nombre total de grandeurs discrètes *b)* La valeur moyenne d'une fonction continue, $X(t)$, sur un intervalle de temps compris entre t_1 et t_2, est égale à: $$\overline{X} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} X(t)\,\mathrm{d}t}{t_2 - t_1}$$	$\overline{X}$	[X]
2.3.3.2	Ecart type Valeur efficace par rapport à la valeur moyenne	Valeur efficace (r.m.s.) de l'écart d'un ensemble de nombres (ou d'une fonction) par rapport à la valeur moyenne *a)* Pour un ensemble de nombres $X_1, X_2, \ldots X_N$ $$\tilde{X}_{\mathrm{eff}} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} (X_n - \overline{X})^2}{N}}$$ où l'indice n se rapporte à la $n$ième valeur, N étant le nombre total de grandeurs discrètes de l'ensemble, et $\overline{X}$ la valeur moyenne de cet ensemble (voir 2.3.3.1)* *b)* Si la grandeur $X(t)$ est une fonction continue de t, sa valeur efficace sur un intervalle compris entre t_1 et t_2 est: $$\tilde{X}_{\mathrm{eff}} = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} [X(t) - \overline{X}]^2\,\mathrm{d}t}{t_2 - t_1}}$$	$\tilde{X}_{\mathrm{eff}}$	[X]
2.3.3.3	Valeur efficace (r.m.s.)	*a)* La valeur efficace d'un ensemble de nombres est la racine carrée de la moyenne de leurs valeurs au carré. La valeur efficace (r.m.s.) d'un ensemble de nombres peut se représenter comme suit: $$X_{\mathrm{rms}} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} X_n^2}{N}}$$	X_{rms}	[X]

* Parfois la définition de l'écart type des données d'un échantillon remplace le N du dénominateur par $(N-1)$, parce que la formule ainsi modifiée représente une meilleure estimation de l'écart type d'une population de laquelle l'échantillon a été prélevé. Pour les grandes valeurs de N (p.ex. $N>30$), la différence est quasi nulle.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Terms	Definitions	Symbols	Units
2.3.2.13	Resonance	Resonance of a system in forced oscillation exists when any change, however small, in the frequency of excitation causes a decrease in the response of the system		
2.3.2.14	Random vibration or pulsation	A vibration or pulsation, of which the magnitude cannot be precisely predicted for any given instant of time		
2.3.3	*Mathematical terms*			
2.3.3.1	Average value; mean value; algebraic mean value	*a)* The average value of a number of homogeneous discrete quantities is equal to the algebraic sum of the quantities divided by the number of quantities. The average value is equal to: $\overline{X} = \frac{\sum_{n=1}^{N} X_n}{N}$ where X_n is the value of nth quantity: N is the total number of discrete quantities *b)* The average value of a continuous function, $X(t)$, over a time interval between t_1 and t_2 is equal to: $\overline{X} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} X(t)\,dt}{t_2 - t_1}$	$\overline{X}$	[X]
2.3.3.2	Standard deviation Effective value referred to the mean	The root-mean-square (r.m.s.) value of the deviation of a set of numbers (or a function) from the mean value *a)* For a set of numbers $X_1, X_2, \ldots X_N$ $\tilde{X}_{eff} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} (X_n - \overline{X})^2}{N}}$ where the subscript n refers to the n-th value. N is the total number of discrete quantities in the set, $\overline{X}$ is the mean value of the set (see 2.3.3.1)* *b)* If the quantity $X(t)$ is a continuous function of t, its effective value over an interval between t_1 and t_2 is: $\tilde{X}_{eff} = \sqrt{\frac{\int_{t_1}^{t_2} [X(t) - \overline{X}]^2\,dt}{t_2 - t_1}}$	$\tilde{X}_{eff}$	[X]
2.3.3.3	Root-mean-square value: r.m.s. value (effective value)	*a)* The root-mean-square (r.m.s.) value of a set of numbers is the square root of the average of their squared values. The r.m.s. value of the set of numbers can be represented as: $X_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} X_n^2}{N}}$	X_{rms}	[X]

* Sometimes the standard deviation for the data of a sample is defined with $(N-1)$, replacing N in the denomination because the resulting value represents a better estimate of the standard deviation of a population from which the sample is taken. For larger values of N (i.e. $N>30$) there is practically no difference.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Termes	Définitions	Symboles	Unités
		où l'indice n se rapporte à la $n$ième valeur, N étant le nombre total de grandeurs homogènes discrètes *b)* La valeur efficace (r.m.s.) d'une fonction continue $X(t)$ sur un intervalle compris entre t_1 et t_2 est égale à la racine carrée de la moyenne des valeurs au carré de la fonction sur l'intervalle en question. La valeur efficace (r.m.s.) d'une fonction continue à une seule variable $X(t)$ sur un intervalle compris entre t_1 et t_2 est la suivante: $X_{rms} = \sqrt{\dfrac{\int_{t_1}^{t_2} [X(t)]^2 \, dt}{t_2 - t_1}}$ *Note.* — En théorie des vibrations, la valeur moyenne d'une vibration est égale à zéro. Dans ce cas, la valeur efficace X_{rms} est égale à l'écart type $\tilde{X}_{eff}$ (voir 2.3.3.2) et la moyenne quadratique X^2_{rms} est égale à la variance $\tilde{X}^2_{eff}$ (voir 2.3.3.4). Pour une grandeur sinusoïdale d'amplitude A, la valeur efficace est $A/\sqrt{2}$		
2.3.3.4	Variance	Carré de l'écart type *Note.* — Lorsque la valeur moyenne d'une variable est zéro, la variance est la moyenne quadratique de cette variable (voir note 2 pour la moyenne quadratique 2.3.3.5)	$\tilde{X}^2_{eff}$	$[X^2]$
2.3.3.5	Moyenne quadratique	La moyenne quadratique d'une fonction (ou d'un ensemble de nombres, dans un intervalle donné est égale à la moyenne des carrés de la fonction (ou de l'ensemble de nombres) dans ce même intervalle *Notes 1.* — La moyenne quadratique est le carré de la valeur efficace *2.* — Lorsque la moyenne $\overline{X}$ est nulle, la moyenne quadratique est égale à la variance (voir 2.3.3.4) *3.* — Si la valeur moyenne $\overline{X}$ n'est pas nulle, alors: $X^2_{rms} = \tilde{X}^2_{eff} + \overline{X}^2$	X^2_{rms}	$[X^2]$
2.3.4	*Autres termes utilisés*			
2.3.4.1	Nombre d'aubes du distributeur ou du diffuseur (machines à réaction), ou nombre d'injecteurs (PELTON)		z_0	
2.3.4.2	Nombre de pales ou d'aubes de la roue (machines à réaction), ou nombre d'augets (PELTON)		z_2	
2.3.4.3	Vitesse d'écoulement	Vitesse relative de l'écoulement sur une partie étudiée, en un point P à spécifier, en dehors de la couche limite (voir figure 1)	v_w	m/s
2.3.4.4	Epaisseur du bord de fuite d'un profil hydraulique (directrice, aube, pale, etc.)	Diamètre maximal d'une sphère tangente aux deux surfaces opposées du profil, à proximité du bord de fuite (voir figure 2)	δ	m
2.3.4.5	Fréquence limite (inférieure, supérieure)	Valeur extrême, inférieure ou supérieure, de la gamme de fréquences du processus étudié	f_L, f_U	Hz

