

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

60422

Troisième édition
Third edition
2005-10

**Huiles minérales isolantes
dans les matériels électriques –
Lignes directrices pour la maintenance
et la surveillance**

**Mineral insulating oils in electrical equipment –
Supervision and maintenance guidance**

© IEC 2005 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, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	12
2 Références normatives.....	12
3 Termes et définitions	14
4 Remarques générales	16
4.1 Avertissement général.....	16
4.2 Environnement	16
5 Propriétés et détérioration/dégradation de l'huile.....	18
6 Essais des huiles et leur signification	18
6.1 Généralités.....	18
6.2 Couleur et aspect	20
6.3 Tension de claquage	20
6.4 Teneur en eau.....	22
6.5 Acidité.....	28
6.6 Facteur de dissipation diélectrique (FDD) et résistivité.....	28
6.7 Teneur en inhibiteur et stabilité à l'oxydation.....	34
6.8 Dépôts et sédiments.....	36
6.9 Tension interfaciale (TIF)	36
6.10 Nombre de particules	36
6.11 Point d'éclair	38
6.12 Compatibilité des huiles isolantes.....	38
6.13 Point d'écoulement.....	40
6.14 Masse volumique	40
6.15 Viscosité	40
6.16 Polychlorobiphényles (PCBs)	40
6.17 Soufre corrosif.....	40
7 Echantillonnage d'huile provenant d'équipement	42
8 Catégories de matériaux.....	42
9 Evaluation de l'huile minérale isolante dans les matériels à l'état neuf	44
10 Evaluation de l'huile en service	46
10.1 Généralités.....	46
10.2 Fréquence des examens de l'huile en service	46
10.3 Procédures d'essai.....	50
10.4 Classification des états des huiles en service.....	50
10.5 Action corrective	52
11 Traitement et stockage.....	62
12 Traitement.....	64
12.1 Généralités.....	64
12.2 Retraitement	64
12.3 Régénération.....	72
12.4 Décontamination des huiles contenant du polychlorobiphényle (PCB)	74

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 General remarks.....	17
4.1 General caution.....	17
4.2 Environment.....	17
5 Properties and deterioration/degradation of oil	19
6 Oil tests and their significance.....	19
6.1 General.....	19
6.2 Colour and appearance	21
6.3 Breakdown voltage.....	21
6.4 Water content.....	23
6.5 Acidity.....	29
6.6 Dielectric Dissipation Factor (DDF) and resistivity	29
6.7 Inhibitor content and oxidation stability.....	35
6.8 Sediment and sludge.....	37
6.9 Interfacial tension (IFT)	37
6.10 Particle count	37
6.11 Flash-point.....	39
6.12 Compatibility of insulating oils	39
6.13 Pour-point	41
6.14 Density.....	41
6.15 Viscosity.....	41
6.16 Polychlorinated biphenyls (PCBs).....	41
6.17 Corrosive sulphur.....	41
7 Sampling of oil from equipment	43
8 Categories of equipment.....	43
9 Evaluation of mineral insulating oil in new equipment.....	45
10 Evaluation of oil in service.....	47
10.1 General.....	47
10.2 Frequency of examination of oils in service	47
10.3 Testing procedures.....	51
10.4 Classification of the condition of oils in service.....	51
10.5 Corrective action	53
11 Handling and storage	63
12 Treatment.....	65
12.1 General.....	65
12.2 Reconditioning	65
12.3 Reclaiming	73
12.4 Decontamination of oils containing PCB	75

