

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

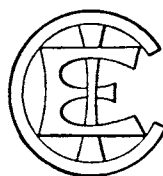
Publication 396

Première édition — First edition

1972

Méthodes d'essai des fours à induction à canal submergé

Test methods for induction furnaces with submerged channels



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60396:1972

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 396

Première édition — First edition

1972

Méthodes d'essai des fours à induction à canal submergé

Test methods for induction furnaces with submerged channels



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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Définitions	6

SECTION DEUX — ESSAIS TECHNIQUES

4. Genre et conditions générales des essais	12
---	----

SECTION TROIS — DESCRIPTION DES ESSAIS TECHNIQUES

5. Méthodes d'essais et de mesures techniques.	14
--	----

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

SECTION ONE — GENERAL

Clause

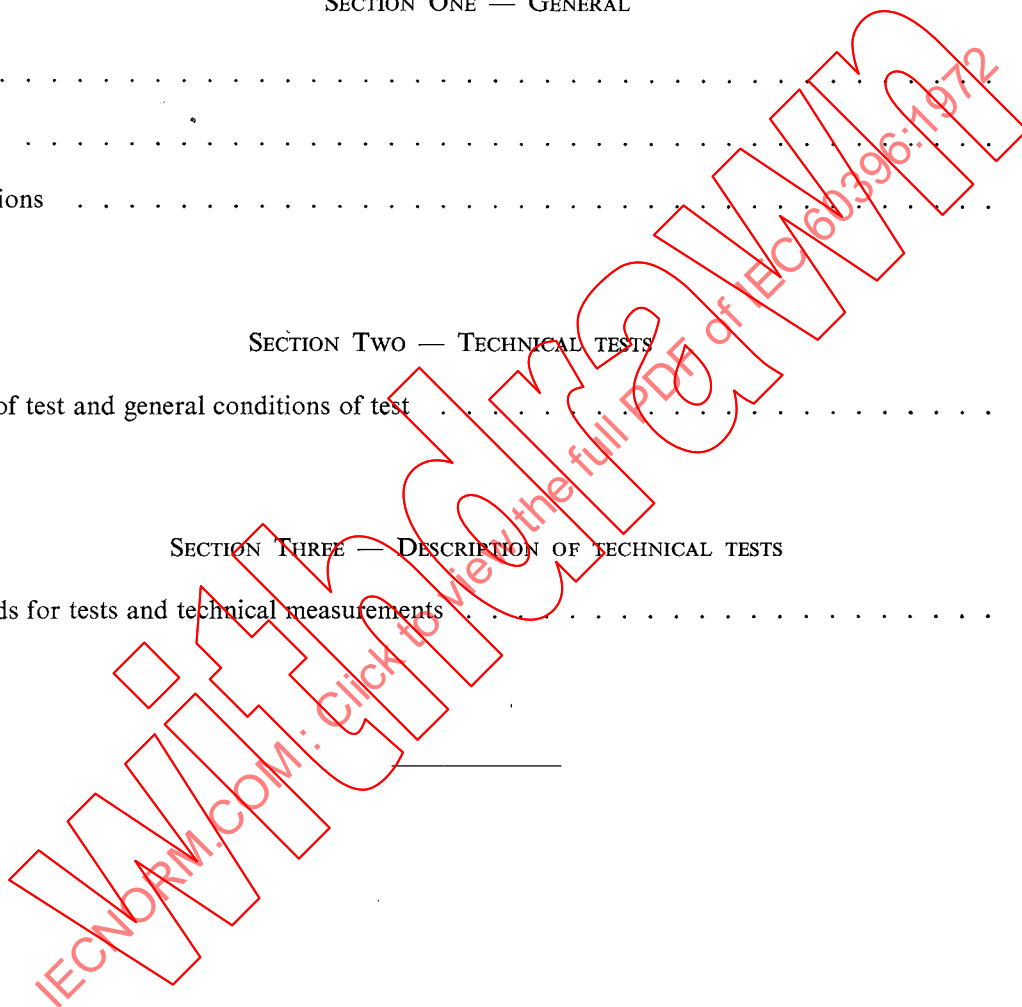
1. Scope	7
2. Object	7
3. Definitions	7

SECTION TWO — TECHNICAL TESTS

4. Types of test and general conditions of test	13
---	----

SECTION THREE — DESCRIPTION OF TECHNICAL TESTS

5. Methods for tests and technical measurements	15
---	----



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS A INDUCTION A CANAL
SUBMERGÉ**

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 cette unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 27 de la CEI: Chauffage électrique industriel.

Un premier projet fut discuté lors des réunions tenues à Milan en 1965, à Bruxelles en 1967 et à Téhéran en 1969. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1970.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud
Allemagne
Australie
Belgique
Danemark
France
Hongrie
Israël
Italie

Japon
Norvège
Pays-Bas
Pologne
Royaume-Uni
Suède
Tchécoslovaquie
Turquie
Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TEST METHODS FOR INDUCTION FURNACES WITH SUBMERGED CHANNELS

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 27, Industrial Electro-heating Equipment.