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Terms	Definitions	Symbols	Units
		where the subscript n refers to the n-th value and N is the total number of discrete homogeneous quantities *b)* The root-mean-square (r.m.s.) value of a continuous function, $X(t)$ over an interval between t_1 and t_2, is equal to the square root of the average of the squared values of the function over the interval. The r.m.s. value of a continuous single-valued function, $X(t)$ over an interval between t_1 and t_2 is: $X_{rms} = \sqrt{\dfrac{\int_{t_1}^{t_2} [X(t)]^2 \, dt}{t_2 - t_1}}$ *Note.* – In vibration theory the average or mean value of the vibration is equal to zero. In this case the r.m.s. value X_{rms} is equal to the standard deviation $\tilde{X}_{eff}$ (see 2.3.3.2) and the mean square value X^2_{rms} is equal to the variance $\tilde{X}^2_{eff}$ (see 2.3.3.4). In the case of a sinusoidal quantity of amplitude A its effective value is $A/\sqrt{2}$		
2.3.3.4	Variance	The square of the standard deviation *Note.* — When the mean value of a variable is zero, the variance is the mean square value of the variable (see Note 2 under Mean square value, 2.3.3.5)	$\tilde{X}^2_{eff}$	$[X^2]$
2.3.3.5	Mean square value	The mean square value of a function (or set of numbers) over a given interval is equal to the mean of the squared values of the function (or set of numbers) over that interval *Notes 1.* — The mean square value is the square of the r.m.s. value *2.* — When the mean value $\overline{X}$ is zero the mean square value is equal to the variance (see 2.3.3.4) *3.* — If the mean value $\overline{X}$ is not zero then: $X^2_{rms} = \tilde{X}^2_{eff} + \overline{X}^2$	X^2_{rms}	$[X^2]$
2.3.4	*Other terms utilized*			
2.3.4.1	Number of guide or diffuser vanes (reaction machines), or number of Pelton nozzles		z_0	
2.3.4.2	Number of runner impeller blades (reaction machines), or number of Pelton buckets		z_2	
2.3.4.3	Flow velocity	The relative velocity of flow over a part to be investigated, at a point P, outside the thickness of the boundary layer, to be specified (see Figure 1)	v_w	m/s
2.3.4.4	Thickness of trailing edge of a hydraulic profile (guide vane, runner blade, etc.)	Maximum diameter of a sphere tangent to the two opposite surfaces of the profile near the trailing edge (see Figure 2)	δ	m
2.3.4.5	Limit frequency (lower, upper)	The lower and upper frequency values of the frequency range of the process under investigation	f_L, f_U	Hz

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

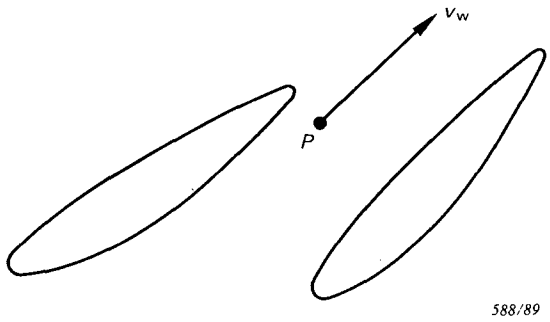

FIG. 1. — Définition de la vitesse d'écoulement*.

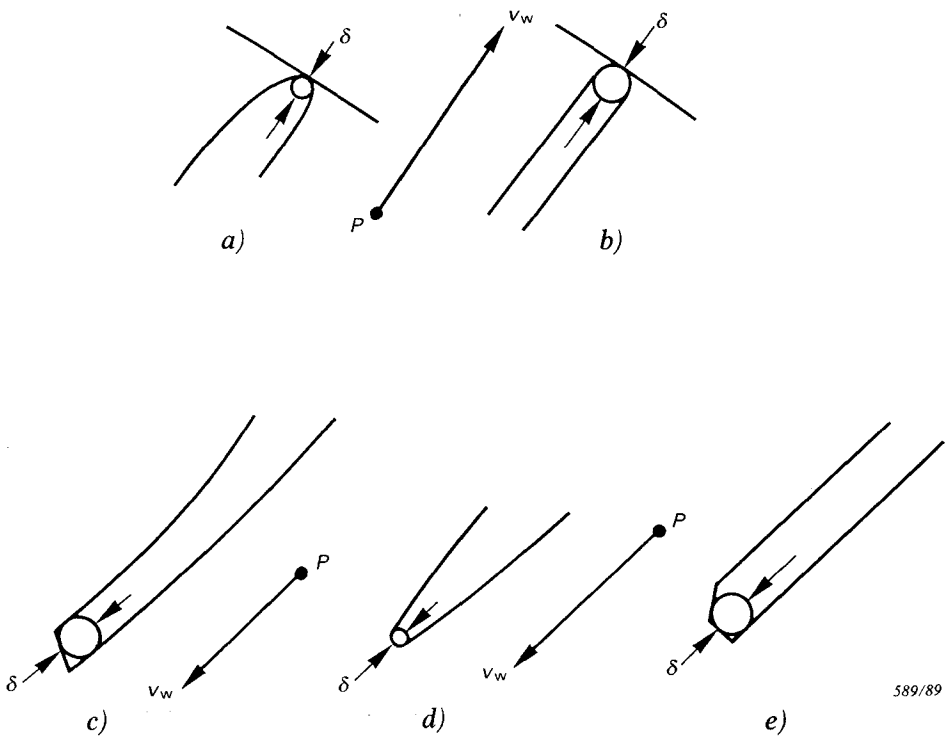

FIG. 2. — Définition de l'épaisseur du bord de fuite d'un profil hydraulique*.

* Ces définitions ne sont qu'une suggestion afin d'évaluer l'ordre de grandeur de la fréquence, en fonction du nombre de Strouhal (voir 6.1.1).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

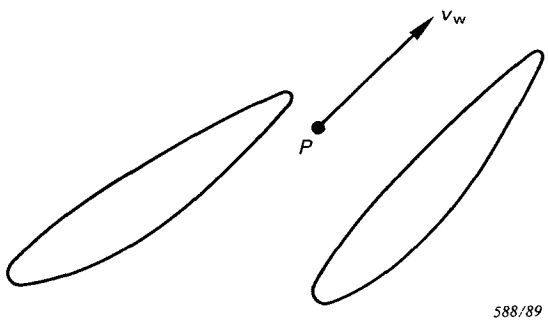

FIG. 1. — Definition of flow velocity*.

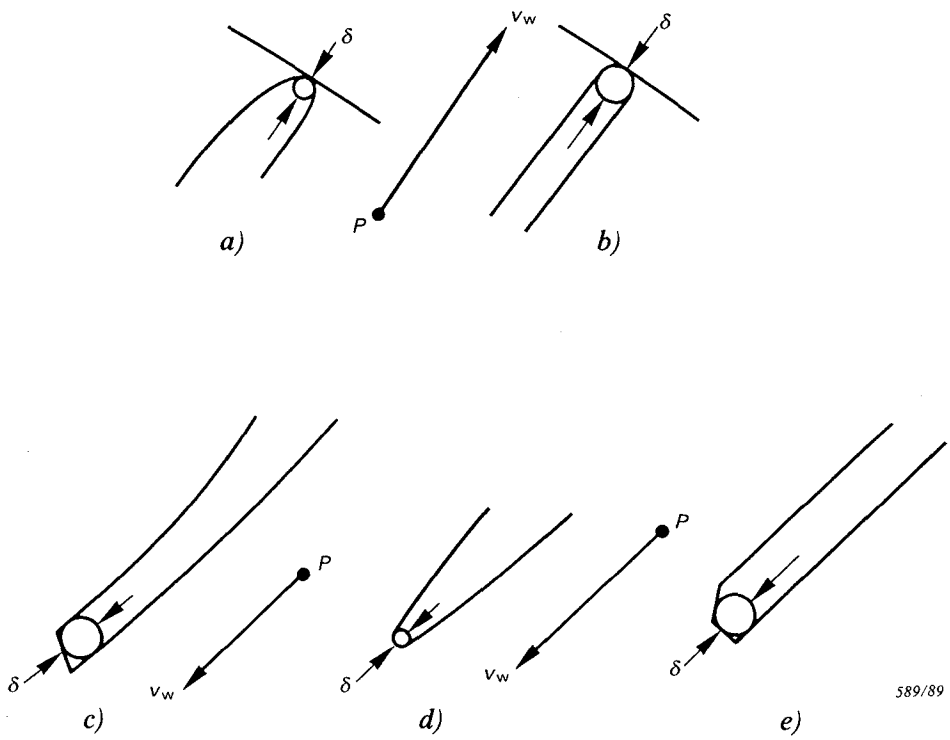

FIG. 2. — Definition of thickness of trailing edge of a hydraulic profile*.