13 Remplacement de l'huile dans le matériel électrique.....	76
13.1 Remplacement de l'huile dans les transformateurs de tension nominale inférieure à 72,5 kV dans l'appareillage de connexion et les matériels associés.....	76
13.2 Remplacement de l'huile dans les transformateurs de tension nominale supérieure ou égale à 72,5 kV.....	76
13.3 Remplacement de l'huile dans le matériel électrique contaminé par du PCB.....	76
Annexe A (informative) Température d'échantillonnage inférieure à 20 °C	78
Annexe B (informative) Particules	80
Annexe C (informative) Méthode d'essai pour la détermination de sédiments et de dépôts	82
Bibliographie.....	84
Figure 1 – Exemple de variation de la teneur en eau de saturation, en fonction de la température et de l'acidité d'huile pour l'huile isolante d'origine, conformément à la CEI 60296	24
Figure 2 – Facteurs de correction typique	28
Figure 3 – Exemple de variation de la résistivité en fonction de la température pour les huiles isolantes	32
Tableau 1 – Essais des huiles minérales isolantes.....	20
Tableau 2 – Catégories de matériels.....	42
Tableau 3 – Limites conseillées pour les huiles minérales isolantes après le remplissage dans les matériels électriques neufs avant la mise sous tension	44
Tableau 4 – Fréquences d'essai ⁽¹⁾ conseillées	48
Tableau 5 – Application et interprétation des essais	54
Tableau 6 – Mesures correctives	62
Tableau 7 – Conditions pour le traitement des huiles isolantes minérales inhibées.....	66
Tableau A.1 – Guide pour interpréter des données exprimées en pourcentage de saturation	78
Tableau B.1 – Exemple de niveaux de contamination [de particules] rencontrées sur l'huile isolante de transformateur de puissance comme mesurées par comptage laser [ISO 4406].....	80

13 Replacement of oil in electrical equipment.....	77
13.1 Replacement of oil in transformers rated below 72,5 kV and in switchgear and associated equipment.....	77
13.2 Replacement of oil in transformers rated 72,5 kV and above	77
13.3 Replacement of oil in electrical equipment contaminated with PCB.....	77
 Annex A (informative) Sampling temperature below 20 °C.....	79
Annex B (informative) Particles.....	81
Annex C (informative) Test method for determination of sediment and sludge.....	83
 Bibliography.....	85
 Figure 1 – Example of the variation in saturation water content with oil temperature and acidity for insulating oil originally conforming to IEC 60296	25
Figure 2 – Typical correction factors	29
Figure 3 – Example of variation of resistivity with temperature for insulating oils.	33
 Table 1 – Tests for mineral insulating oils	21
Table 2 – Categories of equipment	43
Table 3 – Recommended limits for mineral insulating oils after filling in new electrical equipment prior to energization.....	45
Table 4 – Recommended frequency of testing ⁽¹⁾	49
Table 5 – Application and interpretation of tests.....	55
Table 6 – Corrective actions	63
Table 7 – Conditions for processing inhibited mineral insulating oils	67
Table A.1 – Guidelines for interpreting data expressed in percent saturation	79
Table B.1 – Examples of contamination levels (particles) encountered on power transformer insulating oil as measured by laser counting (ISO 4406).....	81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

HUILES MINÉRALES ISOLANTES DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES – LIGNES DIRECTRICES POUR LA MAINTENANCE ET LA SURVEILLANCE

AVANT-PROPOS

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

La Norme Internationale CEI 60422 a été établie par le Comité d'étude 10 de la CEI: Fluides pour applications électrotechniques.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, publiée en 1989, dont elle constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

La présente norme a été révisée pour tenir compte des évolutions technologiques liées aux huiles et aux matériels et dans le respect des meilleures pratiques en vigueur de par le monde.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MINERAL INSULATING OILS IN ELECTRICAL EQUIPMENT –
SUPERVISION AND MAINTENANCE GUIDANCE**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International standard IEC 60422 has been prepared by IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications.

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1989, and constitutes a technical revision.

The main changes with regard to the previous edition are as follows:

This standard has been revised to take into account changes in oil and equipment technology and to have due regard for the best practices currently in use world-wide.

Les limites d'action pour tous les essais d'huile ont été mis à jour et des changements ont été faits en cas de besoin pour permettre à des utilisateurs d'employer la méthodologie courante et de se conformer aux exigences et aux règlements affectant la sécurité et les aspects environnementaux.

La présente norme présentant des lignes directrices, intègre des changements présentés dans les normes associées depuis la publication de la deuxième édition.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
10/636/FDIS	10/641/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://www.pre.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

The action limits for all oil tests have been revised and changes made where necessary to enable users to use current methodology and comply with requirements and regulations affecting safety and environmental aspects.

This guidance incorporates changes introduced in associated standards since the publication of the second edition.

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

FDIS	Report on voting
10/636/FDIS	10/641/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

Les huiles minérales isolantes sont utilisées dans le matériel électrique employé dans la génération, la transmission, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique, ce qui fait que la quantité d'huile en service, à travers le monde, s'élève à des centaines de millions de kilogrammes.