A first draft was discussed at the meetings held in Milan in 1965, in Brussels in 1967 and in Tehran in 1969. As a result of this latter meeting, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1970.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Belgium	Netherlands
Czechoslovakia	Norway
Denmark	Poland
France	South Africa
Germany	Sweden
Hungary	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Italy	United Kingdom

MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS A INDUCTION A CANAL SUBMERGÉ

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente recommandation s'applique aux installations d'électrothermie comportant des fours industriels à induction à canal submergé, alimentés à fréquence de réseau, pour la fusion des métaux et leur maintien à l'état de fusion.

2. Objet

L'objet de la présente recommandation est la normalisation des méthodes d'essais permettant de déterminer les paramètres essentiels et les caractéristiques techniques des installations électrothermiques comportant les fours indiqués ci-dessus.

La liste des essais recommandés dans la présente publication n'est pas obligatoire; elle n'est pas non plus limitative. On peut choisir, selon les besoins, dans la liste des essais proposée, ceux d'entre eux nécessaires à la détermination et à l'évaluation d'un four. Au besoin, des essais complémentaires peuvent être effectués, mais de préférence en accord avec les normes en vigueur dans le pays intéressé.

3. Définitions

Les définitions suivantes se rapportent à la présente recommandation.

Pour les définitions des termes fondamentaux et généraux du domaine de l'électrothermie, le lecteur est invité à se reporter au Groupe 05: Définitions fondamentales, et au Groupe 40: Applications électrothermiques, de la publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI).

3.1 *Installation électrothermique de four à induction à canal submergé*

Ensemble du dispositif électrothermique et du matériel électrique et mécanique nécessaire au fonctionnement et à l'utilisation d'un four à induction à canal submergé.

Le matériel électrique comprend notamment la canalisation et les appareillages des circuits de puissance, de commande et de régulation, le ou les transformateurs, lorsque le dispositif est alimenté par un ou plusieurs transformateurs particuliers.

3.2 *Puissance de l'installation électrothermique* (apparente P_{if} en kVA ou active P_{ia} en kW)

Puissance électrique mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation, la tension étant réglée à sa valeur nominale.

3.3 *Facteur de puissance de l'installation électrothermique* ($\cos \varphi$)

Rapport de la puissance active à la puissance apparente mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation.

3.4 *Puissance de maintien du pied de bain de l'installation électrothermique* P_b (kW)

Puissance active absorbée par l'installation pour maintenir en température le pied de bain à la température nominale.

TEST METHODS FOR INDUCTION FURNACES WITH SUBMERGED CHANNELS

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This Recommendation applies to electro-heating installations comprising industrial induction furnaces with submerged channels for the melting of metals and keeping them molten, operating at mains frequency.

2. Object

The object of this Recommendation is to standardize test methods to enable the determination of the essential parameters and technical characteristics of electro-heating installations comprising the furnaces indicated above.

The Recommendation does not contain a mandatory list of tests, and is not restrictive. Tests may be selected from the proposed list of tests as required for the characterization and evaluation of a furnace. If necessary, additional tests may be carried out, preferably in accordance with the standards in use in the country concerned.

3. Definitions

The following definitions apply for the purpose of this Recommendation.

For definitions of fundamental and general terms in the field of electro-heating, the reader should refer to Group 05: Fundamental definitions, and Group 40: Electroheating applications, of IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV).

3.1 *Electro-heating installation with induction furnace with submerged channel*

Complete assembly of an electro-heating device and the electrical and mechanical equipment necessary for the operation and utilization of an induction furnace with submerged channel.

The electrical equipment comprises, in particular, the conduits and switchgear in the power, control, and regulating circuits, and the transformer(s), when the device is supplied by its own transformer(s).

3.2 *Power of an electro-heating installation* (apparent power P_{if} in kVA or active power P_{ia} in kW)

The electric power measured at the input of the supply line, the voltage being set at its rated value.

3.3 *Power-factor of an electro-heating installation* ($\cos \varphi$)

The ratio of the active power to the apparent power, measured at the input of the supply line.

3.4 *Holding power of the minimum charge of an electro-heating installation* P_b (kW)

Active power consumed by the installation, in order to maintain the minimum charge at the rated temperature.

3.5 *Puissance de maintien de l'installation électrothermique P_{ani} (kW)*

Puissance active absorbée par l'installation pour maintenir en température le pied de bain à la température nominale.

3.6 *Consommation spécifique d'énergie e (kWh/kg)*

Rapport, au poids de la charge utile (kg), de la quantité totale d'énergie électrique (kWh) consommée par l'installation électrothermique pour le chauffage, la fusion, éventuellement la surchauffe de la charge et toutes les pertes énergétiques.