* These definitions are only a rough suggestion to evaluate the order of magnitude of frequency through the Strouhal number (see 6.1.1).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Termes	Définitions	Symboles	Unités
2.3.4.6	Fréquence limite inférieure/ supérieure du canal de mesure	Fréquence limite inférieure ou supérieure du canal de mesure, pour laquelle l'amplification est réduite de 3 dB par rapport à la partie horizontale de la courbe caractéristique de l'amplification en fonction de la fréquence	f_{Lr} f_{Ur}	Hz
2.3.4.7	Densité spectrale de puissance	La densité spectrale de puissance d'une grandeur est la moyenne des carrés des valeurs de la partie de cette grandeur qui passe par un filtre à bande étroite, de fréquence centrale f, par unité de largeur de bande, lorsque cette largeur de bande tend vers zéro et le temps, sur lequel est faite la moyenne, vers l'infini	$G(f)$	$[X^2] \cdot s$ où [X] est l'unité de mesure de la grandeur oscillante X
2.3.4.8	Largeur de bande constante relative (en %) d'un analyseur	Rapport: $\beta = \frac{f_1 - f_2}{\sqrt{f_1 \cdot f_2}} \times 100$ où f_1, f_2 sont les valeurs de fréquence pour lesquelles on a une chute de 3 dB par rapport à la courbe caractéristique de l'analyseur	β	%
2.3.4.9	Fréquence de coupure haute du montage d'un capteur de pression	Fréquence maximale pour laquelle l'erreur sur l'amplitude mesurée par le capteur de pression et provoquée par son montage (voir figure D1), ne dépasse pas 3 dB	f_c	Hz
2.3.4.10	Volume de la chambre dans le montage d'un capteur de pression (voir figure D)	Volume de la chambre sur laquelle le capteur de pression est monté	V_c	m^3
2.3.4.11	Aire de la section transversale et longueur du conduit vers le capteur de pression (voir figure D)	Aire de la section transversale et longueur du conduit de raccordement reliant le capteur de pression au conduit hydraulique de la machine	A_c L_c	m^2 m
2.3.4.12	Vitesse de propagation d'une onde dans le conduit vers le capteur de pression	Vitesse de propagation des ondes de pression dans le conduit vers le capteur de pression (voir 2.3.4.11)	a_c	m/s
2.3.4.13	Vitesse d'enregistrement	Vitesse du faisceau ou du stylet par rapport au papier de l'enregistreur	v_s	m/s
2.3.4.14	Durée d'enregistrement du signal	Durée d'enregistrement d'un signal émis par un capteur	t_r	s
2.3.4.15	Fréquence de la composante vibratoire	Fréquence de la composante enregistrée à étudier	f_i	Hz
2.3.4.16	Nombre de cycles enregistrés	Nombre de cycles de la composante à enregistrer	N_r	
2.3.4.17	Vitesse de déroulement de la bande ou du papier	Vitesse de déroulement de la bande ou du papier pendant l'enregistrement	v_r	m/s

Note. — D'autres termes et symboles, qui ne figurent pas dans cette liste, seront définis au fil du texte, lorsque cela sera nécessaire.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

	Terms	Definitions	Symbols	Units
2.3.4.6	Lower/upper limit frequency of measuring channel	Actual lower/upper limit of frequency of measuring channel, where amplification is reduced by 3 dB with respect to the flat portion of the amplification versus frequency response curve	f_{Lr} f_{Ur}	Hz
2.3.4.7	Power spectral density	The power spectral density is the mean square value of that part of the quantity, passed by a narrow band filter of centre frequency f, per unit bandwidth in the limit as the bandwidth approaches zero and the averaging time approaches infinity	$G(f)$	$[X^2] \cdot s$ where [X] is the unit in which the oscillating quantity X is measured
2.3.4.8	Constant relative (percentage) bandwidth of an analyzer	The ratio $\beta = \frac{f_1 - f_2}{\sqrt{f_1 \cdot f_2}} \times 100$ where f_1, f_2 = frequency values at 3 dB drop points of the analyzer frequency response curve	β	%
2.3.4.9	Upper cut-off frequency of pressure transducer installation	Maximum frequency at which pressure transducer amplitude distortion caused by transducer installation (see Figure D1) does not exceed 3 dB	f_c	Hz
2.3.4.10	Volume of pressure transducer chamber (see Figure D)	Volume of the chamber where the pressure transducer is mounted	V_c	m^3
2.3.4.11	Cross-sectional area and length of the pressure transducer pipe (see Figure D)	Cross-sectional area and length of the connecting pipe connecting the pressure transducer to the water passage of the hydraulic machine	A_c L_c	m^2 m
2.3.4.12	Wave propagation velocity in pressure line	Velocity of propagation of pressure waves in the pressure line (see 2.3.4.11)	a_c	m/s
2.3.4.13	Recording velocity	Velocity of recording beam or pen movement with respect to the recording paper	v_s	m/s
2.3.4.14	Signal recording time	Period of time during which a signal from a transducer is recorded	t_r	s
2.3.4.15	Vibration component frequency	Frequency of recorded component to be investigated	f_i	Hz
2.3.4.16	Number of cycles recorded	Number of component cycles to be recorded	N_r	
2.3.4.17	Tape or paper speed	Tape or paper speed during recording	v_r	m/s

Note. — Other terms and symbols, not listed here, are defined in the text as the necessity arises.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

2.4 *Classification des machines hydrauliques*

Les machines hydrauliques sont classées par type sur la base du futur «Guide pour le vocabulaire des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines».

La conception des machines hydrauliques et leurs paramètres diffèrent largement. Les machines de différentes conceptions ont été réparties en un certain nombre de classes pour faciliter la comparaison de leurs comportements aux vibrations et fluctuations.

2.4.1 Voici la liste des caractéristiques retenues comme critères de classification*:

— *Type de machine hydraulique*

Turbines: Pelton, à jet incliné, à flux croisé, Francis, diagonale (Dériaz), hélice, Kaplan, bulbe, tubulaire (à alternateur périphérique), turbine en S.

Pompes: Centrifuges (à un étage, à plusieurs étages), à écoulement diagonal, à écoulement axial.

Pompes-turbines: Francis (à un étage, à plusieurs étages réglables ou non), à écoulement diagonal, à écoulement axial.

— *Position de l'arbre* (verticale, horizontale, inclinée).

— *Nombre et position des paliers.*

— *Disposition de la machine selon la position du palier de butée:* type suspendu, type parapluie avec pivot au niveau de la console palière inférieure, type parapluie avec pivot au niveau du couvercle (fond supérieur), type pivot en partie inférieure de la machine.

2.4.2 En fonction de la position de l'arbre et du nombre et de la position des paliers, les principales classes suivantes sont établies pour les machines hydrauliques (des exemples de disposition sont donnés figure 3).

2.4.2.1 La classe des machines verticales comprend:

— machines suspendues (figure 3*a*);

— machines de type parapluie (figures 3*b* et 3*c*);

— machines avec le palier de butée à la partie inférieure de l'arbre (figure 3*d*).

2.4.2.2 La classe des machines horizontales comprend:

— machines à deux paliers (figures 3*e* et 3*g*);

— machines à trois paliers;

— machines à quatre paliers (figure 3*f*).

2.4.3 La classe des machines bulbes comprend:

— machines avec la roue et l'alternateur montés en porte à faux (figure 3*h*);

— machines avec un palier-guide supplémentaire positionné sur le croisillon de sortie (figure 3*i*).

La figure 3*k* donne un exemple de machine en S.

---

* Cette classification ne prétend pas à l'exhaustivité, mais entend seulement couvrir les types les plus répandus; les figures jointes ne sont que des schémas indicatifs, en vue d'avoir une référence facile avec la liste des différentes dispositions (voir page 28).

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

2.4 *Classification of hydraulic machines*

Hydraulic machines are classified into their types on the basis of the future "Guide for the Nomenclature of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines".

Designs of hydraulic machines and their parameters are highly different. To facilitate the comparison of vibrations and pulsations of different machines the various designs are subdivided into a number of different classes.

