

621.38784

Sa.161

pt2

11909

T-114

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**ACTUALIZACION DE NORMAS DE ESPECIFICACIONES TECNICAS
PARA LA CONSTRUCCION DE REDES TELEFONICAS EN PLANTA
EXTERNA Y CONCEPTOS BASICOS PARA LA NORMALIZACION
DE INSTALACION DE FIBRA OPTICA.**

ANEXOS

EDWIN RAMIRO SALAZAR DELGADO

Quito. Marzo, 1997

ANEXO 1

NORMA	ASTM	92
NORMA	ASTM	127
NORMA	ASTM	150
NORMA	ASTM	257
NORMA	ASTM	1047
NORMA	ASTM	1248
NORMA	ASTM	2146



Designation: D 92 - 78¹

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS
1180 N. 17TH ST., PHILADELPHIA, PA. 19104
ASTM INTERNATIONAL
500 N. MARKET ST., WEST CONSHOHOCKEN, PA. 19381
1000 BUCKLEBOURNE DR., WEST CONSHOHOCKEN, PA. 19381
DIN 51 378



Designation: 36/67 (75)

Standard Test Method for FLASH AND FIRE POINTS BY CLEVELAND OPEN CUP¹

This standard is issued under the fixed designation D 92; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

This method was adopted as a joint ASTM-IP standard in 1965.

This method has been adopted for use by government agencies to replace Method 1103.7 of Federal Test Method Standard No. 791b, and Method 4294 of Federal Test Method Standard No. 141A.

¹ NOTE—Sections 1, 6, and 7 were editorially revised in July 1979.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of the flash and fire points of all petroleum products except fuel oils and those having an open-cup flash below 175 F (79 C).

NOTE 1—The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

NOTE 2—It is the practice in the United Kingdom and in many other countries to use IP Method 35, unless Test Method D 93-IP 34 is specified. This method may occasionally be specified for the determination of the fire point of a fuel oil. For the determination of the flash points of fuel oils, use Test Method D 93-IP 34. Test Method D 93-IP 34 should also be used when it is desired to determine the possible presence of small but significant concentrations of lower flash point substances which may escape detection by Test Method D 92. Test Method D 1310 may be employed if the flash point is below 175 F (79 C) as determined by Method D 92-IP 36.

1.2 This standard should be used to measure and describe the properties of materials, products, or assemblies in response to heat and flame under controlled laboratory conditions and should not be used to describe or appraise the fire hazard or fire risk of materials, products, or assemblies under actual fire conditions. However, results of this test may be used as elements of a fire risk assessment which takes into account all of the factors which are pertinent to an assessment of the fire hazard of a particular end use.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

D 93 Test Method for Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester²

D 1310 Test Method for Flash Point of Liquids by Tag Open-Cup Apparatus³

E 1 Specification for ASTM Thermometers⁴

2.2 Other Methods:

IP Method 35 Flash Point (Open) and Fire Point by Means of the Pensky-Martens Apparatus

3. Summary of Method

3.1 The test cup is filled to a specified level with the sample. The temperature of the sample is increased rapidly at first and then at a slow constant rate as the flash point is approached. At specified intervals a small test flame is passed across the cup. The lowest temperature at which application of the test flame causes the vapors above the surface of the liquid to

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-2 on Petroleum Products and Lubricants.

Current edition approved Aug. 25, 1978. Published October 1978. Originally published as D 92-21. Last previous edition D 92-72 (1977).

In the IP, this method is under the jurisdiction of the Standardization Committee.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vols 05.01 and 06.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vols 05.03 and 14.01.

ignite is taken as the flash point. To determine the fire point, the test is continued until the application of the test flame causes the oil to ignite and burn for at least 5 s.

4. Apparatus

4.1 *Cleveland Open Cup Apparatus*—This apparatus consists of the test cup, heating plate, test flame applicator, heater, and supports described in detail in the Appendix. The assembled apparatus, heating plate, and cup are illustrated in Figs. 1, 2, and 3, respectively. Dimensions are listed in Tables 1, 2, and 3, respectively.

4.2 *Shield*—A shield 460 mm (18 in.) square and 610 mm (24 in.) high and having an open front is recommended.

4.3 *Thermometer*—A thermometer having a range as shown below and conforming to the requirements prescribed in Specification E 1 or in the Specifications for IP Standard Thermometers:

Temperature Range	Thermometer Number	
	ASTM	IP
20 to 760 F	11 F	23 F
-6 to +400 C	11 C	23 C

NOTE 3—There are automatic flash point testers available and in use which may be advantageous in the saving of testing time, permit the use of smaller samples, and have other factors which may merit their use. If automatic testers are used, the user must be sure that all of the manufacturer's instructions for calibrating, adjusting, and operating the instrument are followed. In any cases of dispute, the flash point as determined manually shall be considered the reference test.

5. Preparation of Apparatus

5.1 Support the apparatus on a level steady table in a draft-free room or compartment. Shield the top of the apparatus from strong light by any suitable means to permit ready detection of the flash point. Tests made in a laboratory hood (Note 4) or in any location where drafts occur are not to be relied upon. During the last 30 F (17 C) rise in temperature prior to the flash point, care must be taken to avoid disturbing the vapors in the test cup by careless movements or breathing near the cup.

NOTE 4—With some samples whose vapors or products of pyrolysis are objectionable, it is permissible to place the apparatus with shield in a hood, the draft of which is adjustable so that vapors may be withdrawn without causing air currents over the test cup during the final 100 F (56 C) rise in temperature prior to the flash point.

5.2 Wash the test cup with an appropriate solvent to remove any oil or traces of gum or residue remaining from a previous test. If any deposits of carbon are present, they should be removed with steel wool. Flush the cup with cold water and dry for a few minutes over an open flame or a hot plate to remove the last traces of solvent and water. Cool the cup to at least 100 F (56 C) below the expected flash point before using.

5.3 Support the thermometer in a vertical position with the bottom of the bulb 6.4 mm ($\frac{1}{4}$ in.) from the bottom of the cup and locate at a point halfway between the center and side of the cup on a diameter perpendicular to the arc (or line) of the sweep of the test flame and on the side opposite to the test flame burner arm.

NOTE 5—The immersion line engraved on the thermometer will be 2 mm ($\frac{1}{16}$ in.) below the level of the rim of the cup when the thermometer is properly positioned.

6. Procedure

6.1 Fill the cup at any convenient temperature (Note 6) so that the top of the meniscus is exactly at the filling line. If too much sample has been added to the cup, remove the excess, using a medicine dropper; however, if there is sample on the outside of the apparatus, empty, clean, and refill it. Destroy any air bubbles on the surface of the sample.

NOTE 6—Viscous samples should be heated until they are reasonably fluid before being poured into the cup; however, the temperature during heating must not exceed 100 F (56 C) below the probable flash point.

6.2 Light the test flame and adjust it to a diameter of 3.2 to 4.8 mm ($\frac{1}{8}$ to $\frac{3}{16}$ in.), the size of the comparison bead if one is mounted on the apparatus.

6.3 Apply heat initially so that the rate of temperature rise of the sample is 25 to 30 F (14 to 17 C)/min. When the sample temperature is approximately 100 F (56 C) below the anticipated flash point, decrease the heat so that the rate of temperature rise for the last 50 F (28 C) before the flash point is 9 to 11 F (5 to 6 C)/min.

6.4 Starting at least 50 F (28 C) below the flash point, apply the test flame when the temperature read on the thermometer reaches each successive 5 F (2 C) mark. Pass the test flame

across the center of the cup, at right angles to the diameter which passes through the thermometer. With a smooth, continuous motion apply the flame either in a straight line or along the circumference of a circle having a radius of at least 150 mm (6 in.). The center of the test flame must move in a horizontal plane not more than 2 mm (⁵/₁₆ in.) above the plane of the upper edge of the cup and passing in one direction only. At the time of the next test flame application, pass the flame in the opposite direction. The time consumed in passing the test flame across the cup in each case shall be about 1 s.

6.5 Record as the observed flash point the temperature read on the thermometer when a flash appears at any point on the surface of the oil, but do not confuse the true flash with the bluish halo that sometimes surrounds the test flame.

6.6 To determine the fire point, continue heating so that the sample temperature increases at a rate of 9 to 11 F (5 to 6 C)/min. Continue the application of the test flame at 5 F (2 C) intervals until the oil ignites and continues to burn for at least 5 s. Record the temperature at this point as the observed fire point of the oil.

7. Calculation and Report

7.1 Observe and record the barometric pressure at the time of the test. When the pressure differs from 760 mm Hg, correct the flash or fire point, or both, by means of the following equations:

Corrected flash or fire point, or both = $F + 0. (760 - P)$ or Corrected flash or fire point, or both $C + 0.03 (760 - P)$

where:

- F = observed flash or fire point, or both, the nearest 5 F.
- C = observed flash or fire point, or both, the nearest 2 C.
- P = barometric pressure, mm Hg.

7.2 Record the corrected flash or fire point or both, to the nearest 5 F or 2 C.

7.3 Report the recorded flash or fire point value, or both, as the COC flash or fire point or both, ASTM D 92 - IP 36 of the sample tested.

8. Precision

8.1 The following data should be used judging the acceptability of results (95 percent confidence).

8.1.1 Duplicate results by the same operator should be considered suspect if they differ by more than the following amounts:

	Repeatability
Flash point	15 F (8 C)
Fire point	15 F (8 C)

8.1.2 The result submitted by each of two laboratories should be considered suspect if the results differ by more than the following amounts:

	Reproducibility
Flash point	30 F (17 C)
Fire point	25 F (14 C)



ASTM Designation	Subject
D 2250	Halogenated Organic Solvents
D 3214	Coating Powders
<i>Rubber and Rubber Products:</i>	
D 120	Rubber Insulating Gloves
D 178	Rubber Matting
D 530	Hard Rubber
D 1048	Rubber Insulating Blankets
D 1049	Rubber Insulator Hoods
D 1050	Rubber Insulating Line Hose
D 1051	Rubber Insulating Sleeves
D 3391	Rubber Tape
<i>Filling Compounds:</i>	
D 176	Solid Filling and Treating Compounds
<i>Adhesives:</i>	
D 1304	Adhesives Relative to Use as Electrical Insulation
<i>Wire and Cable:</i>	
D 470	Thermosetting Insulated and Jacketed Wire and Cable
D 1676	Film-Insulated Magnet Wire
D 2307	Film-Insulated Magnet Wire
D 2633	Thermoplastic Insulated and Jacketed Wire and Cable
D 3032	Hookup Wire Insulation
D 3353	Fibrous Insulated Magnet Wire
<i>General:</i>	
D 2304	Thermal Evaluation

ity of any patent rights asserted in connection that determination of the validity of any such ability.

tee and must be reviewed every five years and or revision of this standard or for additional ive careful consideration at a meeting of the s have not received a fair hearing you should elphia, Pa. 19103.

Standard Test Methods for A-C LOSS CHARACTERISTICS AND PERMITTIVITY (DIELECTRIC CONSTANT) OF SOLID ELECTRICAL INSULATING MATERIALS¹

This standard is issued under the fixed designation D 150; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

These methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 4021 of Federal Test Method Standard 406 and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

¹NOTE—Editorial changes were made throughout in October 1981.