3.7 *Débit du four de l'installation électrothermique g (kg/h)*

Rapport du poids de la charge utile (kg) à température finale, au temps total (h) de chauffage, fusion et éventuellement surchauffe.

3.8 *Valeurs nominales de l'installation électrothermique*

Les valeurs nominales de l'installation sont celles pour lesquelles l'installation est construite:

- puissance nominale de l'installation électrothermique, P_n ,
- tension nominale de l'installation électrothermique, U_n .

3.9 *Four à induction à canal submergé*

Four de fusion ou four de maintien à circuit magnétique fermé, dans lequel la charge, chauffée par des courants induits, est disposée dans un ou quelques canaux (verticaux, inclinés ou horizontaux) surmontés d'une chambre contenant le métal.

3.10 *Noyau magnétique d'un four à induction*

Noyau fermé en tôle de transformateur constituant une voie à basse réluctance magnétique au flux magnétique.

Le four peut comporter un ou plusieurs noyaux.

3.11 *Canal d'un four à induction*

Canal en matière réfractaire ou autre entourant le noyau magnétique. Le four peut comporter un ou plusieurs canaux.

3.12 *Inducteur d'un four à induction*

Bobine sur noyau magnétique destinée à être raccordée à une source d'alimentation à courant alternatif et destinée à créer un flux magnétique alternatif dans ce noyau. Le four peut comporter un ou plusieurs inducteurs.

3.13 *Unité d'induction*

Combinaison constructive du noyau magnétique du canal (constitué par les réfractaires), de l'inducteur et de l'enceinte métallique avec ou sans isolation thermique. Le four peut avoir une ou plusieurs unités d'induction.

Les unités d'induction sont en général interchangeables.

3.14 *Circuit de chauffage d'un four à induction*

Circuit électrique fermé, formé par la charge métallique disposée dans le canal et dans la chambre du four.

3.15 *Chambre du four à induction*

Chambre en matière réfractaire dans laquelle se trouve la charge.

3.16 *Capacité utile du four V_u (m³)*

Volume de la charge liquide qui peut être prélevée du four sans risque de rupture du circuit de chauffage, le four étant dans les limites normales de basculement.

3.5 *Holding power of an electro-heating installation* P_{ani} (kW)

Active power consumed by the installation, in order to maintain the total charge at the rated temperature.

3.6 *Specific energy consumption* e (kWh/kg)

Ratio of the total amount of electric energy (kWh) consumed by an electro-heating installation for heating, melting and possibly overheating the charge, plus all energy losses, to the weight of the useful charge (kg).

3.7 *Output of the furnace of an electro-heating installation* g (kg/h)

Ratio of weight of useful charge (kg) at its final temperature to the total time (h) for heating, melting and possibly overheating.

3.8 *Rated values of an electro-heating installation*

The rated values of an installation are those for which it is designed:

- rated power of an electro-heating installation, P_n ,
- rated voltage of an electro-heating installation, U_n .

3.9 *Induction furnace with submerged channel*

Melting or holding furnace, with closed magnetic circuit, in which the charge, heated by induced currents, is arranged in one or several channels (vertical, inclined or horizontal) surmounted by a chamber containing the metal.

3.10 *Magnetic core of an induction furnace*

Closed core of transformer laminations, creating a low-reluctance path for the magnetic flux.

A furnace may have one or several cores.

3.11 *Channel of an induction furnace*

Channel made of refractory or other material providing a closed loop around the magnetic core. The furnace may have one or more channels.

3.12 *Inductor of an induction furnace*

Coil on magnetic core intended to be connected to a source of a.c. supply and generate an alternating magnetic flux in this core. The furnace may comprise one or more inductors.

3.13 *Induction unit*

Constructional assembly of the magnetic core of the channel (made of refractories), the inductor, and of the metal casing with or without thermal insulation. The furnace may have one or more induction units.

Induction units are usually exchangeable.

3.14 *Heating circuit of induction furnace*

Closed electrical circuit formed by the charge of metal situated in the channel and in the crucible of the furnace.

3.15 *Crucible of an induction furnace*

Crucible of refractory material in which the charge is placed.

3.16 *Useful capacity of furnace* V_u (m³)

Volume of the molten charge which can be withdrawn from the furnace without risk of breaking the heating circuit, the furnace being within the normal tilting limits.