2.4.1 The following features are used as the basis for classification*:

— *Type of hydraulic machine*

Turbines: Pelton, inclined jet, cross flow, Francis, diagonal flow (Deriaz), propeller, Kaplan, bulb, rim-generator (straight-flow), S-type.

Pumps: centrifugal (single stage, multistage), diagonal flow, axial flow.

Pump turbines: Francis (single stage, multistage not regulated and regulated), diagonal flow, axial flow.

— *Arrangement of the shaft* (vertical, horizontal, inclined).

— *Number and position of bearings.*

— *Arrangement of the machines:* suspended type, umbrella type supported on the lower bearing bracket, umbrella type supported on the head cover, thrust bearing at lower end of the machine in relation to the position of the thrust bearing.

2.4.2 As a function of the arrangement of the shaft and of the number and position of bearings the following principal classes of hydraulic machines are formed (some examples of arrangements are shown in Figure 3).

2.4.2.1 The class of vertical machines includes:

— suspended machines (Figure 3*a*)

— umbrella type machines (Figures 3*b* and 3*c*)

— machines with the thrust bearing at the lower end of the shaft (Figure 3*d*).

2.4.2.2 The class of horizontal machines includes:

— machines with two bearings (Figures 3*e* and 3*g*)

— machines with three bearings

— machines with four bearings (Figure 3*f*).

2.4.3 The class of bulb machines includes:

— machines with cantilever arrangement of runner and generator (Figure 3*h*);

— machines with additional radial support located on an outlet stayring (Figure 3*i*).

Figure 3*k* gives an example of S-type machines.

---

* This classification is not intended to be exhaustive, but to cover only the more widely used types; besides, the figures are intended only as indicative schemes for easy reference to the list of arrangements and parts on page 29.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

La description générale des croquis ainsi qu'une liste des numéros utilisés pour identifier les parties principales de chaque disposition sont données ci-dessous.

Figure 3*a*: machine verticale suspendue.
Figure 3*b*: machine verticale du type parapluie.
Figure 3*c*: machine verticale du type parapluie.
Figure 3*d*: machine verticale supportée à l'extrémité inférieure de l'arbre.
Figure 3*e*: machine horizontale à deux paliers.
Figure 3*f*: machine horizontale à quatre paliers.
Figure 3*g*: couple de machines horizontales à deux paliers.
Figure 3*h*: machine bulbe montée en porte à faux.
Figure 3*i*: machine bulbe avec un palier-guide supplémentaire.
Figure 3*k*: machine en S.

Liste des organes et leurs numéros de référence:

1 Roue.
2 Arbre.
3 Alternateur/moteur.
4 Couvercle (fond supérieur).
5 Console palière inférieure.
6 Console palière supérieure.
7 Support palier de butée.
8 Palier-guide turbine (pompe/pompe-turbine).
9 Palier-guide alternateur/moteur.
10 Palier de butée.
11 Palier-guide et de butée combiné.
12 Accouplement.
13 Réducteur/multiplicateur.

FIG. 3. — Quelques dispositions de machines hydrauliques. (Voir pages suivantes.)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

The general description of the figures and a list of the numbers used for the identification of the main parts within the arrangements is summarized in the following.

Figure 3*a*: vertical suspended machine.
Figure 3*b*: vertical umbrella-type machine.
Figure 3*c*: vertical umbrella-type machine.
Figure 3*d*: vertical machine supported at the lower end shaft.
Figure 3*e*: horizontal machine with two bearings.
Figure 3*f*: horizontal machine with four bearings.
Figure 3*g*: pair of horizontal machines with two bearings.
Figure 3*h*: bulb machine with cantilever arrangement.
Figure 3*i*: bulb machine with additional radial bearing.
Figure 3*k*: S-type machine.

List of parts and reference numbers:

1 Runner/impeller.
2 Shaft.
3 Generator/motor.
4 Head cover.
5 Lower bearing bracket.
6 Upper bearing bracket.
7 Thrust bearing support.
8 Turbine (pump/pump-turbine) guide bearing.
9 Generator/motor guide bearing.
10 Thrust bearing.
11 Guide and thrust bearing combined.
12 Coupling.
13 Gear box.

FIG. 3. — Some arrangements of hydraulic machines. (See following pages.)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

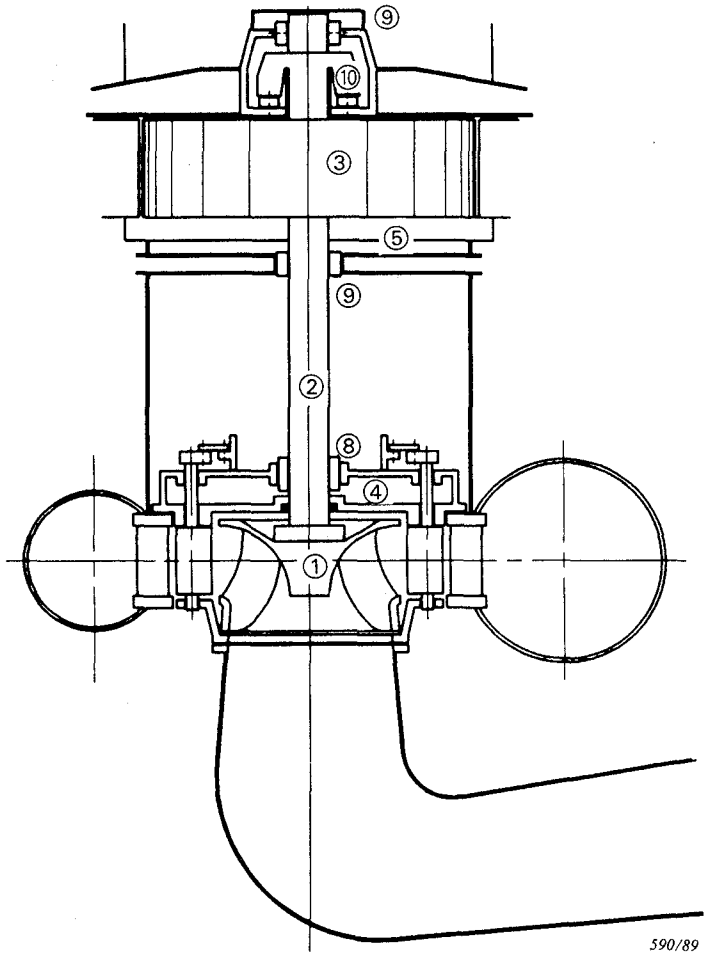

FIG. 3*a*. — Exemple d'une machine verticale suspendue (turbine Francis) à trois paliers-guides.

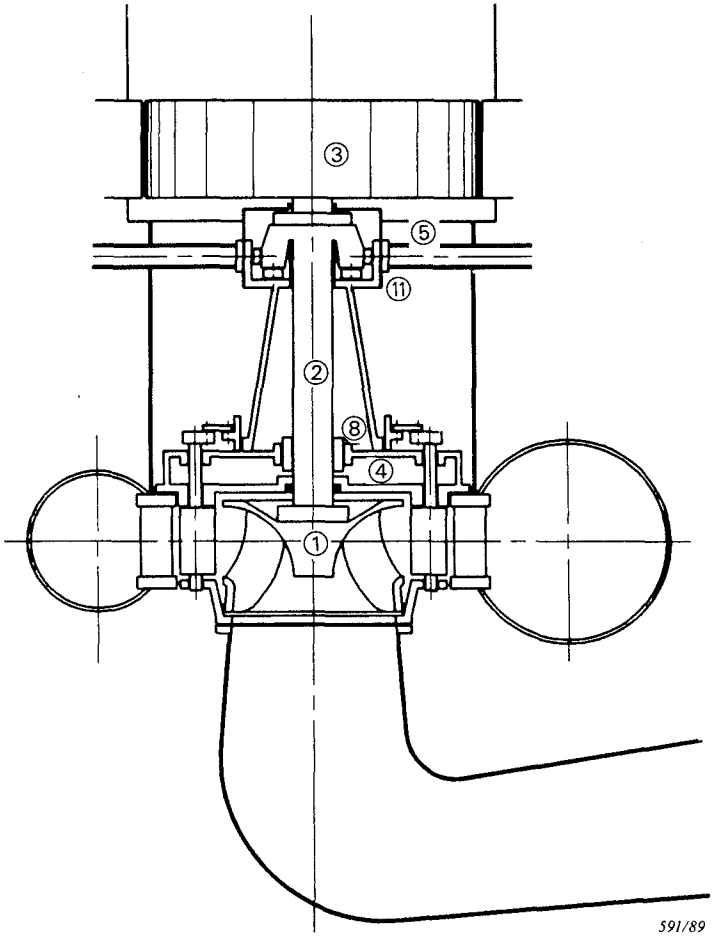

FIG. 3*b*. — Exemple d'une machine verticale (turbine Francis) du type parapluie avec butée sur le fond supérieur, et alternateur en porte à faux.