La qualité de la surveillance et de l'entretien de l'huile est essentielle pour assurer le bon fonctionnement des équipements électriques remplis d'huile. A cette fin, des recueils d'instructions ont été établis par les autorités responsables de source électrique, les compagnies d'alimentation et les industries dans de nombreux pays.

L'examen de l'expérience actuelle indique une grande variation des procédures et de critères. Cependant, il est possible de comparer la valeur et la signification des divers essais d'huile normalisés et de conseiller des critères uniformes d'évaluation des résultats des essais.

Lorsqu'un certain niveau de détérioration de l'huile est dépassé (par dégradation ou par contamination), les marges de sécurité sont réduites et il convient de poser la question du risque d'une défaillance prématurée. Bien que l'évaluation de ce risque soit très difficile, une première étape consiste à identifier les effets potentiels d'une dégradation accrue. La philosophie sous-jacente à la présente norme est de fournir aux utilisateurs une base aussi large que possible de compréhension de la dégradation de la qualité des huiles, de sorte qu'ils puissent prendre, en connaissance de cause, les décisions reposant sur les procédures d'entretien.

Les huiles minérales neuves sont des ressources limitées et il convient de garder cela à l'esprit en les manipulant. Les huiles minérales usagées sont considérées comme des déchets contrôlés selon la plupart des réglementations. Si des fuites se produisent, elles peuvent avoir des incidences négatives sur l'environnement, particulièrement si l'huile est contaminée par des polluants organiques persistants tels que les PCB.

Les lignes directrices figurant dans la présente norme, quoique techniquement valides, ont été établies principalement pour servir de base à l'élaboration des codes de pratique plus complets et plus spécifiques par les utilisateurs, compte tenu des circonstances locales. Il y aura lieu d'établir des avis techniques sérieux pour établir le meilleur compromis entre les exigences techniques et les facteurs économiques.

Il convient aussi de se reporter aux instructions fournies par le constructeur.

INTRODUCTION

Insulating mineral oils are used in electrical equipment employed in the generation, transmission, distribution and use of electrical energy, so that the amount of oil in service, worldwide, amounts to hundreds of millions of kilograms.

Monitoring and maintaining oil quality is essential to ensure the reliable operation of oil-filled electrical equipment. Codes of practice for this purpose have been established by electrical power authorities, power companies and industries in many countries.

A review of current experience reveals a wide variation of procedures and criteria. It is possible, however, to compare the value and significance of standardized oil tests and to recommend uniform criteria for the evaluation of test data.

If a certain amount of oil deterioration (by degradation or contamination) is exceeded, there is inevitably some erosion of safety margins and the question of the risk of premature failure should then be considered. While the quantification of the risk can be very difficult, a first step involves the identification of potential effects of increased deterioration. The philosophy underlying this standard is to furnish users with as broad a base of understanding of oil quality deterioration as is available, so that they can make informed decisions on inspection and maintenance practices.

Unused mineral oils are limited resources and should be handled with this in mind. Used mineral oils are, by most regulations, deemed to be controlled waste. If spills occur, this may have a negative environmental impact, especially if the oil is contaminated by persistent organic pollutants such as polychlorinated biphenyls (PCB).

The guidelines given in this standard, whilst technically sound, are mainly intended to serve as a common basis for the preparation of more specific and complete codes of practice by users in the light of local circumstances. Sound engineering judgement will have to be exerted in seeking the best compromise between technical requirements and economic factors.

Reference should also be made to instructions from the equipment manufacturer.

HUILES MINÉRALES ISOLANTES DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES – LIGNES DIRECTRICES POUR LA MAINTENANCE ET LA SURVEILLANCE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale donne les lignes directrices pour la surveillance et la maintenance de la qualité des huiles isolantes dans les appareils électriques.

La présente norme est applicable aux huiles minérales isolantes, satisfaisant à l'origine aux exigences de la CEI 60296 et utilisées dans les transformateurs, l'appareillage de connexion et les appareils électriques semblables, pour lesquels la prise d'échantillon d'huile est possible, et lorsque les conditions normales d'exploitation prévues dans les spécifications du matériel sont appliquées.

Cette norme a aussi pour but d'aider le personnel d'exploitation à évaluer l'état de l'huile des matériels et de l'assister dans sa tâche afin de conserver l'huile en condition de service. Il fournit également une base commune à l'élaboration des codes de pratique locale plus complets et plus spécifiques.