- 3.17 *Charge utile* G (kg)
Poids du métal liquide correspondant à la capacité utile du four.
- 3.18 *Capacité du pied de bain* V_b (m³)
Volume minimal de la charge liquide dans le four assurant la continuité du circuit de chauffage, le four étant dans les limites normales de basculement et dans la position normale.
- 3.19 *Charge du pied de bain* G_b (kg)
Poids de la charge correspondant à la capacité du pied de bain.
- 3.20 *Capacité totale du four* V_t (m³)
Somme de la capacité utile et de la capacité du pied de bain.
- 3.21 *Charge totale du four* G_t (kg)
Somme de la charge utile et de la charge du pied de bain.
- 3.22 *Tension du four à induction* U (V)
Tension aux bornes de l'inducteur du four.
- 3.23 *Courant du four* I (A)
Courant absorbé par l'inducteur ou par le système des inducteurs du four à la tension nominale.
- 3.24 *Courant du four à vide* I_0 (A)
Courant du four sans charge à la tension nominale.
- 3.25 *Température de la charge* θ (°C)
Température du volume de la charge utile.
- 3.26 *Température finale de la charge* θ_{feh} (°C)
Température que la charge doit avoir immédiatement avant la coulée.
- 3.27 *Température de sortie du fluide de refroidissement (air, eau)* θ_t (°C)
Température du fluide de refroidissement à la sortie du four en marche dans les conditions nominales.
- 3.28 *Température ambiante* θ_a (°C)
Température de l'air à l'extérieur du four en un point où la radiation de chaleur ou la convection naturelle n'exercent aucune influence.
- 3.29 *Température ambiante de référence* θ_r (°C)
Température ambiante à laquelle sont rapportées toutes les données caractéristiques du four se référant à cette température. La température de référence est fixée à 20 °C.
- 3.30 *Service du four dans les conditions nominales* (service nominal du four)
Fonctionnement aux valeurs nominales (tension, fréquence et capacité nominale).
- 3.31 *Etat chaud du four*
Etat du four pour lequel la charge a atteint la température finale en régime thermique permanent du four.
- 3.32 *Régime thermique permanent du four*
Régime thermique dans lequel toute l'énergie fournie au four sert à compenser les pertes calorifiques.

- 3.17 *Useful charge* G (kg)
Weight of molten metal corresponding to the useful capacity of the furnace.
- 3.18 *Capacity of minimum charge* V_b (m³)
Minimum volume of molten metal in the furnace required to ensure continuity of the heating circuit, the furnace being in normal tilting limits and in normal position.
- 3.19 *Minimum charge* G_b (kg)
The weight corresponding to the capacity of minimum charge.
- 3.20 *Total capacity of a furnace* V_t (m³)
Sum of useful capacity and the capacity of minimum charge.
- 3.21 *Total charge of a furnace* G_t (kg)
Sum of the useful charge and the minimum charge.
- 3.22 *Voltage of an induction furnace* U (V)
Voltage across the terminals of the furnace inductor.
- 3.23 *Furnace current* I (A)
Current consumed by the inductor or the system of inductors of a furnace at rated voltage.
- 3.24 *No-load furnace current* I_o (A)
Furnace current without charge at rated voltage.
- 3.25 *Charge temperature* θ (°C)
The temperature of the useful charge volume.
- 3.26 *Final charge temperature* θ_{reh} (°C)
The temperature which the charge should reach directly before tapping.
- 3.27 *Outlet temperature of coolant (air, water)* θ_r (°C)
Temperature of coolant when leaving the furnace operating under rated conditions.
- 3.28 *Ambient temperature* θ_a (°C)
Air temperature outside furnace at a point where heat radiation or natural convection exert no influence.
- 3.29 *Reference ambient temperature* θ_r (°C)
Ambient temperature to which all characteristic data of a furnace are referred. The reference temperature is fixed at 20 °C.
- 3.30 *Furnace duty in rated conditions* (rated furnace duty)
Operation at the rated values (voltage, frequency and rated capacity).
- 3.31 *Hot state of furnace*
State of a furnace after the charge attains the final temperature in the thermal steady-state of the furnace.
- 3.32 *Thermal steady-state of a furnace*
Thermal state in which the whole energy input into the furnace is used for the compensation of thermal losses.

3.33 *Etat froid du four*

Régime thermique du four dans lequel la température de l'ensemble des éléments de construction du four est égale à la température ambiante.

3.34 *Service continu du four*

Fonctionnement pendant lequel la charge fondue à température finale est continuellement complétée au fur et à mesure qu'elle est soutirée.

3.35 *Service intermittent du four*

Service pendant lequel la nouvelle charge n'est mise dans le four qu'après la coulée de la charge utile précédente.

3.36 *Puissance du four (apparente P_f en kVA ou active P_a en kW)*

Puissance électrique (apparente ou active) absorbée par le four chargé, mesurée aux bornes de l'inducteur.

3.37 *Facteur de puissance du four, $\cos \varphi$*

Rapport de la puissance active à la puissance apparente du four.

3.38 *Puissance du four à vide P_o (kW)*

Puissance active absorbée par le four non chargé, mesurée aux bornes de l'inducteur.