1. Scope

1.1 These methods cover the determination of relative permittivity, dissipation factor, loss index, power factor, phase angle, and loss angle of specimens of solid electrical insulating materials when the standards used are lumped impedances. The frequency range that can be covered extends from less than 1 Hz to several hundred megahertz.

NOTE 1—In common usage, the word relative is frequently dropped.

1.2 The methods are presented in the following sequence:

	Section
Terminology	3
Significance	4
General Measurement Considerations	5
Electrode Systems	6
Choice of Apparatus and Method for Measuring Capacitance and A-C Loss	7
Sampling	8
Procedure	9
Report	10
References	
Appendix X1—Corrections for Series Inductance and Resistance and Stray Capacitances	
Appendix X2—Effective Area of Guarded Electrode	
Appendix X3—Factors Affecting Permittivity and Loss Characteristics	
Appendix X4—Circuit Diagrams of Typical Measuring Circuits	

1.3 Since some materials require special treatment, reference should also be made to the ASTM methods applicable to the material to be tested.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Method for Thickness of Solid Electrical Insulation^{2,3}
- D 1082 Test Method for Power Factor and Dielectric Constant of Natural Mica⁴
- D 1371 Recommended Practice for Cleaning Plastic Specimens for Insulation Resistance, Surface Resistance, and Volume Resistivity Testing³
- D 1531 Test Method for Dielectric Constant and Dissipation Factor of Polyethylene by Liquid Displacement Procedure³
- D 1711 Definitions of Terms Relating to Electrical Insulation^{3,4}

3. Terminology

3.1 *capacitance, C*—that property of a system of conductors and dielectrics which permits the storage of electrically separated charges when potential differences exist between the conductors. It is the ratio of a quantity, Q , of electricity to a potential difference, V . A capacitance value is always positive. The units are

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-9 on Electrical Insulating Materials and are the direct responsibility of Subcommittee D09.12 on Electrical Tests.

Current edition approved Feb. 27, 1981. Published April 1981. Originally published as D 150-22 T. Last previous edition D 150-80.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

farads when the charge is expressed in coulombs and the potential in volts:

$$C = Q/V \quad (1)$$

3.2 *dissipation factor* ($\tan \delta$) (*loss tangent*), D —the ratio of the loss index to its relative permittivity or

$$D = \kappa''/\kappa' \quad (2)$$

It is also the tangent of its loss angle, δ or the cotangent of its phase angle, θ .

NOTE a:

$$D = \tan \delta = \cot \theta = X_p/R_p = G/\omega C_p = 1/\omega C_p R_p \quad (3)$$

where:

G = equivalent a-c conductance,

X_p = parallel reactance,

R_p = equivalent a-c parallel resistance,

C_p = parallel capacitance, and

$\omega = 2\pi f$ (sinusoidal wave shape assumed).

The reciprocal of the dissipation factor is the quality factor, Q , sometimes called the storage factor. The dissipation factor, D , of the capacitor is the same for both the series and parallel representations as follows:

$$D = \omega R_s C_s = 1/\omega R_p C_p \quad (4)$$

The relationships between series and parallel components are as follows:

$$C_p = C_s/(1 + D^2) \quad (5)$$

$$R_p/R_s = (1 + D^2)/D^2 = 1 + (1/D^2) = 1 + Q^2 \quad (6)$$

NOTE b: *Series Representation*—While the parallel representation of an insulating material having a dielectric loss (Fig. 1) is usually the proper representation, it is always possible and occasionally desirable to represent a capacitor at a single frequency by a capacitance, C_s , in series with a resistance, R_s , (Figs. 3 and 4).

3.3 *loss angle* (*phase defect angle*), δ —the angle whose tangent is the dissipation factor or arctan κ''/κ' . It is also the difference between 90° and the phase angle.

NOTE a—The relation of phase angle and loss angle is shown in Figs. 3 and 4. Loss angle is sometimes called the phase defect angle.

3.4 *loss index*, κ'' (ϵ'')—the magnitude of the imaginary part of the relative complex permittivity. It is the product of the relative permittivity and dissipation factor.

NOTE a—It may be expressed as

$$\kappa'' = \kappa' D = \text{power loss } (E^2 \times 2\pi f \times \epsilon_0)^{-1} \quad (7)$$

When the units are watts, volts per centimetre, hertz, and cubic centimetres, ϵ_0 has the value 8.8542×10^{-14} .

NOTE b—Loss index is the term agreed upon internationally. In the U.S.A. κ'' was formerly called the loss factor.

3.5 *phase angle*, θ —the angle whose cotangent is the dissipation factor, $\text{arccot } \kappa''/\kappa'$. It is also the angular difference in the phase between the sinusoidal alternating voltage applied to a dielectric and the component of the resulting current having the same frequency as the voltage.

NOTE—The relation of phase angle and loss angle is shown in Figs. 2 and 4. Loss angle is sometimes called the phase defect angle.

3.6 *power factor*, PF —the ratio of the power in watts, W , dissipated in a material to the product of the effective sinusoidal voltage, V , and current, I , in volt-amperes. It may be expressed as the cosine of the phase angle θ (or the sine of the loss angle δ).

$$PF = W/VI = G/\sqrt{G^2 + (\omega C_p)^2} = \sin \delta = \cos \theta \quad (8)$$

When the dissipation factor is less than 0.1, the power factor differs from the dissipation factor by less than 0.5%. Their exact relationship may be found from the following:

$$\left. \begin{aligned} PF &= D/\sqrt{1 + D^2} \\ D &= PF/\sqrt{1 - (PF)^2} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3.7 *relative permittivity* (*relative dielectric constant*) (κ') (ϵ_r)—the real part of the relative complex permittivity. It is also the ratio of the equivalent parallel capacitance, C_p , of a given configuration of electrodes with a material as a dielectric to the capacitance, C_v , of the same configuration of electrodes with vacuum (or air for most practical purposes) as the dielectric:

$$\kappa' = C_p/C_v \quad (10)$$

NOTE a—In common usage the word "relative" is frequently dropped.

NOTE b—Experimentally, vacuum must be replaced by the material at all points where it makes a significant change in capacitance. The equivalent circuit of the dielectric is assumed to consist of C_p and capacitance in parallel with conductance.

NOTE c— C_v is taken to be C_p , the equivalent parallel capacitance as shown in Fig. 1.

NOTE d—The series capacitance is larger than the parallel capacitance by less than 1% for a dissipation

factor of 0.1, and by less than 0.1% for a dissipation factor of 0.03. If a measuring circuit yields results in terms of series components, the parallel capacitance must be calculated from Eq 5 before the corrections and permittivity are calculated.

NOTE e—The permittivity of dry air at 23°C and standard pressure at 101.3 kPa is 1.000536 (1).⁵ Its divergence from unity, $\kappa' - 1$, is inversely proportional to absolute temperature and directly proportional to atmospheric pressure. The increase in permittivity when the space is saturated with water vapor at 23°C is 0.00025 (2, 3), and varies approximately linearly with temperature expressed in degrees Celsius, from 10 to 27°C. For partial saturation the increase is proportional to the relative humidity.

3.8 Other definitions may be found in Definitions D 1711.

4. Significance

4.1 Permittivity—Insulating materials are used in general in two distinct ways, (1) to support and insulate components of an electrical network from each other and from ground, and (2) to function as the dielectric of a capacitor. For the first use, it is generally desirable to have the capacitance of the support as small as possible, consistent with acceptable mechanical, chemical, and heat-resisting properties. A low value of permittivity is thus desirable. For the second use, it is desirable to have a high value of permittivity, so that the capacitor may be physically as small as possible. Intermediate values of permittivity are sometimes used for grading stresses at the edge or end of a conductor to minimize a-c corona. Factors affecting permittivity are discussed in Appendix X3.

4.2 A-C Loss—For both cases (as electrical insulation and as capacitor dielectric) the a-c loss generally should be small, both in order to reduce the heating of the material and to minimize its effect on the rest of the network. In high frequency applications, a low value of loss index is particularly desirable, since for a given value of loss index, the dielectric loss increases directly with frequency. In certain dielectric configurations such as are used in terminating bushings and cables for test, an increased loss, usually obtained from increased conductivity, is sometimes introduced to control the voltage gradient. In comparisons of materials having approximately the same permittivity or in the use of any material under such conditions that its permittivity remains essentially constant, the quantity considered may also be dissipation

factor, power factor, phase angle, or loss angle. Factors affecting a-c loss are discussed in Appendix X3.

4.3 Correlation—When adequate correlating data are available, dissipation factor or power factor may be used to indicate the characteristics of a material in other respects such as dielectric breakdown, moisture content, degree of cure, and deterioration from any cause. However, deterioration due to thermal aging may not affect dissipation factor unless the material is subsequently exposed to moisture. While the initial value of dissipation factor is important, the change in dissipation factor with aging may be much more significant.

5. General Measurement Considerations

5.1 Fringing and Stray Capacitance—These methods are based upon placing a specimen of material in an electrode system with a vacuum capacitance that can be either calculated accurately or determined by a calibration in the absence of the solid material. The problem of determining the two capacitance values that are required, directly or indirectly, to determine κ_s' is best illustrated by reference to Figs. 5 and 6, showing two parallel plate electrodes between which the unknown material is to be placed for measurement. In addition to the desired direct interelectrode capacitance, C_{ij} of the system as seen at terminals *a-a'* includes the following:

C_f = fringing or edge capacitance.

C_g = capacitance to ground of the outside face of each electrode.

C_L = capacitance between connecting leads.

C_{Lg} = capacitance of the leads to ground, and

C_{Lj} = capacitance between the leads and the electrodes.

Only the desired capacitance, C_{ij} , is independent of the outside environment, all the others being dependent to a degree on the proximity of other objects. It becomes immediately necessary to distinguish between two possible measuring conditions in order to discuss the effects of the undesired capacitances. If one measuring electrode is grounded, as is often the case, all of the capacitances described, except the ground capacitance of the grounded electrode

⁵ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references appended to these methods.

of low permittivity may necessitate a diameter of 100 mm or more to obtain the desired capacitance accuracy. In the measurement of small values of dissipation factor, the essential points are that no appreciable dissipation factor shall be contributed by the series resistance of the electrodes and that in the measuring network no large capacitance shall be connected in parallel with that of the specimen. The first of these points favors thick specimens; the second suggests thin specimens of large area. Micrometer electrode methods (6.3.2) can be used to eliminate the effects of series resistance. A guarded specimen holder (Fig. 8) can be used to minimize extraneous capacitances.

5.4 Calculation of Vacuum Capacitance—The practical shapes for which capacitance can be most accurately calculated are flat parallel plates and coaxial cylinders, the equations for which are given in Table 1. These equations are based on a uniform field between the measuring electrodes, with no fringing at the edges. Capacitance calculated on this basis is known as the direct interelectrode capacitance.