(Pour la liste des numéros de référence, voir description générale de la figure 3, page 28)

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

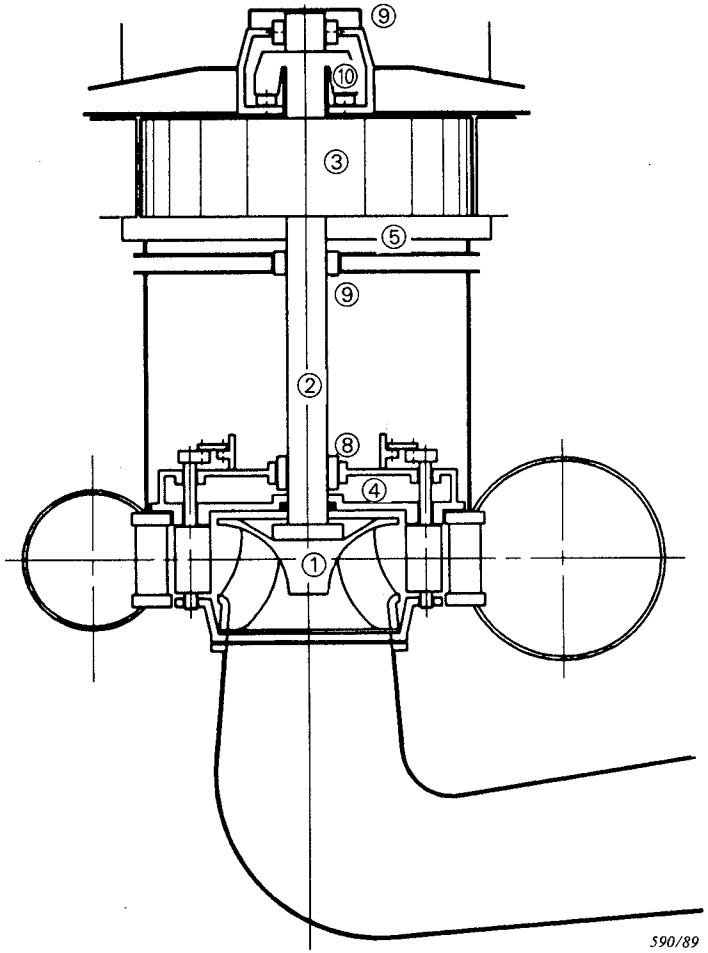

FIG. 3*a*. — Example of a vertical suspended machine (Francis turbine) with three guide bearings.

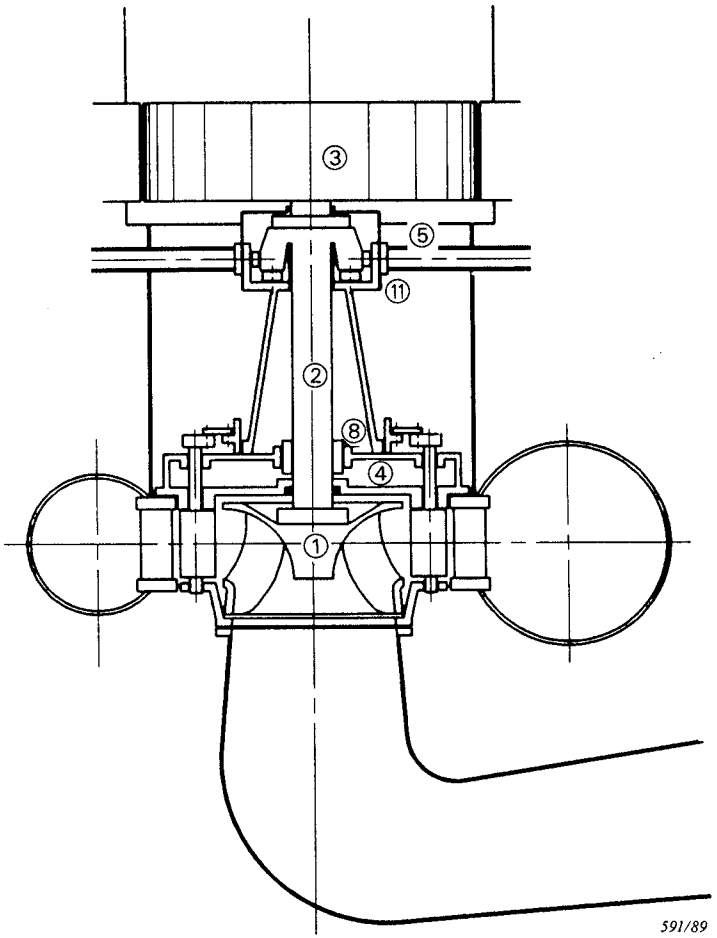

FIG. 3*b*. — Example of a vertical machine (Francis turbine) of umbrella type with the bearing on the turbine head cover and cantilever arrangement of the generator.

(List of reference numbers, see general description of Figure 3, page 29)

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

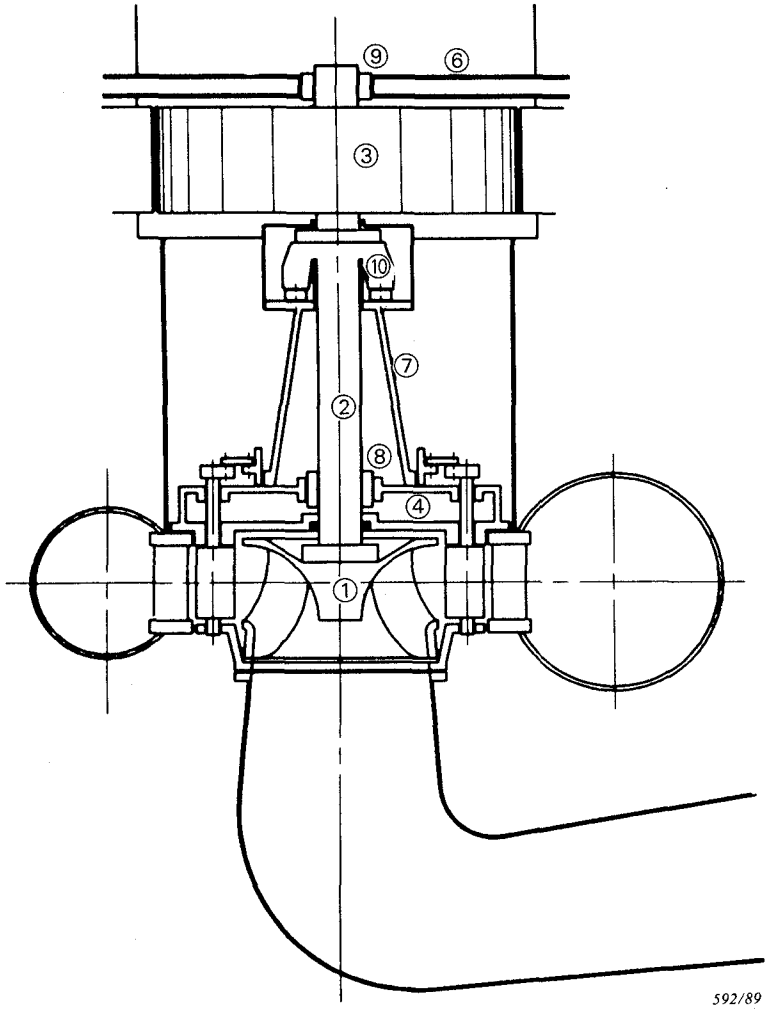

FIG. 3*c*. — Exemple d'une machine verticale (turbine Francis) du type parapluie, avec la butée sur le fond supérieur, et deux paliers-guides.