3.39 *Valeurs nominales du four*

Valeurs pour lesquelles le four est construit: capacité utile nominale du four G_{bu} , capacité totale nominale du four G_{tu} , tension nominale du four à induction U_n , puissance nominale du four, P_n .

3.40 *Fréquence nominale f_u (Hz)*

Fréquence d'alimentation pour laquelle une installation électrothermique est construite et désignée.

3.41 *Tension nominale U_n (V)*

Tension qui figure dans la désignation de cette machine ou de cet appareil et d'après laquelle sont déterminées les conditions d'essais et les limites de tension de travail de cette machine ou de cet appareil.

SECTION DEUX — ESSAIS TECHNIQUES

4. **Genre et conditions générales des essais**

4.1 *Liste des essais techniques*

Pour l'estimation d'une installation électrothermique comportant un four, les essais suivants, à effectuer dans l'ordre indiqué, sont recommandés :

- a) Mesurage de la puissance et du facteur de puissance de l'installation électrothermique;
- b) Détermination de la puissance de maintien de l'installation électrothermique;
- c) Détermination de la consommation spécifique d'énergie et du débit de l'installation électrothermique;
- d) Mesurage des paramètres électriques de l'inducteur du four;
- e) Essai de tenue diélectrique de l'inducteur;
- f) Détermination de l'échauffement des inducteurs refroidis par air;
- g) Mesurage de l'échauffement du fluide de refroidissement;

3.33 *Cold state of furnace*

Thermal state in which the temperature of the furnace constructional elements is equal to the ambient temperature.

3.34 *Continuous operation of a furnace*

Operation during which the molten charge at final temperature is continually withdrawn, and charge is continually added.

3.35 *Intermittent duty of a furnace*

Duty during which the new charge is only fed in after the tapping of the preceding useful charge.

3.36 *Furnace power* (apparent P_f kVA or active P_a kW)

Electric power input (apparent or active) of the charged furnace measured at the inductor terminals.

3.37 *Furnace power-factor*, $\cos \varphi$

Ratio of the active power to the apparent power of a furnace.

3.38 *No-load power of furnace* P_o (kW)

Active power input of furnace without charge, measured at the inductor terminals.

3.39 *Rated values of a furnace*

The rated values of a furnace are those for which the furnace is designed : rated useful furnace capacity G_{bu} , rated total furnace capacity G_{tu} , rated induction furnace voltage U_n , rated furnace power, P_n .

3.40 *Rated frequency* f_n (Hz)

The frequency for which an electrothermal appliance is built and marked.

3.41 *Rated voltage* U_n (V)

The voltage used in the specification of a machine or apparatus, and from which the test conditions and the voltage limits for the use of the machine or apparatus are determined.

SECTION TWO — TECHNICAL TESTS

4. **Types of test and general conditions of test**

4.1 *List of technical tests*

For the assessment of an electro-heating installation containing a furnace, the following tests, to be performed in the order given, are recommended:

- a) Measurement of power and of power factor of the electro-heating installation;
- b) Determination of holding power of the electro-heating installation;
- c) Determination of specific energy consumption and output of the electro-heating installation;
- d) Measurement of electrical parameters of inductor of furnace;
- e) Electrical withstand test of inductor;
- f) Determination of temperature rise of air cooled inductors;
- g) Measurement of temperature rise of the coolant;

- h) Mesurage de la température des parties constructives du four;
- i) Mesurage de la température de la charge;
- j) Essai à la pression des inducteurs refroidis par eau.

4.2 Conditions générales de l'exécution des essais techniques

Voir la Publication 398 de la CEI: Conditions générales des essais des installations électrothermiques. Les essais doivent être effectués en charge. Le type et la grandeur de la charge ainsi que le processus technologique de la fusion des métaux et leur maintien à l'état de fusion doivent être fixés en accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Note. — Lorsque le four a une régulation mécanique ou électrique, des méthodes d'essai appropriées peuvent être fixées en accord avec l'utilisateur et le constructeur.

SECTION TROIS — DESCRIPTION DES ESSAIS TECHNIQUES

5. Méthodes d'essais et de mesures techniques

5.1 Mesurage de la puissance et du facteur de puissance de l'installation électrothermique

Cet essai comprend la mesure des grandeurs définies aux paragraphes 3.2 et 3.3 à l'entrée de la ligne d'alimentation.

La mesure de la puissance active est faite au moyen d'un wattmètre (enregistreur). La détermination de la puissance apparente peut être effectuée à partir des mesures du courant et de la tension. Les mesures sont exécutées dans les conditions qui sont fixées au paragraphe 5.4 pour la mesure des paramètres de l'inducteur. Le facteur de puissance (paragraphe 3.37) peut être calculé en faisant le rapport de la puissance active à la puissance apparente.