5.5 Edge, Ground, and Gap Corrections—The equations for calculating edge capacitance, given in Table 1, are empirical, based on published work (4) (see 7.5). They are expressed in terms of picofarads per centimetre of perimeter and are thus independent of the shape of the electrodes. It is recognized that they are dimensionally incorrect, but they are found to give better approximations to the true edge capacitance than any other equations that have been proposed. Ground capacitance cannot be calculated by any equations presently known. When measurements must be made that include capacitance to ground, it is recommended that the value be determined experimentally for the particular setup used. This can be done using a dielectric sample holder or a three-electrode method. The difference between the capacitance measured in the two-terminal arrangement and the capacitance calculated from the permittivity and the dimensions of the specimen is the ground capacitance plus the edge capacitance. The edge capacitance can be calculated using one of the equations of Table 1. As long as the same physical arrangement of leads and electrodes is maintained, the ground capacitance will remain constant, and the experimentally determined value can be used as a correction to subsequently measured values

of capacitance. The effective area of a guarded electrode is greater than its actual area by approximately half the area of the guard gap (5, 6, 18). Thus, the diameter of a circular electrode, each dimension of a rectangular electrode, or the length of a cylindrical electrode is increased by the width of this gap. When the ratio of gap width, g , to specimen thickness, t , is appreciable, the increase in the effective dimension of the guarded electrode is somewhat less than the gap width. Details of computation for this case are given in Appendix X2.

6. Electrode Systems

6.1 Contacting Electrodes—A specimen may be provided with its own electrodes, of one of the materials listed below. For two-terminal measurements the electrodes may extend either to the edge of the specimen or may be smaller than the specimen. In the latter case the two electrodes may be equal or unequal in size. If equal in size and smaller than the specimen, the edge of the specimen must extend beyond the electrodes by at least twice the specimen thickness. The choice between these three sizes of electrodes will depend on convenience of application of the electrodes, and on the type of measurement adopted. The edge correction (see Table 1) is smallest for the case of electrodes extending to the edge of the specimen and largest for unequal electrodes. When the electrodes extend to the edge of the specimen, these edges must be sharp. Such electrodes must be used, if attached electrodes are used at all, when a micrometer electrode system is employed. When equal-size electrodes smaller than the specimen are used, it is difficult to center them unless the specimen is translucent or an aligning fixture is employed. For three-terminal measurements, the width of the guard electrode shall be at least twice the thickness of the specimen (6, 7). The gap width shall be as small as practical (0.5 mm is possible). For measurement of dissipation factor at the higher frequencies, electrodes of this type may be unsatisfactory because of their series resistance. Micrometer electrodes should be used for the measurements.

6.2 Electrode Materials:

6.2.1 Metal Foil—Lead or tin foil, from 0.0075 to 0.025 mm thick applied with a minimum quantity of refined petrolatum, silicone grease, silicone oil, or other suitable low-loss

and its lead, are in parallel with the desired C . If a guarded test cell is used the capacitance to ground no longer appears and the capacitance seen at $a-d$ includes C_r , C_s , and the lead capacitances only. The lead capacitance can usually be made negligibly small. The edge capacitance, C_s , in air, can be calculated with reasonable accuracy, but in the presence of the dielectric the value changes. Empirical corrections have been derived for various conditions, and these are given in Table 1 (for the case of thin electrodes such as foil). In routine work, where best accuracy is not required it may be convenient to use unshielded, two-electrode systems and make the approximate corrections. However, for exacting measurements it is necessary to use guarded electrodes.

5.2 Guarded Electrodes—The fringing and stray capacitance at the edge of the guarded electrode is practically eliminated by the addition of a guard electrode as shown in Fig. 7. If the test specimen and guard electrode extend beyond the guarded electrode by at least twice the thickness of the specimen and the guard gap is very small, the field distribution in the guarded area will be identical with that existing when vacuum is the dielectric, and the ratio of these two direct capacitances is the permittivity. Furthermore, the field between the active electrodes is defined and the vacuum capacitance can be calculated with the accuracy limited only by the accuracy with which the dimensions are known. For these reasons the guarded electrode (three-terminal) method is to be used as the referee method unless otherwise agreed upon. Figure 8 shows a schematic representation of a completely guarded and shielded electrode system. Although the guard is commonly grounded, the arrangement shown permits grounding either measuring electrode or none of the electrodes to accommodate the particular three-terminal measuring system being used. If the guard is connected to ground, or to a guard terminal on the measuring circuit, the measured capacitance is the direct capacitance between the two measuring electrodes. If, however, one of the measuring electrodes is grounded, the capacitance to ground of the ungrounded electrode and leads is in parallel with the desired direct capacitance. To eliminate this source of error, the ungrounded electrode should be surrounded by a shield connected to guard as shown in Fig. 8. In addition to guarded meth-

ods, which are not always convenient or practical and which are limited to frequencies less than a few megahertz, techniques using special cells and procedures have been devised that yield, with two-terminal measurements, accuracies comparable to those obtained with guarded measurements. Such methods described here include shielded micrometer electrodes (6.3.2) and fluid displacement methods (6.3.3).

5.3 Geometry of Specimens—For determining the permittivity and dissipation factor of a material, sheet specimens are preferable. Cylindrical specimens can also be used, but generally with lesser accuracy. The source of the greatest uncertainty in permittivity is in the determination of the dimensions of the specimen, and particularly that of its thickness which should, therefore, be large enough to allow its measurement with the required accuracy. The chosen thickness will depend on the method of producing the specimen and the likely variation from point to point. For 1% accuracy a thickness of 1.5 mm (0.06 in.) is usually sufficient, although for greater accuracy it may be desirable to use a thicker specimen. Another source of error, when foil or rigid electrodes are used, is in the unavoidable gap between the electrodes and the specimen. For thin specimens the error in permittivity can be as much as 25%. A similar error occurs in dissipation factor, although when foil electrodes are applied with a grease, the two errors may not have the same magnitude. For the most accurate measurements on thin specimens, the fluid displacement method should be used (6.3.3). This method reduces or completely eliminates the need for electrodes on the specimen. The thickness must be determined by measurements distributed systematically over the area of the specimen that is used in the electrical measurement and should be uniform within $\pm 1\%$ of the average thickness. If the whole area of the specimen will be covered by the electrodes, and if the density of the material is known, the average thickness can be determined by weighing. The diameter chosen for the specimen should be such as to provide a specimen capacitance that can be measured to the desired accuracy. With well guarded and screened apparatus there need be no difficulty in measuring specimens having capacitances of 10 pF to a resolution of 1 part in 1000. A thick specimen

3rd. Mercury metal vapor poisoning has long been recognized as a hazard in industry. The boiling point of mercury is 356.6°C. However, the concentration of mercury vapor over spills from broken thermometers, barometers, or other instruments using mercury can easily exceed the maximum standards as set forth by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).⁴ Mercury, being a liquid and quite heavy, will disintegrate into small droplets and seep into cracks and crevices in the floor. The increased area of exposure adds significantly to the mercury vapor concentration in air. Mercury vapor concentration is easily monitored using commercially available sniffers. Spot checks regularly and thorough checks should be made after spills and around operations where mercury is exposed to the atmosphere. Emergency spill kits are also available should the airborne concentration exceed the standard.

6.2.7 *Rigid Metal*—For smooth, thick, or slightly compressible specimens, rigid electrodes under high pressure can sometimes be used, especially for routine work. Electrodes 10 mm in diameter, under a pressure of 18.0 MPa have been found useful for measurements on plastic materials, even those as thin as 0.025 mm. Electrodes 50 mm in diameter, under pressure, have also been used successfully for thicker materials. However, it is difficult to avoid an air film when using solid electrodes, and the effect of such a film becomes greater as the permittivity of the material being tested increases and its thickness decreases. The uncertainty in the determination of thickness also increases as the thickness decreases. The dimensions of a specimen may continue to change for as long as 24 h after the application of pressure.

6.2.8 *Water*—Water can be used as one electrode for testing insulated wire and cable when the measurements are made at low frequency (up to 1000 Hz, approximately). Care must be taken to ensure that electrical leakage at the ends of the specimen is negligible.

6.3 *Non-Contacting Electrodes:*

6.3.1 *Fixed Electrodes*—Specimens of sufficiently low surface conductivity can be measured without applied electrodes by inserting them in a prefabricated electrode system, in which there is an intentional airgap on one or both sides of the specimen. The electrode sys-

tem should be rigidly assembled and should preferably include a guard electrode. For the same accuracy, a more accurate determination of the electrode spacing and the thickness of the specimen is required than if direct contact electrodes are used. However, if the electrode system is filled with a liquid, these limitations may be removed (see 6.3.3).

6.3.2 *Micrometer Electrodes*—The micrometer-electrode system, as shown in Fig. 10, was developed (8) to eliminate the errors caused by the series inductance and resistance of the connecting leads and of the measuring capacitor at high frequencies. A built-in vernier capacitor is also provided for use in the susceptance variation method. It accomplishes this by maintaining these inductances and resistances relatively constant, regardless of whether the test specimen is in or out of the circuit. The specimen, which is either the same size as, or smaller than, the electrodes, is clamped between the electrodes. Unless the surfaces of the specimen are lapped or ground very flat, metal foil or its equivalent must be applied to the specimen before it is placed in the electrode system. If electrodes are applied, they also must be smooth and flat. Upon removal of the specimen, the electrode system can be made to have the same capacitance by moving the micrometer electrodes closer together. When the micrometer-electrode system is carefully calibrated for capacitance changes, its use eliminates the corrections for edge capacitance, ground capacitance, and connection capacitance. In this respect it is advantageous to use it over the entire frequency range. A disadvantage is that the capacitance calibration is not as accurate as that of a conventional multiplate variable capacitor, and also it is not direct reading. At frequencies below 1 MHz, where the effect of series inductance and resistance in the leads is negligible, the capacitance calibration of the micrometer electrodes can be replaced by that of a standard capacitor, either in parallel with the micrometer-electrode system or in the adjacent capacitance arm of the bridge. The change in capacitance with the specimen in and out is measured in terms of this capacitor. A source of minor error in a micrometer-electrode system is that the edge capacitance of the electrodes, which is included

⁴ Bldg. D-5, 6500 Glenway Ave. B, Cincinnati, Ohio 45211.

adhesive is generally used as the electrode material. Aluminum foil has also been used, but it is not recommended because of its stiffness and the probability of high contact resistance due to the oxidized surface. Lead foil also may give trouble because of its stiffness. Such electrodes should be applied under a smoothing pressure sufficient to eliminate all wrinkles and to work excess adhesive toward the edge of the foil. One very effective method is to use a narrow roller, and to roll outward on the surface until no visible imprint can be made on the foil. With care the adhesive film can be reduced to 0.0025 mm. As this film is in series with the specimen, it will always cause the measured permittivity to be too low and probably the dissipation factor to be too high. These errors usually become excessive for specimens of thickness less than 0.125 mm. The error in dissipation factor is negligible for such thin specimens only when the dissipation factor of the film is nearly the same as that of the specimen. When the electrode is to extend to the edge, it should be made larger than the specimen and then cut to the edge with a small, finely ground blade. A guarded and guard electrode can be made from an electrode that covers the entire surface, by cutting out a narrow strip (0.5 mm is possible) by means of a compass equipped with a narrow cutting edge.