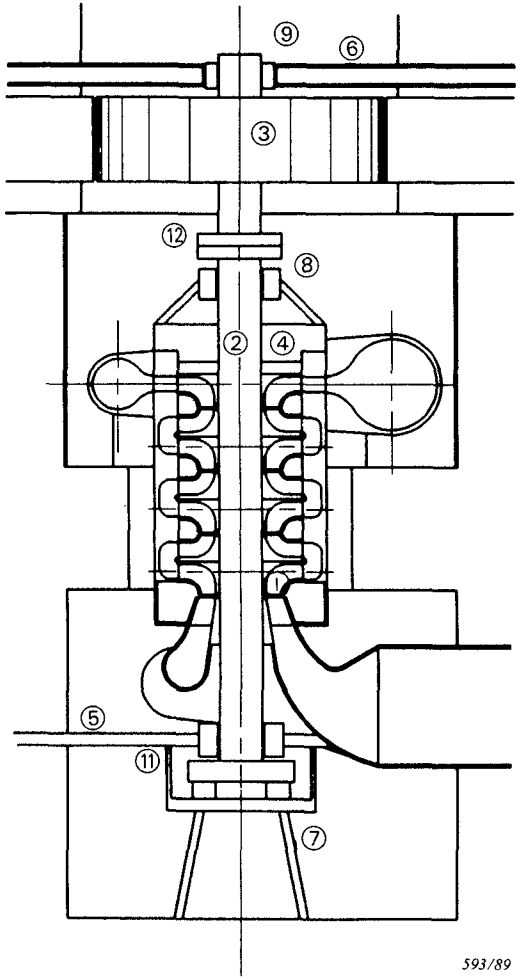

FIG. 3*d*. — Exemple de machine verticale (pompe à 4 étages), avec la butée à l'extrémité inférieure de l'arbre et trois paliers-guides.

(Pour la liste des numéros de référence, voir description générale de la figure 3)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

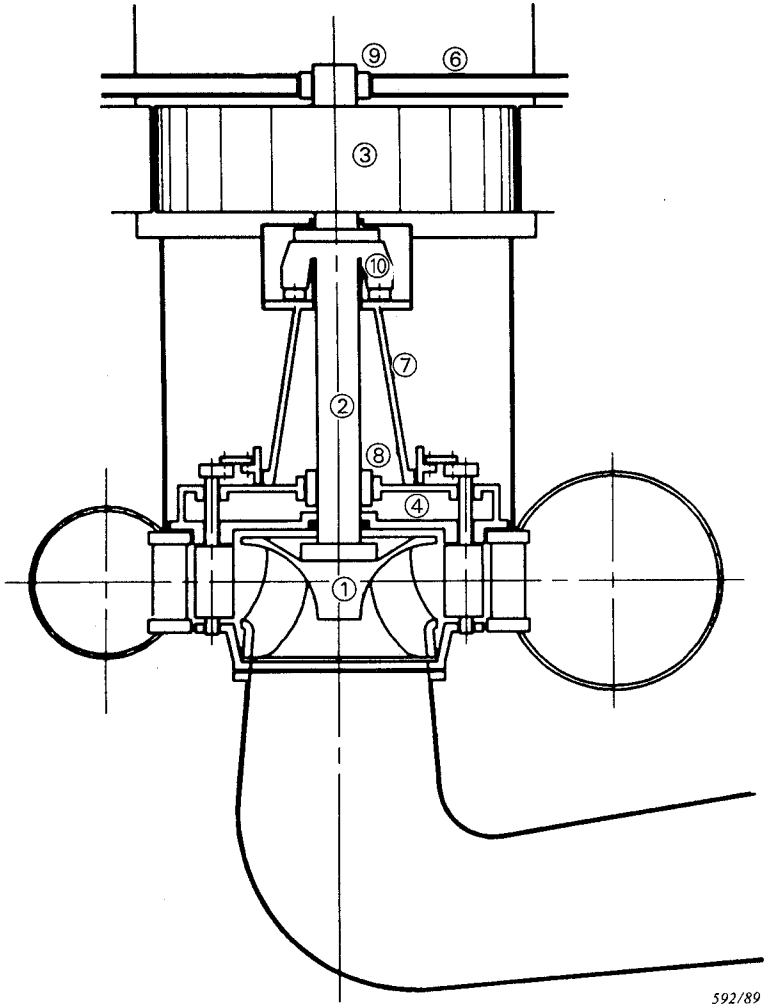

FIG. 3*c*. — Example of a vertical machine (Francis turbine) of umbrella-type with the thrust bearing on the head cover and two guide bearings.

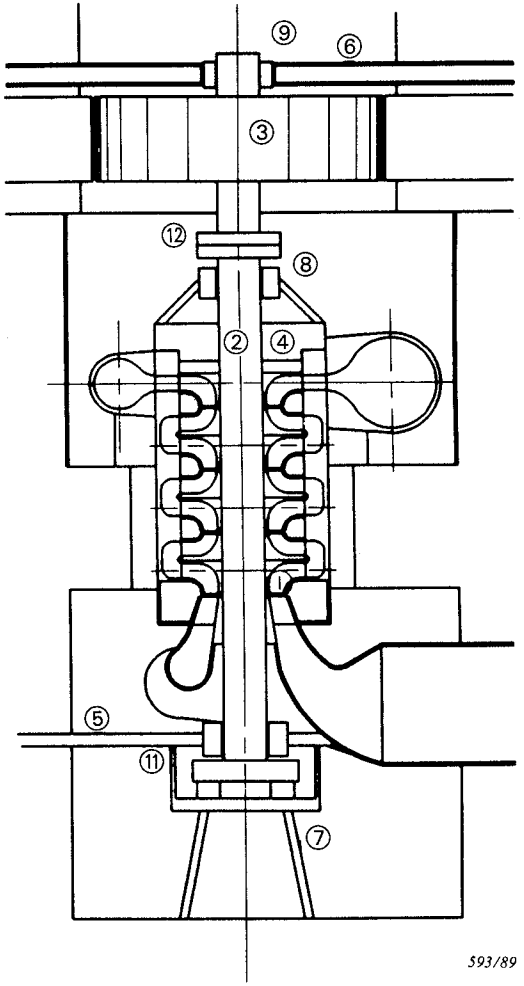

FIG. 3*d*. — Example of a vertical machine (four-stage storage pump) with the thrust bearing at the lower end of the shaft and three guide bearings.

(List of reference numbers: see general description of Figure 3)

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

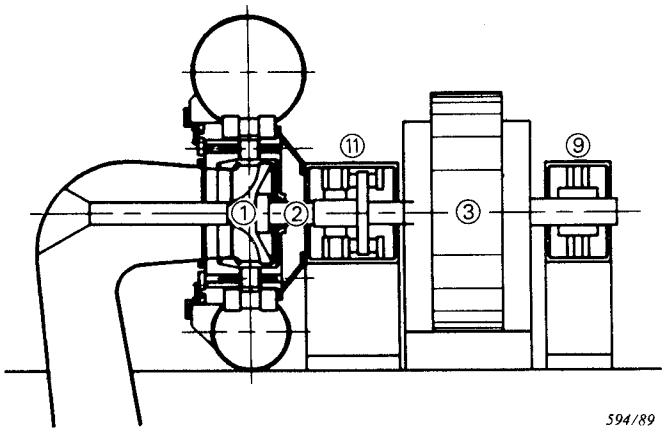

FIG. 3*e*. — Exemple de machine horizontale (turbine Francis) à deux paliers.