Cette norme inclut les recommandations sur les essais normalisés, les procédures d'évaluation et des éléments de procédés de retraitement et de régénération de l'huile et la décontamination de l'huile contaminée par le PCB.

NOTE Le contrôle des conditions des matériels électriques, par exemple par l'analyse des gaz dissous, les mélanges furaniques ou tout autre moyen ne fait pas partie du domaine d'application de la présente norme.

2 Références normatives

Les documents référencés suivants sont indispensables pour l'application de ce document. Pour des références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est la dernière édition du document référencé (y compris les amendements) qui s'applique.

CEI 60156, *Isolants liquides – Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle – Méthode d'essai*

CEI 60247, *Liquides isolants – Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique ($\tan \delta$) et de la résistivité en courant continu*

CEI 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

CEI 60475, *Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides*

CEI 60666, *Détection et dosage d'additifs antioxydants spécifiques présents dans les huiles isolantes*

CEI 60814, *Isolants liquides – Cartons et papiers imprégnés d'huile – Détermination de la teneur en eau par titrage coulométrique de Karl Fisher automatique*

CEI 60970, *Méthodes de détermination du nombre et de la taille des particules dans les isolants liquides*

MINERAL INSULATING OILS IN ELECTRICAL EQUIPMENT – SUPERVISION AND MAINTENANCE GUIDANCE

1 Scope

This International Standard gives guidance on the supervision and maintenance of the quality of the insulating oil in electrical equipment.

This standard is applicable to mineral insulating oils, originally supplied conforming to IEC 60296, and used in transformers, switchgear and other electrical apparatus where oil sampling is reasonably practicable and where the normal operating conditions specified in the equipment specifications apply.

This standard assists the power equipment operator to evaluate the condition of the oil and maintain it in a serviceable condition. It also provides a common basis for the preparation of more specific and complete local codes of practice.

This standard includes recommendations on tests and evaluation procedures and outlines methods for reconditioning and reclaiming oil and the decontamination of oil contaminated with PCB.

NOTE The condition monitoring of electrical equipment, for example by analysis of dissolved gases, furanic compounds or other means is outside the scope of this standard.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60156: *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method*

IEC 60247: *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*

IEC 60296: *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60475: *Method of sampling liquid dielectrics*

IEC 60666: *Detection and determination of specified anti-oxidant additives in insulating oils*

IEC 60814: *Insulating liquids – Oil-impregnated paper and pressboard – Determination of water by automatic coulometric Karl Fischer titration*

IEC 60970: *Methods for counting and sizing particles in insulating liquids*

CEI 61125, *Isolants liquides neufs à base d'hydrocarbures – Méthodes d'essai pour évaluer la stabilité à l'oxydation*

CEI 61619, *Isolants liquides – Contamination par les polychlorobiphényles (PCB). Méthode de détermination par chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire*

CEI 62021-1, *Liquides isolants – Détermination de l'acidité – Partie 1: Titrage potentiométrique automatique*

ISO 2049, *Produits pétroliers – Détermination de la couleur (échelle ASTM)*

ISO 2719, *Détermination du point d'éclair – Méthode Pensky-Martens en vase clos*

ISO 3016, *Produits pétroliers – Détermination du point d'écoulement*

ISO 3104, *Produits pétroliers – Liquides opaques et transparents – Détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique*

ISO 3675, *Pétrole brut et produits pétroliers liquides – Détermination en laboratoire de la masse volumique – Méthode à l'aréomètre*

ASTM D971-99a:2004, *Standard test method for interfacial tension of oil against water by the ring method*

IEC 61125: *Unused hydrocarbon-based insulating liquids – Test methods for evaluating the oxidation stability*

IEC 61619: *Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography*

IEC 62021-1: *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 1: Automatic potentiometric titration*

ISO 2049: *Petroleum products – Determination of colour (ASTM scale)*

ISO 2719: *Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method*

ISO 3016: *Petroleum products – Determination of pour point*

ISO 3104: *Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity*

ISO 3675: *Crude petroleum and liquid petroleum products – Laboratory determination of density – Hydrometer method*

ASTM D971-99a: 2004 *Standard test method for interfacial tension of oil against water by the ring method*