6.2.2 Conducting Paint—Certain types of high-conductivity silver paints, either air-drying or low-temperature-baking varieties, are commercially available for use as electrode material. They are sufficiently porous to permit diffusion of moisture through them and thereby allow the test specimen to condition after application of the electrodes. This is particularly useful in studying humidity effects. The paint has the disadvantage of not being ready for use immediately after application. It usually requires an overnight air-drying or low-temperature baking to remove all traces of solvent, which otherwise may increase both permittivity and dissipation factor. It also may not be easy to obtain sharply defined electrode areas when the paint is brushed on, but this limitation usually can be overcome by spraying the paint and employing either clamp-on or pressure-sensitive masks. The conductivity of silver paint electrodes may be low enough to give trouble at the higher frequencies. It is essential that the solvent of the paint does not affect the specimen

permanently.

6.2.3 Fired-On Silver—Fired-on silver electrodes are suitable only for glass and other ceramics that can withstand, without change, a firing temperature of about 350°C. Its high conductivity makes such an electrode material satisfactory for use on low-loss materials such as fused silica, even at the highest frequencies, and its ability to conform to a rough surface makes it satisfactory for use with high-permittivity materials, such as the titanates.

6.2.4 Sprayed Metal—A low-melting-point metal applied with a spray gun provides a spongy film for use as electrode material which, because of its grainy structure, has roughly the same electrical conductivity and the same moisture porosity as conducting paints. Suitable masks must be used to obtain sharp edges. It conforms readily to a rough surface, such as cloth, but does not penetrate very small holes in a thin film and produce short circuits. Its adhesion to some surfaces is poor, especially after exposure to high humidity or water immersion. Advantages over conducting paint are freedom from effects of solvents, and readiness for use immediately after application.

6.2.5 Evaporated Metal—Evaporated metal used as an electrode material may have inadequate conductivity because of its extreme thinness, and must be backed with electroplated copper or sheet metal. Its adhesion is adequate, and by itself it is sufficiently porous to moisture. The necessity for using a vacuum system in evaporating the metal is a disadvantage.

6.2.6 Liquid Metal—Mercury electrodes may be used by floating the specimen on a pool of mercury and using confining rings with sharp edges for retaining the mercury for the guarded and guard electrodes, as shown in Fig. 9. A more convenient arrangement, when a considerable number of specimens must be tested, is the test fixture shown in Fig. 1 of Method D 1082. There is some health hazard present due to the toxicity of mercury vapor, especially at elevated temperatures, and suitable precautions should be taken during use. In measuring low-loss materials in the form of thin films such as mica splittings, contamination of the mercury may introduce considerable error, and it may be necessary to use clean mercury for each test. Wood's metal or other low-melting alloy can be used in a similar manner with a somewhat reduced health haz-

in their calibration, is slightly changed by the presence of a dielectric having the same diameter as the electrodes. This error can be practically eliminated by making the diameter of the specimen less than that of the electrodes by twice its thickness (3). When no electrodes are attached to the specimen, surface conductivity may cause serious errors in dissipation factor measurements of low loss material. Unless materials are to be tested "as received" they should be cleaned and dried in accordance with Recommended Practice D 1371 and measured in a dry atmosphere. When the bridge used for measurement has a guard circuit, it is advantageous to use guarded micrometer electrodes. The effects of fringing, etc., are almost completely eliminated. When the electrodes and holder are well made, no capacitance calibration is necessary as the capacitance can be calculated from the electrode spacing and the diameter. The micrometer itself will require calibration, however. It is not practicable to use electrodes on the specimen when using guarded micrometer electrodes unless the specimen is smaller in diameter than the guarded electrode.

6.3.3 Fluid Displacement Methods—When the immersion medium is a liquid, and no guard is used, the parallel-plate system preferably shall be constructed so that the insulated high potential plate is supported between, parallel to, and equidistant from two parallel low-potential or grounded plates, the latter being the opposite inside walls of the test cell designed to hold the liquid. This construction makes the electrode system essentially self-shielding, but normally requires duplicate test specimens. Provision must be made for precise temperature measurement of the liquid (9, 10). Cells should be constructed of brass and gold plated. The high-potential electrode shall be removable for cleaning. The faces must be as nearly optically flat and plane parallel as possible. A suitable liquid cell for measurements up to 1 MHz is shown in Fig. 1 of Method D 1531. Changes in the dimensions of this cell may be made to provide for testing sheet specimens of various thicknesses or sizes, but, such changes should not reduce the capacitance of the cell filled with the standard liquid to less than 100 pF. For measurements at frequencies from 1 to about 50 MHz, the cell dimensions must be greatly reduced, and the leads must be as short and direct as possible. The capacitance

of the cell with liquid shall not exceed 30 or 40 pF for measurements at 50 MHz. Experience has shown that a capacitance of 10 pF can be used up to 100 MHz without loss of accuracy. Guarded parallel-plate electrodes have the advantage that single specimens can be measured with full accuracy. Also a prior knowledge of the permittivity of the liquid is not required as it can be measured directly (11). If the cell is constructed with a micrometer electrode, specimens having widely different thicknesses can be measured with high accuracy since the electrodes can be adjusted to a spacing only slightly greater than the thickness of the specimen. If the permittivity of the fluid approximates that of the specimen the effect of errors in determination of specimen thicknesses are minimized. The use of a nearly matching liquid and a micrometer cell permits high accuracy in measuring even very thin film.

All necessity for determining specimen thickness and electrode spacing is eliminated if successive measurements are made in two fluids of known permittivity (12, 13, 18). This method is not restricted to any frequency range; however, it is best to limit use of liquid immersion method to frequencies for which the dissipation factor of the liquid is less than 0.01 (preferably less than 0.0001 for low-loss specimens).

When using the two-fluid method it is important that both measurements be made on the same area of the specimen as the thickness may not be the same at all points. To ensure that the same area is tested both times and to facilitate the handling of thin films, specimen holders are convenient. The holder can be a U-shaped piece that will slide into grooves in the electrode cell. It is also necessary to control the temperature to at least 0.1°C. The cell may be provided with cooling coils for this purpose (13).

7. Choice of Apparatus and Methods for Measuring Capacitance and A-C Loss

7.1 Frequency Range—Methods for measuring capacitance and a-c loss can be divided into three groups: null methods, resonance methods, and deflection methods. The choice of a method for any particular case will depend primarily on the operating frequency. The resistive- or inductive-ratio-arm capacitance bridge in its various forms can be used over the frequency range from less than 1 Hz to a few

megahertz. For frequencies below 1 Hz, special methods and instruments are required. Parallel-T networks are used at the higher frequencies from 500 kHz to 30 MHz, since they partake of some of the characteristics of resonant circuits. Resonance methods are used over a frequency range from 50 kHz to several hundred megahertz. The deflection method, using commercial indicating meters, is employed only at power-line frequencies from 25 to 60 Hz, where the higher voltages required can easily be obtained.

7.2 Direct and Substitution Methods—In any direct method, the values of capacitance and ac loss are in terms of all the circuit elements used in the method, and are therefore subject to all their errors. Much greater accuracy can be obtained by a substitution method in which readings are taken with the unknown capacitor both connected and disconnected. The errors in those circuit elements that are unchanged are in general eliminated; however, a connection error remains (Note 2).

7.3 Two- and Three-Terminal Measurements—The choice between three-terminal and two-terminal measurements is generally one between accuracy and convenience. The use of a guard electrode on the dielectric specimen nearly eliminates the effect of edge and ground capacitance, as explained in 5.2. The provision of a guard terminal eliminates some of the errors introduced by the circuit elements. On the other hand, the extra circuit elements and shielding usually required to provide the guard terminal add considerably to the size of the measuring equipment, and the number of adjustments required to obtain the final result may be increased many times. Guard circuits for resistive-ratio-arm capacitance bridges are rarely used at frequencies above 1 MHz. Inductive-ratio-arm bridges provide a guard terminal without requiring extra circuits or adjustments. Parallel-T networks and resonant circuits are not provided with guard circuits. In the deflection method a guard can be provided merely by extra shielding. The use of a two-terminal micrometer-electrode system provides many of the advantages of three-terminal measurements by nearly eliminating the effect of edge and ground capacitances but may increase the number of observations or balancing adjustments. Its use also eliminates the errors caused by series inductance and resistance in

the connecting leads at the higher frequencies. It can be used over the entire frequency range to several hundred megahertz. When a guard is used, the possibility exists that the measured dissipation factor may be less than the true value. This is caused by resistance in the guard circuit at points between the guard point of the measuring circuit and the guard electrode. This may arise from high contact resistance, lead resistance, or from high resistance in the guard electrode itself. In extreme cases the dissipation factor may appear to be negative. This condition is most likely to exist when the dissipation factor without the guard is higher than normal due to surface leakage. Any point capacitively coupled to the measuring electrodes and resistively coupled to the guard point can be a source of difficulty. The common guard resistance produces an equivalent negative dissipation factor proportional to $C_A C_I R_g$, where C_A and C_I are guard-to-electrode capacitances and R_g is the guard resistance (14).

7.4 Fluid Displacement Methods—The fluid displacement method may be employed using either three-terminal or self-shielded, two-terminal cells. With the three-terminal cell the permittivity of the fluids used may be determined directly. The self-shielded, two-terminal cell provides many of the advantages of the three-terminal cell by nearly eliminating the effects of edge and ground capacitance, and it may be used with measuring circuits having no provision for a guard. If it is equipped with an integral micrometer electrode, the effects on the capacitance of series inductance in the connective leads at the higher frequencies may be eliminated.

7.5 Accuracy—The methods outlined in 7.1 contemplate an accuracy in the determination of permittivity of $\pm 1\%$ and of dissipation factor of $\pm (5\% + 0.0005)$. These accuracies depend upon at least three factors: the accuracy of the observations for capacitance and dissipation factor, the accuracy of the corrections to these quantities caused by the electrode arrangement used, and the accuracy of the calculation of the direct interelectrode vacuum capacitance. Under favorable conditions and at the lower frequencies, capacitance can be measured with an accuracy of $\pm (0.1\% + 0.02 \text{ pF})$ and dissipation factor with an accuracy of $\pm (2\% + 0.00005)$. At the higher frequencies these limits may increase for capacitance to $\pm (0.5\% + 0.1 \text{ pF})$

and for dissipation factor to $\pm (2\% + 0.0002)$. Measurements of dielectric specimens provided with a guard electrode are subject only to the error in capacitance and in the calculation of the direct interelectrode vacuum capacitance. The error caused by too wide a gap between the guarded and the guard electrodes will generally amount to several tenths percent, and the correction can be calculated to a few percent. The error in measuring the thickness of the specimen can amount to a few tenths percent for an average thickness of 2 mm, on the assumption that it can be measured to ± 0.005 mm. The diameter of a circular specimen can be measured to an accuracy of $\pm 0.1\%$, but enters as the square. Combining these errors, the direct interelectrode vacuum capacitance can be determined to an accuracy of $\pm 0.5\%$. Specimens with contact electrodes, measured with micrometer electrodes, have no corrections other than that for direct interelectrode capacitance, provided they are sufficiently smaller in diameter than the micrometer electrodes. When two-terminal specimens are measured in any other manner, the calculation of edge capacitance and determination of ground capacitance will involve considerable error, since each may be from 2 to 40% of the specimen capacitance. With the present knowledge of these capacitances, there may be a 10% error in calculating the edge capacitance and a 25% error in evaluating the ground capacitance. Hence the total error involved may be from several tenths to 10% or more. However, when neither electrode is grounded, the ground capacitance error is minimized (5.1). With micrometer electrodes, it is possible to measure dissipation factor of the order of 0.03 to within ± 0.0003 and dissipation factor of the order of 0.0002 to within ± 0.00005 , of the true values. The range of dissipation factor is normally 0.0001 to 0.1 but may be extended above 0.1. Between 10 and 20 MHz it is possible to detect a dissipation factor of 0.00002. Permittivity from 2 to 5 may be determined to $\pm 2\%$. The accuracy is limited by the accuracy of the measurements required in the calculation of direct interelectrode vacuum capacitance and by errors in the micrometer-electrode system.