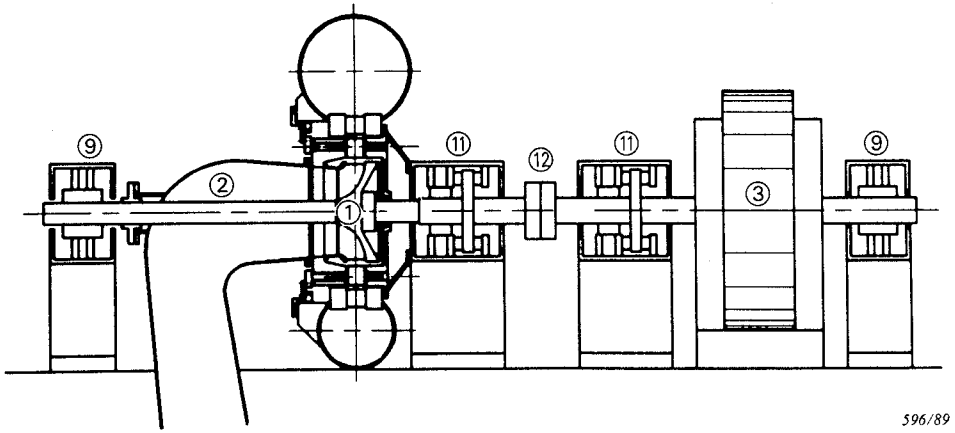

FIG. 3*f*. — Exemple de machine horizontale (turbine Francis) à quatre paliers.

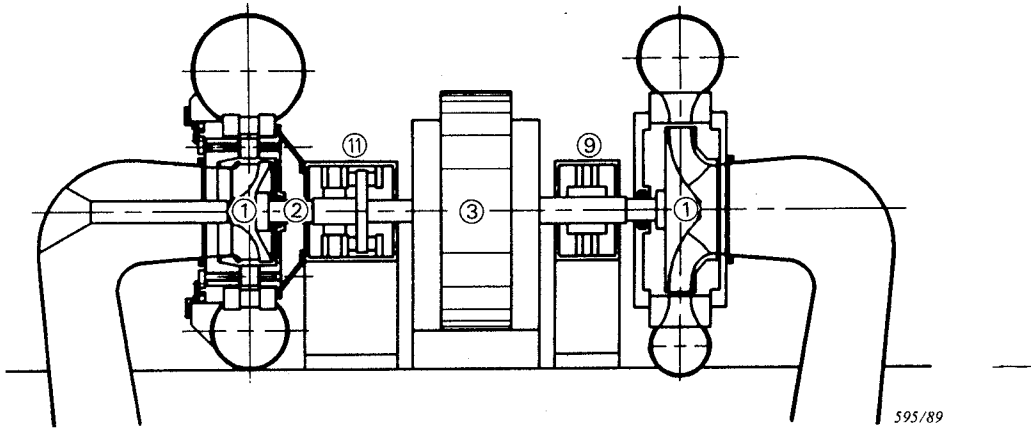

FIG. 3*g*. — Exemple de machine horizontale à deux paliers; une turbine Francis à gauche et une pompe mono-étage à droite.

(Pour la liste des numéros de référence, voir description générale de la figure 3)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

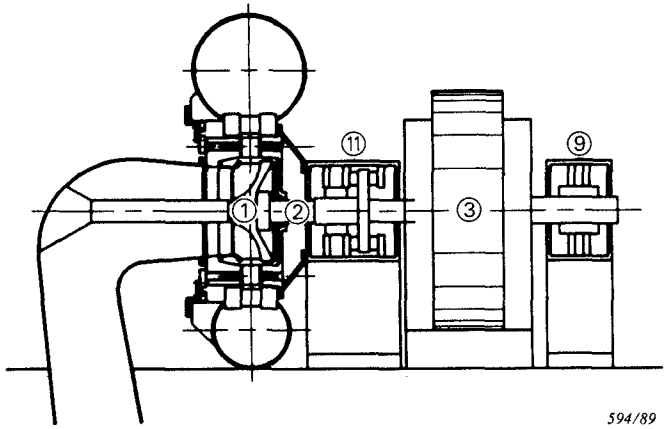

FIG. 3*e*. — Example of a horizontal machine (Francis turbine) with two bearings.

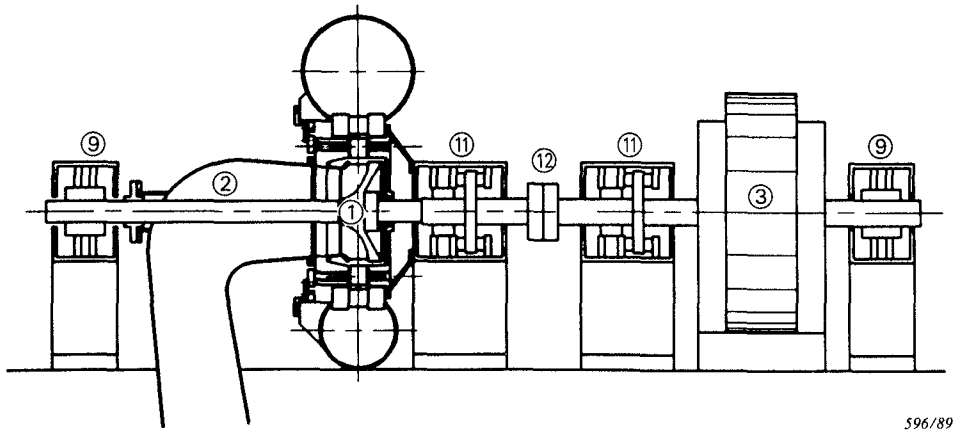

FIG. 3*f*. — Example of a horizontal machine (Francis turbine) with four bearings.

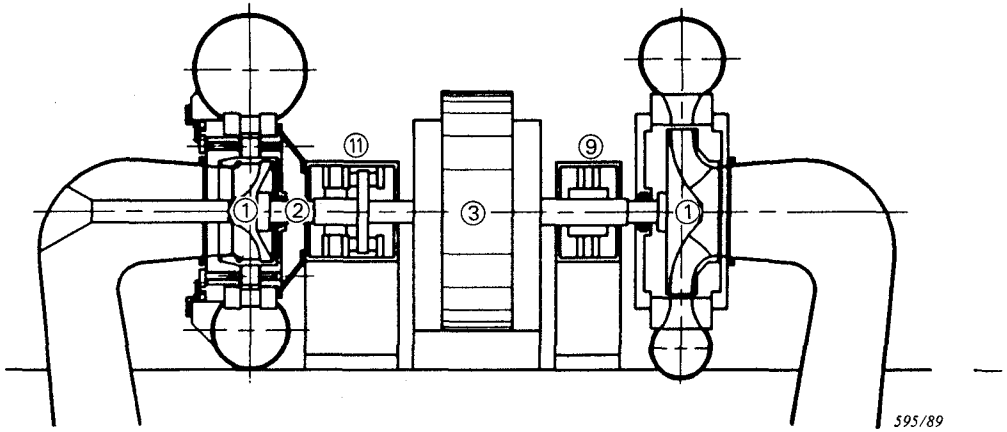

FIG. 3*g*. — Example of a horizontal machine with two bearings, a Francis turbine on the left and a single stage pump on the right side.