5.2 Détermination de la puissance de maintien de l'installation électrothermique

5.2.1 Pied de bain seul

Cet essai doit être effectué en état chaud du four (paragraphe 3.31). Le four contenant la charge du pied doit avoir fonctionné pendant au moins 24 heures avant les essais et, dans le cas où il démarre avec un garnissage neuf, il devra avoir fonctionné durant au moins trois jours avant les essais. Le four doit, au cours de ce fonctionnement préalable, travailler à sa température nominale. Ensuite la charge utile doit être soutirée en laissant dans le four la charge du pied de bain seul, puis les essais commenceront. Pendant toute la durée des essais, la température finale de la charge doit être maintenue en permanence (par exemple en enclenchant et en déclenchant la tension de maintien ou en utilisant alternativement deux plots contigus du transformateur de régulation). Outre la température de la charge, on doit mesurer l'énergie consommée par le four ainsi que le temps. L'énergie doit être mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation avec un compteur d'énergie électrique. On calcule la puissance de maintien qui est égale au quotient de l'énergie par le temps.

5.2.2 Charge totale

Cet essai sera effectué dans les mêmes conditions que l'essai précédent, paragraphe 5.2.1, mais avec la charge totale du four (paragraphe 3.21).

5.3 Détermination de la consommation spécifique d'énergie et du débit de l'installation électrothermique

5.3.1 Service intermittent

- a) Pour les fours de fusion, la mesure ne peut être commencée qu'après que le four a fonctionné pendant au moins 24 heures. Le four avec le pied de bain minimal à température finale (paragraphe 3.26), et alimenté à sa tension nominale (paragraphe 3.39) et fréquence nominale, doit d'abord être chargé progressivement avec une charge de forme et de constitution chimique

- h) Measurement of temperature of the furnace constructional elements;
- i) Measurement of temperature of charge;
- j) Pressure test of water cooled inductors.

4.2 *General conditions for performing technical tests*

See IEC Publication 398: General test conditions for electro-heating appliances. The tests are to be realized with a charge. The kind and size of the charge as well as the technological procedure for the melting of metals and keeping them molten have to be agreed upon between manufacturer and user.

Note. — When the furnace has a mechanical or an electric regulation, appropriate test methods should be fixed in agreement between user and manufacturer.

SECTION THREE — DESCRIPTION OF TECHNICAL TESTS

5. **Methods for tests and technical measurements**

5.1 *Measurements of power and power-factor of an electro-heating installation*

This test comprises measurement of the quantities defined in Sub-clauses 3.2 and 3.3 at the input of the installation.

The measurement of the active power is made by means of a (recording) wattmeter. The apparent power can be determined from the measurement of the current and the voltage. The measurements shall be carried out in the conditions specified by Sub-clause 5.4 for the measurement of the parameters of the inductor. The power-factor (Sub-clause 3.37) can be calculated as ratio of the active power and the apparent power.

5.2 *Determination of holding power of an electro-heating installation*

5.2.1 *Minimum charge alone*

This test shall be performed with the furnace in the hot state (Sub-clause 3.31). The furnace, containing the minimum charge, shall have been in operation for at least 24 h prior to the test, and in the case when it starts with a new lining, it shall have been in operation at least three days prior to the test. During this preliminary service, the rated temperature shall be maintained. Then, the useful charge shall be tapped, leaving the minimum charge alone, and testing shall be started. During the entire duration of the test period, the final temperature of the charge shall be maintained constant (for example, by switching on and off the supply voltage or by using alternatively two adjacent taps of the regulating transformer). Apart from the temperature of the charge, the energy consumption of the furnace and the time are measured. The energy shall be measured at the input with an electric energy meter. The holding power is calculated by dividing the energy by the time.

5.2.2 *Total charge*

This test shall be performed under the same conditions as the preceding one, Sub-clause 5.2.1, but with the total charge in the furnace (Sub-clause 3.21).

5.3 *Determination of specific energy consumption and output of an electro-heating installation*

5.3.1 *Intermittent duty*

- a) For melting furnaces, the measurement is started after the furnace has been in service for at least 24 h. The furnace with minimum charge at final temperature (Sub-clause 3.26) and supplied with a voltage of rated value (Sub-clause 3.39) and rated frequency, shall be gradually loaded with a charge of defined form and chemical composition until the rated useful charge is reached.

définies jusqu'à atteindre la charge utile nominale. Pendant la marche du four, l'énergie électrique consommée par le four doit être mesurée à l'arrivée de la ligne d'alimentation au moyen d'un compteur d'énergie électrique. Il convient également de mesurer le temps pendant lequel le four est sous tension (c'est-à-dire le temps de chauffage de la charge) et la température de la charge (au commencement de la mesure et avant chaque soutirage).