8. Sampling

8.1 See materials specifications for instructions on sampling.

9. Procedure

9.1 Preparation of Specimens:

9.1.1 *General*—Cut or mold the test specimens to a suitable shape and thickness determined by the material specification being followed or by the accuracy of measurement required, the test method, and the frequency at which the measurements are to be made. Measure the thickness in accordance with the standard method required by the material being tested. If there is no standard for a particular material, then measure thickness in accordance with Methods D 374. The actual points of measurement shall be uniformly distributed over the area to be covered by the measuring electrodes. Apply suitable measuring electrodes to the specimens (Section 6) (unless the fluid displacement method will be used), the choice as to size and number depending mainly on whether three-terminal or two-terminal measurements are to be made and, if the latter, whether or not a micrometer-electrode system will be used (6.3). The material chosen for the specimen electrodes will depend both on convenience of application and on whether or not the specimen must be conditioned at high temperature and high relative humidity (Section 6): Obtain the dimensions of the electrodes (of the smaller if they are unequal) preferably by a traveling microscope, or by measuring with a steel scale graduated to 0.25 mm and a microscope of sufficient power to allow the scale to be read to the nearest 0.05 mm. Measure the diameter of a circular electrode, or the dimensions of a rectangular electrode, at several points to obtain an average.

9.1.2 *Micrometer Electrodes*—The area of the specimen may be equal to or less than the area of the electrodes, but no part of the specimen shall extend beyond the electrode edges. The edges of the specimens shall be smooth and perpendicular to the plane of the sheet and shall also be sharply defined so that the dimensions in the plane of the sheet may be determined to the nearest 0.025 mm. The thickness may have any value from 0.025 mm or less to about 6 mm or greater, depending upon the maximum usable plate spacing of the parallel plate electrode system. The specimens shall be as flat and uniform in thickness as possible and free of voids, inclusions of foreign matter, wrinkles, and other defects. It has been found that very thin specimens may be tested more

conveniently and accurately by using a composite of several or a large number of thicknesses. The average thickness of each specimen shall be determined as nearly as possible to within ± 0.0025 mm. In certain cases, notably for thin films and the like but usually excluding porous materials, it may be preferable to determine the average thickness by calculation from the known or measured density of the material, the area of the specimen face, and the mass of the specimen (or specimens, when tested in multiple thicknesses of the sheet), obtained by accurate weighing on an analytical balance.

9.1.3 Fluid Displacement—When the immersion medium is a liquid, the specimen may be larger than the electrodes if the permittivity of the standard liquid is within about 1 % of that of the specimen (see Method D 1531). Also, duplicate specimens will normally be required for a cell of the type described in 6.3.3, although it is possible to test a single specimen at a time in such cells. In any case, the thickness of the specimen preferably should not be less than about 80 % of the electrode spacing, this being particularly true when the dissipation factor of the material being tested is less than about 0.001.

9.1.4 Cleaning—Since it has been found that in the case of certain materials when tested without electrodes the results are affected erratically by the presence of conducting contaminants on the surfaces of the specimens, clean the test specimens by a suitable solvent or other means (as prescribed in the material specification) and allow to dry thoroughly before test (15). This is particularly important when tests are to be made in air at low frequencies (60 to 10 000 Hz), but is less important for measurements at radio frequencies. Cleaning of specimens will also reduce the tendency to contaminate the immersion medium in the case of tests performed using a liquid medium. Use Recommended Practice D 1371 as a guide to the choice of suitable cleaning procedures. After cleaning, handle the specimens only with tweezers and store in individual envelopes to preclude further contamination before testing.

9.2 Measurement—Place the test specimen with its attached electrodes in a suitable measuring cell, and measure its capacitance and a.c. loss by a method having the required sensitivity and accuracy. For routine work when the highest accuracy is not required, or when nei-

ther terminal of the specimen is grounded, it is not necessary to place the solid specimen in a test cell.

NOTE 2—The method used to connect the specimen to the measuring circuit is very important, especially for two-terminal measurements. The connection method by critical spacing, formerly recommended in Methods D 150 for parallel substitution measurements can cause a negative error of 0.5 pF. A similar error occurs when two-terminal specimens are measured in a cell used as a guard. Since no method for eliminating this error is presently known, when an error of this magnitude must be avoided, an alternative method must be used, that is, micrometer electrodes, fluid immersion cell, or three-terminal specimen with guarded leads.

NOTE 3—Detailed instructions for making the measurements needed to obtain capacitance and dissipation factor and for making any necessary corrections due to the measuring circuit are given in the instruction books supplied with commercial equipment. The following paragraphs are intended to furnish the additional instruction required.

9.2.1 Fixed Electrodes—Adjust the plate spacing accurately to a value suitable for the specimen to be tested. For low-loss materials in particular, the plate spacing and specimen thickness should be such that the specimen will occupy not less than about 80 % of the electrode gap. For tests in air, plate spacings less than about 0.1 mm are not recommended. When the electrode spacing is not adjustable to a suitable value, specimens of the proper thickness must be prepared. Measure the capacitance and dissipation factor of the cell, and then carefully insert and center the specimen between the electrodes of the micrometer electrodes or test cell. Repeat the measurements. For maximum accuracy determine ΔC and ΔD directly, if possible with the measuring equipment used. Record the test temperature.

9.2.2 Micrometer Electrodes—Micrometer electrodes are commonly used with the electrodes making contact with the specimen or its attached electrodes. To make a measurement first clamp the specimen between the micrometer electrodes, and balance or tune the network used for measurement. Then remove the specimen, and reset the electrodes to restore the total capacitance in the circuit or bridge arm to its original value by moving the micrometer electrodes closer together.

9.2.3 Fluid Displacement Methods—When a single liquid is used, fill the cell and measure the capacitance and dissipation factor. Carefully insert the specimen (or specimens if the

two-specimen cell is used) and center it. Repeat the measurements. For maximum accuracy determine ΔC and ΔD directly, if possible with the measuring equipment used. Record the test temperature to the nearest 0.01°C. Remove specimens promptly from the liquid to prevent swelling, and refill the cell to the proper level before proceeding to test additional specimens. Equations for calculation of results are given in Table 3. Method D 1531 describes in detail the application of this method to the measurement of polyethylene. When a guarded cell, preferably with micrometer electrode, is available, greater accuracy can be obtained by measuring the specimen in two fluids. This method also eliminates the need to know the specimen dimensions. The procedure is the same as before except for the use of two fluids having different permittivities (12, 13, 18). It is convenient to use air as the first fluid since this avoids the necessity for cleaning the specimen between measurements. The use of a guarded cell permits the determination of the permittivity of the liquid or liquids used (3.2). When either the one- or two-fluid method is used, greatest accuracy is possible when the permittivity of one liquid most nearly matches that of the specimen.

NOTE 4—When the two-fluid method is used, the dissipation factor can be obtained from either set of readings (most accurately from the set with the higher κ').

9.3 Calculation of Permittivity, Dissipation Factor, and Loss Index—The measuring circuits used will give, for the specimen being measured at a given frequency, a value of capacitance and of a-c loss expressed as Q , dissipation factor, or series or parallel resistance. When the permittivity is to be calculated from the observed capacitance values, these values must be converted to parallel capacitance, if not so expressed, by the use of Eq 5. The equations given in Table 2 can be used in calculating the capacitance of the specimen when micrometer electrodes are used. The equations given in Table 3 for the different electrode systems can be used in calculating permittivity and dissipation factor. When the parallel substitution method is used, the dissipation factor readings must be multiplied by

the ratio of the total circuit capacitance to the capacitance of the specimen or cell. Q' and series or parallel resistance also require calculation from the observed values. Permittivity is:

$$\kappa_r' = C_p/C_o \quad (11)$$

Expressions for the vacuum capacitance (5.4) for flat parallel plates and coaxial cylinders are given in Table 1. When the a-c loss is expressed as series resistance or parallel resistance or conductance, the dissipation factor may be calculated using the relations given in Eqs 3 and 4. Loss index is the product of dissipation factor and permittivity 3.4.

9.4 Corrections—The leads used to connect the specimen to the measuring circuit have both inductance and resistance which, at high frequencies, increase the measured capacitance and dissipation factor. When extra capacitance have been included in the measurements, such as edge capacitance, and ground capacitance, which may occur in two-terminal measurements, the observed parallel capacitance will be increased and the observed dissipation factor will be decreased. Corrections for these effects are given in Appendix XI and Table 1.

10. Report

10.1 The report shall include the following:

10.1.1 Description of the material tested; that is, the name, grade, color, manufacturer, and other pertinent data.

10.1.2 Shape and dimensions of the test specimen.

10.1.3 Type and dimensions of the electrodes and measuring cell.

10.1.4 Conditioning of the specimen, and test conditions.

10.1.5 Method of measurement and measurement circuit.

10.1.6 Applied voltage, effective voltage gradient, and frequency, and

10.1.7 Values of parallel capacitance, dissipation factor or power factor, permittivity, loss index, and estimated accuracy.

11. Precision and Accuracy

11.1 The precision and accuracy of this test method is currently in preparation.



Designation: D 257 - 78 (Reapproved 1983)¹

Standard Test Methods for D-C RESISTANCE OR CONDUCTANCE OF INSULATING MATERIALS¹

This standard is issued under the fixed designation D 257; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. Superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

These methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 4041 of Federal Standard 101 and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

NOTE—Paragraph 1.3 and editorial changes were made throughout in July 1983.

1. Scope

1.1 These test methods cover direct-current procedures for the determination of d-c insulation resistance, volume resistance, volume resistivity, surface resistance, and surface resistivity of electrical insulating materials, or the corresponding conductances and conductivities.

1.2 The test methods and procedures appear in the sections as follows:

Method or Procedure	Section
Applicable Documents	2
Calculation	13
Choice of Apparatus and Method	7
Cleaning Solid Specimens	10.1
Conditioning of Specimens	11
Definitions	5
Effective Area of Guarded Electrode	X2
Electrode Systems	6
Factors Affecting Insulation Resistance or Conductance Measurements	X1
Humidity Control	11.2
Liquid Specimens and Cells	9.4
Precision and Accuracy	15
Procedure for the Measurement of Resistance or Conductance	12
Report	14
Sampling	8
Significance	4
Specimen Mounting	10
Summary of Methods	3
Test Specimens for Insulation, Volume, and Surface Resistance or Conductance Determination	9
Typical Measurement Methods	X3

1.3 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and

establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. See 6.1.8.1.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation^{2,3}
- D 618 Methods of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²
- D 1169 Test Method for Specific Resistance (Resistivity) of Electrical Insulating Liquids⁴
- E 104 Recommended Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions⁵

3. Description of Terms Specific to This Standard

3.1 *insulation resistance, R_i* —the insulation resistance between two electrodes that are in contact with, or embedded in, a specimen, is the ratio of the direct voltage applied to the electrodes to the total current between them. It is dependent upon both the volume and surface resistances of the specimen.