(List of reference numbers: see general description of Figure 3)

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

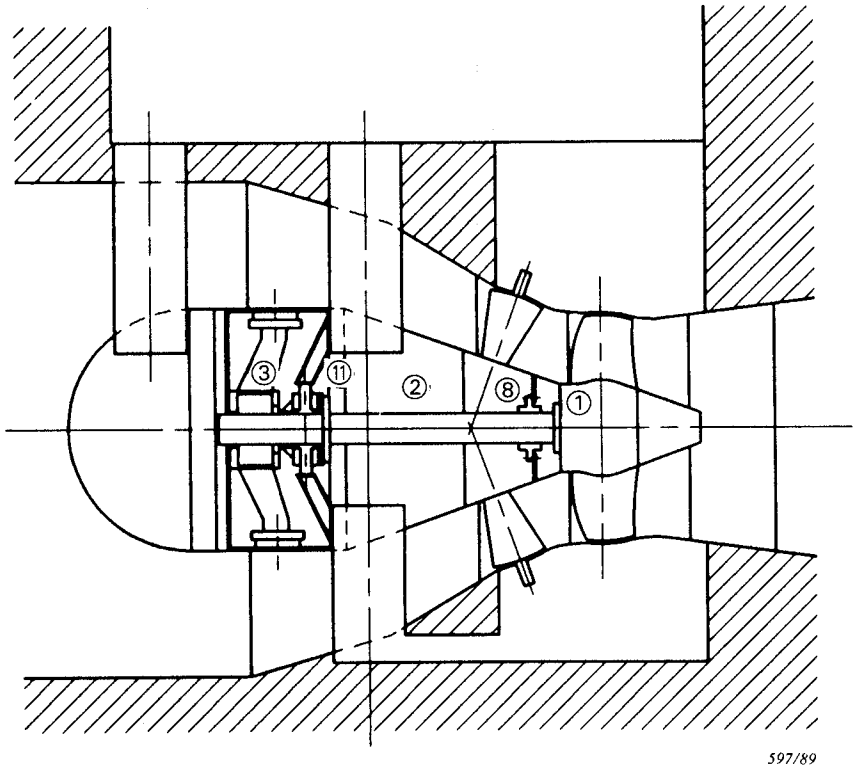

FIG. 3*h*. — Exemple de machine bulbe avec roue et alternateur montés en porte à faux.

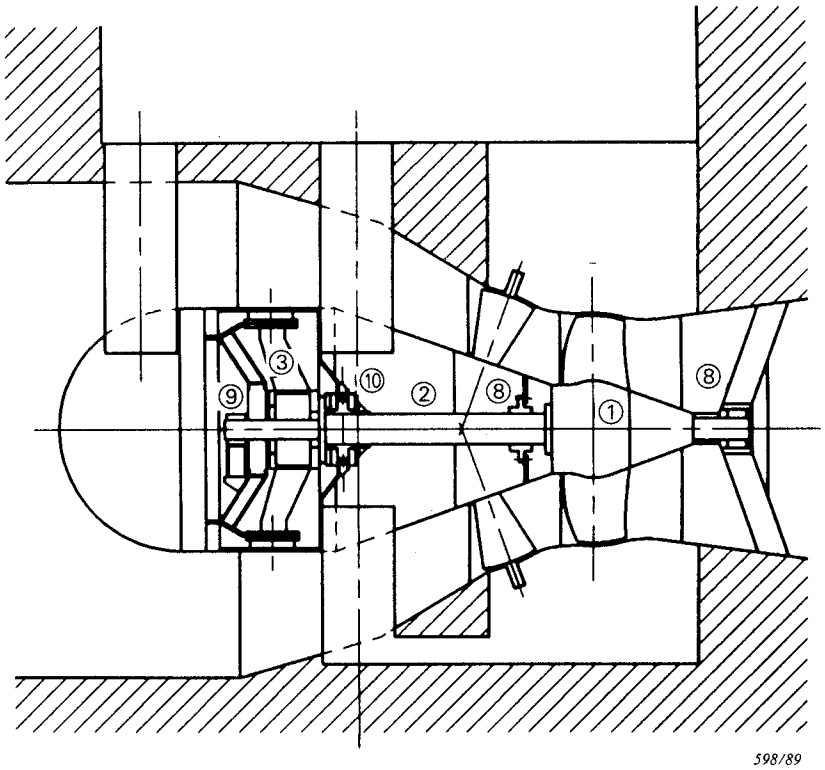

FIG. 3*i*. — Exemple de machine bulbe comportant un palier-guide supplémentaire positionné sur le croisillon de sortie.

(Pour la liste des numéros de référence, voir description générale de la figure 3)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: IEC 60994-1991 scan

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

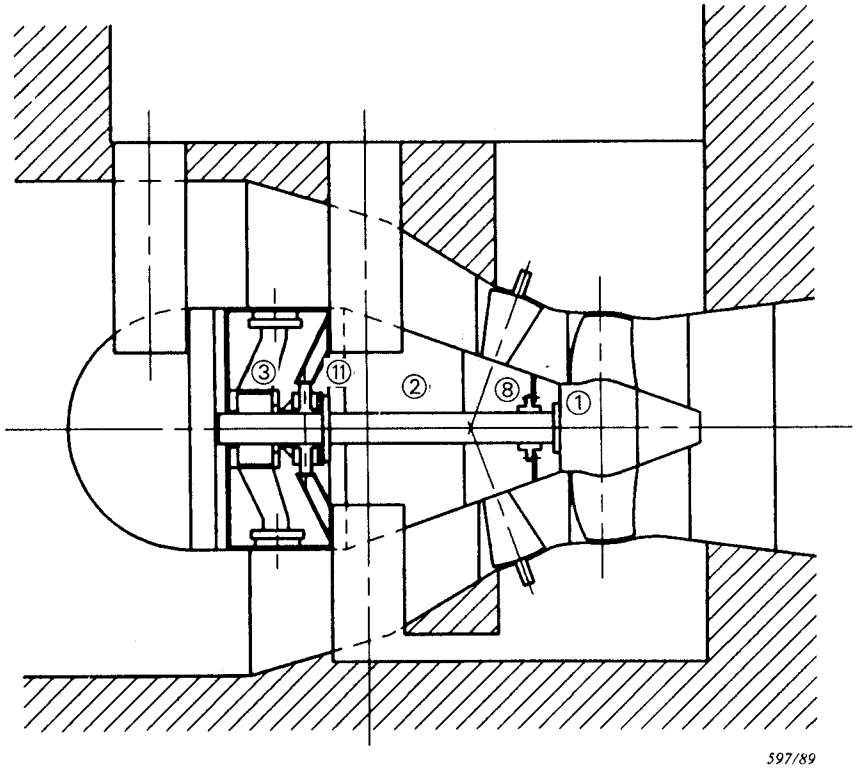

FIG. 3*h*. — Example of a bulb machine with a cantilever arrangement of the runner and generator.

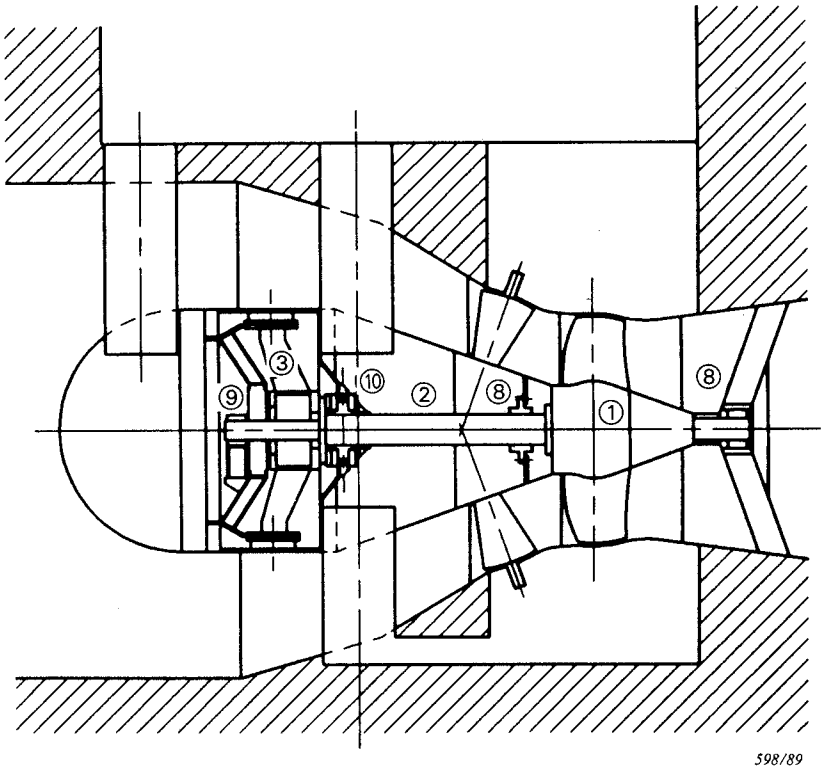

FIG. 3*i*. — Example of a bulb machine with an additional radial bearing located on the outlet stayring.

(List of reference numbers: see general description of Figure 3)

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: IEC 60994-1991 scan