Les périodes pendant lesquelles le four est mis hors circuit doivent être enregistrées mais ne peuvent pas être prises en considération pour le calcul du débit du four (paragraphe 3.7) et la consommation d'énergie. La mesure de la température au commencement de l'essai a pour but de déterminer le moment où le pied de bain atteint la température nominale; les mesures qui précèdent le soutirage ont pour but de prévenir un échauffement excessif de la charge qui doit être soutirée directement après que la température finale a été atteinte.

La fusion et la surchauffe terminées, on doit soutirer la charge utile et effectuer, de la même manière, encore 3 coulées successives au moins.

La consommation spécifique d'énergie est déterminée en faisant le quotient de l'énergie électrique consommée pendant le cycle de mesure décrit, par le poids de la charge soutirée du four, pendant ce temps.

Le débit du four est le quotient du poids de la charge soutirée du four, pendant le cycle de mesures décrit, par la durée de ce cycle de mesures.

- b) Pour les fours de maintien et de surchauffe, la consommation de l'énergie spécifique et le débit du four sont contrôlés de la manière indiquée ci-dessus. Dans ce cas, la détermination de la consommation spécifique d'énergie et du débit du four se fait en mesurant la consommation d'énergie, la durée de maintien ou de surchauffe et le poids de la charge à maintenir ou à surchauffer.

De même que pour le paragraphe a), on effectuera au moins trois coulées.

5.3.2 Service continu

- a) Pour les fours de fusion, la mesure ne peut être commencée qu'après que le four a fonctionné pendant au moins 24 heures, au moment où le four contient la quantité nominale de la charge à la température finale (paragraphe 3.26).

Le four doit être alimenté à la tension nominale (paragraphe 3.41) et à la fréquence nominale (paragraphe 3.40), et le service du four est conduit en soutirant continuellement la charge à la température finale et en ajoutant continuellement la charge de constitution physique et chimique définie. Pendant le service du four, l'énergie électrique consommée par le four doit être mesurée à l'arrivée de la ligne d'alimentation au moyen d'un compteur d'énergie électrique. Il convient également de mesurer le temps pendant lequel le four est sous tension (c'est-à-dire le temps de chauffage de la charge) et la température de la charge (au commencement de la mesure et pendant la fusion, au moins toutes les 20 minutes).

La mesure de la température au commencement de l'essai a pour but de déterminer le moment où la charge atteint la température nominale et les mesures suivantes ont pour but de prévenir un échauffement excessif de la charge qui doit être soutirée directement après que la température finale a été atteinte.

Les mesures précitées doivent être poursuivies pendant un temps suffisant pour obtenir la fusion d'une quantité égale au moins à 3 fois la charge utile nominale, et, lorsqu'elles se terminent, le four doit avoir une charge de même capacité et la même température qu'au début des essais. La consommation spécifique d'énergie est calculée comme le quotient de l'énergie électrique consommée, pendant le cycle de mesures décrit, par le poids de la charge soutirée du four, pendant ce temps.

Le débit du four est le quotient du poids de la charge soutirée du four, pendant le cycle de mesure décrit, par le temps total de durée de ce cycle.

- b) Pour les fours de maintien et de surchauffe, le paragraphe 5.3.1 b) est applicable.

During the service of the furnace, the electric energy consumed by the furnace shall be measured by means of an electric energy meter, connected to the input of the supply line. Also, the time during which the furnace is switched on (i.e. the time of heating of the charge) and occasionally the charge temperature (at the beginning of the measurement and before each tapping of the charge) shall be measured.

Intervals when the furnace is switched off shall be recorded, but cannot be taken into account for the calculation of the furnace output (Sub-clause 3.7) and the energy consumption. The measurement of the temperature at the beginning of test serves to determine the time when the sump metal reaches the rated temperature, and the measurements of temperature preceding the tapping are intended to prevent excessive overheating of the charge which should be tapped directly after reaching the final temperature.

The melting and overheating being completed, the useful charge shall be tapped, and, at least three more identical successive melts shall be carried out.

The specific energy consumption is calculated by dividing the energy consumed during the described cycle of measurements by the weight of the charge furnished by the furnace during this time.

The output of the furnace is calculated by dividing the weight of the charge furnished by the furnace during the described cycle of measurements by the duration of this cycle of measurements.

- b) For furnaces intended for holding and overheating, the specific energy consumption and the output of the furnace are determined in the manner indicated above. The specific energy consumption and the output of the furnace are determined from the measurements of the energy input, the duration of holding or overheating, and the weight of the charge to be held or overheated.

As in a), at least three melts shall be made.

5.3.2 Continuous duty

- a) For melting furnaces, the measurement is started after the furnace has been in service for at least 24 h, at the time when the furnace contains the rated charge quantity at final temperature (Sub-clause 3.26).