3.2 *volume resistance, R_v* —the volume resist-

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-9 on Electrical Insulating Materials and are the direct responsibility of Subcommittee D09.12 on Electrical Tests.

Current edition approved July 28, 1978. Published September 1978. Originally issued as D 257-25 F. Last previous edition D 257-76.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.03.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

ance between two electrodes that are in contact with, or embedded in, a specimen, is the ratio of the direct voltage applied to the electrodes to that portion of the current between them that is distributed through the volume of the specimen.

3.3 *surface resistance, R_s* —the surface resistance between two electrodes that are on the surface of a specimen is the ratio of the direct voltage applied to the electrodes to that portion of the current between them which is primarily in a thin layer of moisture or other semiconducting material that may be deposited on the surface.

3.4 *volume resistivity, ρ_v* —the volume resistivity of a material is the ratio of the potential gradient parallel to the current in the material to the current density.

NOTE 1—In the metric system, volume resistivity of an electrical insulating material in ohm-cm is numerically equal to the volume resistance in ohms between opposite faces of a 1-cm cube of the material. (Volume resistivity in $\Omega \cdot m$ has a value of 1/100 of the value in $\Omega \cdot cm$.)

3.5 *surface resistivity, ρ_s* —the surface resistivity of a material is the ratio of the potential gradient parallel to the current along its surface to the current per unit width of the surface.

NOTE 2—Surface resistivity of a material is numerically equal to the surface resistance between two electrodes forming opposite sides of a square. The size of the square is immaterial.

4. Summary of Methods

4.1 The resistance or conductance of a material specimen or of a capacitor is determined from a measurement of current or of voltage drop under specified conditions. By using the appropriate electrode systems, surface and volume resistance or conductance may be measured separately. The resistivity or conductivity can then be calculated when the required specimen and electrode dimensions are known.

5. Significance and Use

5.1 Insulating materials are used to isolate components of an electrical system from each other and from ground, as well as to provide mechanical support for the components. For this purpose, it is generally desirable to have the insulation resistance as high as possible, consistent with acceptable mechanical, chemical, and heat-resisting properties. Since insulation resistance or conductance combines both volume and surface resistance or conductance, its measured

value is most useful when the test specimen and electrodes have the same form as is required in actual use. Surface resistance or conductance changes rapidly with humidity, while volume resistance or conductance changes slowly although the final change may eventually be greater.

5.2 Resistivity or conductivity may be used to predict, indirectly, the low-frequency dielectric breakdown and dissipation factor properties of some materials. Resistivity or conductivity is often used as an indirect measure of moisture content, degree of cure, mechanical continuity, and deterioration of various types. The usefulness of these indirect measurements is dependent on the degree of correlation established by supporting theoretical or experimental investigations. A decrease of surface resistance may result either in an increase of the dielectric breakdown voltage because the electric field intensity is reduced, or a decrease of the dielectric breakdown voltage because the area under stress is increased.

5.3 All the dielectric resistances or conductances depend on the length of time of electrification and on the value of applied voltage in addition to the usual environmental variables. These must be known to make the measured value of resistance or conductance meaningful.

5.4 Volume resistivity or conductivity can be used as an aid in designing an insulator for a specific application. The change of resistivity or conductivity with temperature and humidity may be great (1, 2, 3, 4),^a and must be known when designing for operating conditions. Volume resistivity or conductivity determinations are often used in checking the uniformity of an insulating material, either with regard to process or to detect conductive impurities that affect the quality of the material and that may not be readily detectable by other methods.

5.5 Volume resistivities above $10^{21} \Omega \cdot cm$ ($10^{19} \Omega \cdot m$), obtained on specimens under usual laboratory conditions, are of doubtful validity considering the limitations of commonly used measuring equipment.

5.6 Surface resistance or conductance cannot be measured accurately, only approximated, because more or less volume resistance or conductance is nearly always involved in the measurement. The measured value is largely a property of the contamination that happens to be on the

^a The boldface numbers in parentheses refer to the list references appended to these methods.

specimen at the time. However, the permeability of the specimen influences the deposition of contaminants and its surface characteristics affect the conductance of the contaminants. Surface resistivity or conductivity can be considered to be related to material properties when contamination is involved but is not a material property in the usual sense.

Electrode Systems

6.1 The electrodes for insulating materials should be of a material that is readily applied, allows intimate contact with the specimen surface, and introduces no appreciable error because of electrode resistance or contamination of the specimen (5). The electrode material should be corrosion-resistant under the conditions of test. For tests of fabricated specimens such as feed-through bushings, cables, etc., the electrodes employed are a part of the specimen or its mounting. Measurements of insulation resistance or conductance, when taken, include the contaminating effects of electrode or mounting materials and are generally related to the performance of the specimen in actual use.

6.1.1 *Binding-Post and Taper-Pin Electrodes*. Figs. 1 and 3, provide a means of applying voltage to rigid insulating materials to permit an evaluation of their resistive or conductive properties. These electrodes simulate to some degree the actual conditions of use, such as binding posts on instrument panels and terminal strips. In the case of laminated insulating materials having high-resin-content surfaces, somewhat lower insulation resistance values may be obtained with taper-pin than with binding posts, due to more intimate contact with the body of the insulating material. Resistance or conductance values obtained are highly influenced by the individual contact between each pin and the dielectric material, the surface roughness of the pins, and the smoothness of the hole in the dielectric material. Reproducibility of results on different specimens is difficult to obtain.

6.1.2 *Metal Bars* in the arrangement of Fig. 2 were primarily devised to evaluate the insulation resistance or conductance of flexible tapes and thin, solid specimens as a fairly simple and convenient means of electrical quality control. This arrangement is some-

what more satisfactory for obtaining approximate values of surface resistance or conductance when the width of the insulating material is much greater than its thickness.

6.1.3 *Silver Paint*. Figs. 4, 6, and 7, is available commercially with a high conductivity, either air-drying or low-temperature-baking varieties, which are sufficiently porous to permit diffusion of moisture through them and thereby allow the test specimen to be conditioned after the application of the electrodes. This is a particularly useful feature in studying resistance-humidity effects, as well as change with temperature. However, before conductive paint is used as an electrode material, it should be established that the solvent in the paint does not attack the material so as to change its electrical properties. Reasonably smooth edges of guard electrodes may be obtained with a fine-bristle brush. However, for circular electrodes, sharper edges can be obtained by the use of a ruling compass and silver paint for drawing the outline circles of the electrodes and filling in the enclosed areas by brush. A narrow strip masking tape may be used, provided the pressure-sensitive adhesive used does not contaminate the surface of the specimen. Clamp-on masks also may be used if the electrode paint is sprayed on.

6.1.4 *Sprayed Metal*. Figs. 4, 6, and 7, may be used if satisfactory adhesion to the test specimen can be obtained. Thin sprayed electrodes may have certain advantages in that they are ready for use as soon as applied. They may be sufficiently porous to allow the specimen to be conditioned, but this should be verified. Narrow strips of masking tape or clamp-on masks must be used to produce a gap between the guarded and the guard electrodes. The tape shall be such as not to contaminate the gap surface.

6.1.5 *Evaporated Metal* may be used under the same conditions given in 6.1.4.

6.1.6 *Metal Foil*, Fig. 4, may be applied to specimen surfaces as electrodes. The usual thickness of metal foil used for resistance or conductance studies of dielectrics ranges from 6 to 30 μm . Lead or tin foil is in most common use, and is usually attached to the test specimen by a minimum quantity of petrolatum, silicone grease, oil, or other suitable material, as an adhesive. Such electrodes shall be applied under a smoothing pressure suffi-

cient to eliminate all wrinkles, and to work excess adhesive toward the edge of the foil where it can be wiped off with a cleansing tissue. One very effective method is to use a hard narrow roller (10 to 15 mm wide), and to roll outward on the surface until no visible imprint can be made on the foil with the roller. This technique can be used satisfactorily only on specimens that have very flat surfaces. With care, the adhesive film can be reduced to 2.5 μm . As this film is in series with the specimen, it will always cause the measured resistance to be too high. This error may become excessive for the lower-resistivity specimens of thickness less than 250 μm . Also the hard roller can force sharp particles into or through thin films (50 μm). Foil electrodes are not porous and will not allow the test specimen to condition after the electrodes have been applied. The adhesive may lose its effectiveness at elevated temperatures necessitating the use of flat metal back-up plates under pressure. ~~It is possible, with the aid of a suitable cutting device, to cut a proper width strip from one electrode to form a guarded and guard electrode. Such a three-terminal specimen normally cannot be used for surface resistance or conductance measurements because of the grease remaining on the gap surface. It may be very difficult to clean the entire gap surface without disturbing the adjacent edges of the electrode.~~

6.1.7 *Colloidal Graphite*, Fig. 4, dispersed in water or other suitable vehicle, may be brushed on nonporous, sheet insulating materials to form an air-drying electrode. Masking tapes or clamp-on masks may be used (6.1.4). This electrode material is recommended only if all of the following conditions are met:

6.1.7.1 The material to be tested must accept a graphite coating that will not flake before testing,

6.1.7.2 The material being tested must not absorb water readily, and

6.1.7.3 Conditioning must be in a dry atmosphere (Procedure B, Methods D 618), and measurements made in this same atmosphere.

6.1.8 Mercury or other liquid metal electrodes give satisfactory results. Mercury is not recommended for continuous use or at elevated temperatures due to toxic effects. Cau-

tion—see 6.1.8.1. The metal forming upper electrodes should be confined by stainless steel rings, each of which should have its lower rim reduced to a sharp edge by beveling on the side away from the liquid metal. Figure 5 shows two electrode arrangements.

6.1.8.1 *Caution*—Mercury metal vapor poisoning has long been recognized as a hazard in industry. The maximum exposure limits are set by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists⁷. The concentration of mercury vapor over spills from broken thermometers, barometers, or other instruments using mercury can easily exceed these exposure limits. Mercury, being a liquid and quite heavy, will disintegrate into small droplets and seep into cracks and crevices in the floor. The use of a commercially available emergency spill kit is recommended whenever a spill occurs. The increased area of exposure adds significantly to the mercury vapor concentration in air. Mercury vapor concentration is easily monitored using commercially available sniffers. Spot checks should be made periodically around operations where mercury is exposed to the atmosphere. Thorough checks should be made after spills.

6.1.9 *Flat Metal Plates*, Fig. 4, (preferably guarded) may be used for testing flexible and compressible materials, both at room temperature and at elevated temperatures. They may be circular or rectangular (for tapes). To ensure intimate contact with the specimen, considerable pressure is usually required. Pressures of 140 to 700 kPa have been found satisfactory (see material specifications).

6.1.10 *Conducting Rubber* has been used as electrode material, as in Fig. 4, and has the advantage that it can quickly and easily be applied and removed from the specimen. As the electrodes are applied only during the time of measurement, they do not interfere with the conditioning of the specimen. The conductive-rubber material must be backed by proper plates and be soft enough so that effective contact with the specimen is obtained when a reasonable pressure is applied.

NOTE 3—There is evidence that values of conductivity obtained using conductive-rubber electrodes are always smaller (20 to 70 %) than values obtained with tinfoil electrodes (6). When only order-of-magnitude accuracies are required, and

⁷American Conference of Governmental and Industrial Hygienists, P.O. 1937, Cincinnati, OH, 45201.

direct voltage is required (see X1.7.3). Batteries or other stable direct voltage supplies may be used.

7.2 *Direct Measurements*—The current through a specimen at a fixed voltage may be measured using any equipment that has the required sensitivity and accuracy ($\pm 10\%$ is usually adequate). Current-measuring devices available include electrometers, d-c amplifiers with indicating meters, and galvanometers. Typical methods and circuits are given in Appendix X3. When the measuring device scale is calibrated to read ohms directly no calculations are required.

7.3 *Comparison Methods*—A Wheatstone-bridge circuit may be used to compare the resistance of the specimen with that of a standard resistor (see Appendix X3).

7.4 *Precision and Bias Considerations*—

required to make the reading at a particular time. The Wheatstone bridge (Fig. X4) and the potentiometer method (Fig. X2(b)) require the undivided attention of the operator in keeping a balance, but allow the setting at a particular time to be read at leisure.

7.4.2 *Direct Measurements*:

7.4.2.1 *Galvanometer-Voltmeter*—The maximum percentage error in the measurement of resistance by the galvanometer-voltmeter method is the sum of the percentage errors of galvanometer indication, galvanometer readability, and voltmeter indication. As an example: a galvanometer having a sensitivity of 500 pA/scale division will be deflected 25 divisions with 500 V applied to a resistance of 40 G Ω (conductance of 25 pS). If the deflection can be read to the nearest 0.5 division, and the calibration error (including Ayrton Shunt error) is $\pm 2\%$ of the observed value, the resultant galvanometer error will not exceed $\pm 4\%$. If the voltmeter has an

contact errors can be neglected, a properly designed set of conductive-rubber electrodes can provide a rapid means for making conductivity and resistivity determinations.

6.1.11 *Water* is widely employed as one electrode in testing insulation on wires and cables. Both ends of the specimen must be out of the water and of such length that leakage along the insulation is negligible. Guard rings may be necessary at each end. It may be desirable to add a small amount of sodium chloride to the water to ensure high conductivity. Measurements may be performed at temperatures up to about 100°C.

7. Choice of Apparatus and Method

7.1 *Power Supply*—A source of very steady direct voltage is required (see X1.7.3). Batteries or other stable direct voltage supplies may be used.

7.2 *Direct Measurements*—The current through a specimen at a fixed voltage may be measured using any equipment that has the required sensitivity and accuracy ($\pm 10\%$ is usually adequate). Current-measuring devices available include electrometers, d-c amplifiers with indicating meters, and galvanometers. Typical methods and circuits are given in Appendix X3. When the measuring device scale is calibrated to read ohms directly no calculations are required.

7.3 *Comparison Methods*—A Wheatstone-bridge circuit may be used to compare the resistance of the specimen with that of a standard resistor (see Appendix X3).

7.4 Precision and Bias Considerations:

7.4.1 *General*—As a guide in the choice of apparatus, the pertinent considerations are summarized in Table 1, but it is not implied that the examples enumerated are the only ones applicable. This table is not intended to indicate the limits of sensitivity and error of the various methods *per se*, but rather is intended to indicate limits that are distinctly possible with modern apparatus. In any case, such limits can be achieved or exceeded only through careful selection and combination of the apparatus employed. It must be emphasized, however, that the errors considered are those of instrumentation only. Errors such as those discussed in Appendix X1 are an entirely different matter. In this latter connection, the last column of Table 1 lists the

resistance that is shunted by the insulation resistance between the guarded electrode and the guard system for the various methods. In general, the lower such resistance, the less probability of error from undue shunting.

NOTE 4—No matter what measurement method is employed, the highest precisions are achieved only with careful evaluation of all sources of error. It is possible either to set up any of these methods from the component parts, or to acquire a completely integrated apparatus. In general, the methods using high-sensitivity galvanometers require a more permanent installation than those using indicating meters or recorders. The methods using indicating devices such as voltmeters, galvanometers, d-c amplifiers, and electrometers require the minimum of manual adjustment and are easy to read but the operator is required to make the reading at a particular time. The Wheatstone bridge (Fig. X4) and the potentiometer method (Fig. X2(b)) require the undivided attention of the operator in keeping a balance, but allow the setting at a particular time to be read at leisure.

7.4.2 Direct Measurements:

7.4.2.1 *Galvanometer-Voltmeter*—The maximum percentage error in the measurement of resistance by the galvanometer-voltmeter method is the sum of the percentage errors of galvanometer indication, galvanometer readability, and voltmeter indication. As an example: a galvanometer having a sensitivity of 500 pA/scale division will be deflected 25 divisions with 500 V applied to a resistance of 40 G Ω (conductance of 25 pS). If the deflection can be read to the nearest 0.5 division, and the calibration error (including Ayrton Shunt error) is $\pm 2\%$ of the observed value, the resultant galvanometer error will not exceed $\pm 4\%$. If the voltmeter has an error of $\pm 2\%$ of full scale, this resistance can be measured with a maximum error of $\pm 6\%$ when the voltmeter reads full scale, and $\pm 10\%$ when it reads one third full scale. The desirability of readings near full scale are readily apparent.

7.4.2.2 *Voltmeter-Ammeter*—The maximum percentage error in the computed value is the sum of the percentage errors in the voltages, V_x and V_s , and the resistance, R_s . The errors in V_x and R_s are generally dependent more on the characteristics of the apparatus used than on the particular method. The most significant factors that determine the errors in V_x are indicator errors, amplifier zero drift, and amplifier gain stability. With modern, well-designed amplifiers or electrometers, gain stability is usually not a matter

of concern. With existing techniques, the zero drift of direct voltage amplifiers or electrometers cannot be eliminated but it can be made slow enough to be relatively insignificant for these measurements. The zero drift is virtually nonexistent for carefully designed converter-type amplifiers. Consequently, the null method of Fig. X1.2(b) is theoretically less subject to error than those methods employing an indicating instrument, provided, however, that the potentiometer voltage is accurately known. The error in R_x is to some extent dependent on the amplifier sensitivity. For measurement of a given current, the higher the amplifier sensitivity, the greater likelihood that lower valued, highly precise wire-wound standard resistors can be used. Such amplifiers can be obtained. Standard resistances of 100 G Ω known to $\pm 2\%$, are available. If 10-mV input to the amplifier or electrometer gives full-scale deflection with an error not greater than 2% of full scale, with 500 V applied, a resistance of 5000 T Ω can be measured with a maximum error of 6% when the voltmeter reads full scale, and 10% when it reads $1/2$ scale.

7.4.2.3 *Comparison Galvanometer*—The maximum percentage error in the computed resistance or conductance is given by the sum of the percentage errors in R_x , the galvanometer deflections or amplifier readings, and the assumption that the current sensitivities are independent of the deflections. The latter assumption is correct to well within $\pm 2\%$ over the useful range (above $1/10$ full-scale deflection) of a good, modern galvanometer (probably $1/3$ scale deflection for a d-c current amplifier). The error in R_x depends on the type of resistor used, but resistances of 1 M Ω with a limit of error as low as 0.1% are available. With a galvanometer or d-c current amplifier having a sensitivity of 10 nA for full-scale deflection, 500 V applied to a resistance of 5 T Ω will produce a 1% deflection. At this voltage, with the above noted standard resistor, and with $F_v = 10^5$, d_x would be about half of full-scale deflection, with a readability error not more than $\pm 1\%$. If d_x is approximately $1/4$ of full-scale deflection, the readability error would not exceed $\pm 4\%$, and a resistance of the order of 200 G Ω could be measured with a maximum error of $\pm 5\frac{1}{2}\%$.

7.4.2.4 *Voltage Rate-of-Change*—The accuracy of the measurement is directly propor-

tional to the accuracy of the measurement of applied voltage and time rate of change of the electrometer reading. The length of time that the electrometer switch is open and the scale used should be such that the time can be measured accurately and a full-scale reading obtained. Under these conditions, the accuracy will be comparable with that of the other methods of measuring current.

7.4.2.5 *Comparison Bridge*—When the detector has adequate sensitivity, the maximum percentage error in the computed resistance is the sum of the percentage errors in the arms, A , B , and N . With a detector sensitivity of 1 mV/scale division, 500 V applied to the bridge, and $R_N = 1$ G Ω , a resistance of 1000 T Ω will produce a detector deflection of one scale division. Assuming negligible errors in R_A and R_B , with $R_N = 1$ G Ω known to within $\pm 2\%$ and with the bridge balanced to one detector-scale division, a resistance of 100 T Ω can be measured with a maximum error of $\pm 6\%$.

8. Sampling

8.1 Refer to applicable materials specifications for sampling instructions.

9. Test Specimens

9.1 Insulation Resistance or Conductance Determination:

9.1.1 The measurement is of greatest value when the specimen has the form, electrode, and mounting required in actual use. Bushings, cables, and capacitors are typical examples for which the test electrodes are a part of the specimen and its normal mounting means.

9.1.2 For solid materials, the test specimen may be of any practical form. The specimen forms most commonly used are flat plates, tapes, rods, and tubes. The electrode arrangements of Fig. 3 may be used for flat plates, rods, or rigid tubes whose inner diameter is about 20 mm or more. The electrode arrangement of Fig. 2 may be used for strips of sheet material or for flexible tape. For rigid strip specimens the metal support may not be required. The electrode arrangements of Fig. 2 may be used for flat plates, rods, or tubes. Comparison of materials when using different electrode arrangements is frequently inconclusive and should be avoided.

9.2 Volume Resistance or Conductance Determination:

9.2.1 The test specimen may have any practical form that allows the use of a third electrode, when necessary, to guard against error from surface effects. Test specimens may be in the form of flat plates, tapes, or tubes. Figures 4 and 5 illustrate the application and arrangement of electrodes for plate or sheet specimens. Figure 6 is a diametral cross section of three electrodes applied to a tubular specimen, in which electrode No. 1 is the guarded electrode, electrode No. 2 is a guard electrode consisting of a ring at each end of electrode No. 1, and electrode No. 3 is the unguarded electrode (7, 8). For materials that have negligible surface leakage, the guard rings may be omitted. Convenient and generally suitable dimensions applicable to Fig. 4 in the case of test specimens that are 3 mm in thickness are as follows: $D_1 = 100$ mm, $D_2 = 88$ mm, and $D_3 = 76$ mm, or alternatively, $D_1 = 50$ mm, $D_2 = 38$ mm, and $D_3 = 25$ mm. For a given sensitivity, the larger specimen allows more accurate measurements on materials of higher resistivity.

9.2.2 Measure the average thickness of the specimens in accordance with one of the methods in Test Methods D 374 pertaining to the material being tested. The actual points of measurement shall be uniformly distributed over the area to be covered by the measuring electrodes.