The furnace shall be supplied at its rated voltage (Sub-clause 3.41) and at rated frequency (Sub-clause 3.40), and operated by continuously withdrawing from the furnace the molten charge at final temperature, and continuously adding a charge of defined physical and chemical composition. During the service of the furnace, the electric energy consumption shall be measured by means of an electric energy meter, connected to the input of the supply line. Also, the time during which the furnace is switched on (i.e., the time of heating the charge) and the temperature of the charge (at the beginning of the measurement and during melting at least every 20 minutes) shall be measured.

The measurement of the temperature at the beginning of the test serves to determine the time when the charge reaches the rated temperature, and the later measurements are to prevent excessive overheating of the charge, which should be withdrawn directly after reaching the final temperature.

The measurements cited above shall be continued for a time sufficient for melting a quantity equal to at least three times the rated useful charge, and terminated with the same charge quantity in the furnace and the same charge temperature as when they began.

The specific energy consumption is calculated by dividing the electric energy consumed during the described measuring cycle by the weight of charge furnished by the furnace during this time.

The output of the furnace is calculated by dividing the weight of the charge furnished by the furnace during the described measuring cycle by the total time of duration of this cycle.

- b) For holding and overheating furnaces, Sub-clause 5.3.1 b) is applicable.

5.4 *Mesurage des paramètres électriques de l'inducteur du four*

Cet essai comprend les mesures: de la tension du four (paragraphe 3.22), des courants des inducteurs du four en charge (paragraphe 3.23) et à vide (paragraphe 3.24), de la puissance active du four en charge (paragraphe 3.36) et à vide (paragraphe 3.38) et du facteur de puissance du four (paragraphe 3.37).

Les mesures doivent être effectuées en régime chaud du four (paragraphe 3.31) et en régime nominal (paragraphe 3.30). S'il y a plusieurs inducteurs, la puissance absorbée doit être mesurée sur les 3 phases.

5.5 *Essai de tenue diélectrique de l'inducteur*

L'essai doit être effectué à une tension pratiquement sinusoïdale à la fréquence nominale du four. La tension d'essai doit être appliquée progressivement pendant 10 secondes et maintenue pendant une minute entre les éléments qui se trouvent sous tension pendant le fonctionnement du four; tous les éléments métalliques accessibles au toucher doivent être raccordés les uns aux autres et mis à la terre.

L'essai de la tenue diélectrique des fours refroidis à l'air est effectué avant confection du garnissage réfractaire à la tension $2U_N + 1\,000\text{ V}$ (où U_N est la tension nominale).

Un second essai sera effectué sur four en état chaud. La valeur de la tension d'essai sera égale à 80% de la valeur précédente.

L'essai de la tenue diélectrique des fours refroidis par eau sera effectué avant confection du garnissage, seulement en régime froid, avec la conduite d'eau désaccouplée, de façon que les éléments mis sous tension pendant le service ne soient pas reliés électriquement à la carcasse métallique du four par l'intermédiaire de l'eau.

5.6 *Détermination de l'échauffement des inducteurs refroidis par air*

L'échauffement des inducteurs refroidis par air est déterminé au moyen de la mesure de l'accroissement de la résistance électrique des enroulements des inducteurs, effectuée par exemple à l'aide d'un pont Thomson, immédiatement après coupure du courant. L'échauffement $\Delta\theta$ des inducteurs en cuivre au-dessus de la température de l'air de refroidissement à l'entrée est calculé à partir de la formule:

$$\Delta\theta = \frac{R_c - R_f}{R_f} (235 + \theta_f) - (\theta_r - \theta_f)$$

où: θ_f = température de l'inducteur en état froid du four

R_f = résistance de l'inducteur en état froid du four

R_c = résistance de l'inducteur en état chaud (après l'essai du paragraphe 5.3)

θ_r = température de l'air de refroidissement.

La mesure de θ_r pour l'air de refroidissement doit être effectuée dans les mêmes conditions et de la même manière que la mesure du paragraphe 5.7, mais à l'entrée de l'air de refroidissement du four.

La différence de la température $\Delta\theta$ ne devra pas dépasser la valeur maximale correspondant à la classe d'isolement prévue pour les transformateurs à refroidissement par air. Pour les inducteurs à refroidissement par eau, l'essai sera effectué en charge selon le paragraphe 5.7.

5.7 *Mesurage de l'échauffement du fluide de refroidissement*

Cet essai doit être effectué en état chaud du four (paragraphe 3.31) travaillant dans les conditions nominales (paragraphe 3.39) à la fin de l'essai d'après le paragraphe 5.3. La température doit être mesurée au moyen d'au moins trois thermomètres placés à l'entrée et à la sortie du fluide de refroidissement du four, en lisant leurs indications toutes les cinq minutes pendant une période d'au moins 30 minutes. La différence des valeurs moyennes des lectures des températures d'entrée et de sortie donnera la valeur de la température d'échauffement.