9.2.3 It is not necessary that the electrodes have the circular symmetry shown in Fig. 4 although this is generally convenient. The guarded electrode (No. 1) may be circular, square, or rectangular, allowing ready computation of the guarded electrode area for volume resistivity or conductivity determination when such is desired. The diameter of a circular electrode, the side of a square, or the shortest side of a rectangular electrode, should be at least four times the specimen thickness. The gap width should be great enough so that the surface leakage between electrodes No. 1 and No. 2 does not cause an error in the measurement (this is particularly important for high-input-impedance instruments, such as electrometers). If the gap is made equal to twice the specimen thickness, as suggested in 9.3.3, so that the specimen can be used also for surface resistance or conductance determinations, the effective

area of electrode No. 1 can be taken, usually with sufficient accuracy, as extending to the center of the gap. If, under special conditions, it becomes desirable to determine a more accurate value for the effective area of electrode No. 1, the correction for the gap width can be obtained from Appendix N2. Electrode No. 3 may have any shape provided that it extends at all points beyond the inner edge of electrode No. 2 by at least twice the specimen thickness.

9.2.4 For tubular specimens, electrode No. 1 should encircle the outside of the specimen and its axial length should be at least four times the specimen wall thickness. Considerations regarding the gap width are the same as those given in 9.2.3. Electrode No. 2 consists of an encircling electrode at each end of the tube, the two parts being electrically connected by external means. The axial length of each of these parts should be at least twice the wall thickness of the specimen. Electrode No. 3 must cover the inside surface of the specimen for an axial length extending beyond the outside gap edges by at least twice the wall thickness. The tubular specimen (Fig. 6) may take the form of an insulated wire or cable. If the length of electrode is more than 100 times the thickness of the insulation, the effects of the ends of the guarded electrode become negligible, and careful spacing of the guard electrodes is not required. Thus, the gap between electrodes No. 1 and No. 2 may be several centimetres to permit sufficient surface resistance between these electrodes when water is used as electrode No. 1. In this case, no correction is made for the gap width.

9.3 Surface Resistance or Conductance Determination:

9.3.1 The test specimen may be of any practical form consistent with the particular objective, such as flat plates, tapes, or tubes.

9.3.2 The arrangements of Figs. 2 and 3 were devised for those cases where the volume resistance is known to be high relative to that of the surface (2). However, the combination of molded and machined surfaces makes the result obtained generally inconclusive for rigid strip specimens. The arrangement of Fig. 2 is somewhat more satisfactory when applied to specimens for which the width is much greater than the thickness, the cut edge effect thus tending to become rela-

tively small. Hence, this arrangement is more suitable for testing thin specimens such as tape, than for testing relatively thicker specimens. The arrangements of Figs. 2 and 3 should never be used for resistance or conductance determinations without due considerations of the limitations noted above.

9.3.3 The three electrode arrangements of Figs. 4, 5, and 6 may be used for purposes of material comparison. The resistance or conductance or the surface gap between electrodes No. 1 and No. 2 is determined directly by using electrode No. 1 as the guarded electrode, electrode No. 3 as the guard electrode, and electrode No. 2 as the unguarded electrode (7, 8). The resistance or conductance so determined is actually the resultant of the surface resistance or conductance between electrodes No. 1 and No. 2 in parallel with some volume resistance or conductance between the same two electrodes. For this arrangement the surface gap width, g , should be approximately twice the specimen thickness, t , except for thin specimens, where g may be much greater than twice the material thickness.

9.3.4 Special techniques and electrode dimensions may be required for very thin specimens having such a low volume resistivity that the resultant low resistance between the guarded electrode and the guard system would cause excessive error.

9.4 *Liquid Insulation Resistance*—The sampling of liquid insulating materials, the test cells employed, and the methods of cleaning the cells shall be in accordance with Test Method D 1169.

10. Specimen Mounting

10.1 In mounting the specimens for measurements, it is important that there shall be no conductive paths between the electrodes or between the measuring electrodes and ground that will have a significant effect on the reading of the measuring instrument (9). Insulating surfaces should not be handled with bare fingers (acetate rayon gloves are recommended). For referee tests of volume resistivity or conductivity, the surfaces should be cleaned with a suitable solvent before conditioning. When surface resistance is to be measured, the surfaces should be cleaned or not cleaned as specified or agreed upon.

11. Conditioning

11.1 The specimens shall be conditioned in accordance with Methods D 618.

11.2 Circulating-air environmental chambers or the methods described in Recommended Practice E 104 may be used for controlling the relative humidity.

12. Procedure

12.1 *Insulation Resistance or Conductance*—Properly mount the specimen in the test chamber. If the test chamber and the conditioning chamber are the same (recommended procedure), the specimens should be mounted before the conditioning is started. Make the measurement with a suitable device having the required sensitivity and accuracy (see Appendix X3). Unless otherwise specified, the time of electrification shall be 60 s and the applied direct voltage shall be 500 ± 5 V.

12.2 *Volume Resistivity or Conductivity*—Measure the dimensions of the electrodes and width of guard gap, g . Make the measurement with a suitable device having the required sensitivity and accuracy. Unless otherwise specified, the time of electrification shall be 60 s, and the applied direct voltage shall be 500 ± 5 V.

12.3 *Surface Resistance or Conductance:*

12.3.1 Measure the electrode dimensions and the distance between the electrodes, g . Measure the surface resistance or conductance between electrodes No. 1 and 2 with a suitable device having the required sensitivity and accuracy. Unless otherwise specified, the time of electrification shall be 60 s, and the applied direct voltage shall be 500 ± 5 V.

12.3.2 When the electrode arrangement of Fig. 2 is used, P is taken as the perimeter of the cross section of the specimen. For thin specimens, such as tapes, this perimeter effectively reduces to twice the specimen width.

12.3.3 When the electrode arrangements of Fig. 7 are used (and the volume resistance is known to be high compared to the surface resistance), P is taken to be the length of the electrodes or circumference of the cylinders.

13. Calculation

13.1 Calculate the volume resistivity, ρ_v , and the volume conductivity, γ_v , using the equations in Table 2.

13.2 Calculate the surface resistivity, ρ_s , and the surface conductivity, γ_s , using the equations in Table 2.

14. Report

14.1 The report shall include at least the following:

14.1.1. A description and identification of the material (name, grade, color, manufacturer, etc.).

14.1.2 Shape and dimensions of the test specimen.

14.1.3 Type and dimensions of electrodes.

14.1.4 Conditioning of the specimen (cleaning, prewiring, hours at humidity and temperature, etc.).

14.1.5 Test conditions (specimen temperature, relative humidity, etc., at time of measurement).

14.1.6 Method of measurement (see Appendix X3).

14.1.7 Applied voltage.

14.1.3 Time of electrification of measurement.

14.1.9 Measured values of the appropriate resistances in ohms or conductances in siemens.

14.1.10 Computed values when required of volume resistivity in ohm-centimetres, volume conductivity in siemens per centimetre, surface resistivity in ohms (per square), or surface conductivity in siemens (per square), and

14.1.11 Statement as to whether the reported values are "apparent" or "steady-state."

15. Precision and Bias

15.1 Precision and bias are inherently affected by the choice of method, apparatus, and specimen. For analysis and details see Sections 7 and 9, and particularly 7.4.1 through 7.4.2.5.

REFERENCES

- (1) Curtis, H. L., "Insulating Properties of Solid Dielectric," *Bullenn. Nat. Bureau Standards*, Vol 11, 1915, Scientific Paper No. 234, pp. 369-417.
- (2) Field, R. F., "How Humidity Affects Insulation. Part I, D-C Phenomena," *General Radio Experimenter*, Vol 20, Nos. 2 and 3, July-August, 1945.
- (3) Field, R. F., "The Formation of Ionized Water Films on Dielectrics Under Conditions of High Humidity," *Journal of Applied Physics*, Vol 5, May, 1946.
- (4) Herou, R., and LaCoste, R., "Sur La Méasure Des Resistivités et L'Etude de Conditionnement des Isolantes en Feuilles," Report IEC 15-GT, (France) 4 April, 1963.
- (5) Thompson, B. H., and Mathes, K. N., "Electrolytic Corrosion—Methods of Evaluating Materials Used in Tropical Service," *Transactions, Am. Inst. Electrical Engrs.*, Vol 64, June, 1945, p. 287.
- (6) Scott, A. H., "Anomalous Conductance Behavior in Polymers," Report of the 1965 Conference on Electrical Insulation, NRC-NAS.
- (7) Amey, W. G., and Hamberger, F. Jr., "A Method for Evaluating the Surface and Volume Resistance Characteristics of Solid Dielectric Materials," *Proceedings, Am. Soc. Testing Mats.*, Vol 49, 1949, pp. 1079-1091.
- (8) Witt, R. K., Chapman, J. J., and Raskin, B. L., "Measuring of Surface and Volume Resistance," *Modern Plastics*, Vol 24, No. 8, April, 1947, p. 152.
- (9) Scott, A. H., "Insulation Resistance Measurements," Fourth Electrical Insulation Conference, Washington, D.C., Feb. 19-22, 1962.
- (10) Kline, G. M., Martin, A. R., and Crouse, W. A., "Sorption of Water by Plastics," *Proceedings, Am. Soc. Testing Mats.*, Vol 40, 1940, pp. 1273-1282.
- (11) Greenfield, E. W., "Insulation Resistance Measurements," *Electrical Engineering*, Vol 66, July, 1947, pp. 698-703.
- (12) Cole, K. S., and Cole, R. H., "Dispersion and Absorption in Dielectrics. II Direct Current Characteristics," *Journal of Chemical Physics*, Vol 10, 1942.
- (13) Field, R. F., "Interpretation of Current-Time Curves as Applied to Insulation Testing," AIEE Boston District Meeting, April 19-20, 1944.
- (14) Lauritzen, J. I., "The Effective Area of a Guarded Electrode," *Annual Report, Conference on Electrical Insulation, NAS-NRC Publication 1141*, 1963.
- (15) Turner, E. F., Brancato, E. L., and Price, W., "The Measurement of Insulation Conductivity," *NRL Report 5060*, Naval Research Laboratory, Feb. 25, 1958.
- (16) Dorcas, D. S., and Scott, R. N., "Instrumentation for Measuring the D-C Conductivity of Very High Resistivity Materials," *Review of Scientific Instruments*, Vol 35, No. 9, Sept. 1964.
- (17) Endicott, H. S., "Insulation Resistance, Absorption, and Their Measurement," *Annual Report, Conference on Electrical Insulation, NAS-NRC Publication*, 1958.
- (18) Occhini, E. and Maschio, G., "Electrical Characteristics of Oil-Impregnated Paper as Insulation for HV-DC Cables," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol PAS-86, No. 3- March 1967.
- (19) Endicott, H. S., "Guard-Gap Correction for



Standard Specification for POLY(VINYL CHLORIDE) JACKET FOR WIRE AND CABLE¹

This standard is issued under the fixed designation D 1047, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This specification covers a durable general-purpose thermoplastic jacket made from poly(vinyl chloride) or the copolymer of vinyl chloride and vinyl acetate suitable for a minimum installing temperature of -10°C .

2. Applicable Document

2.1 *ASTM Standard:*
D 2633 Methods of Testing Thermoplastic Insulations and Jackets for Wire and Cable²

3. Physical Properties

3.1 The jacket shall conform to the requirements for physical properties prescribed in Table 1.

3.2 When used on single-conductor non-shielded cable rated 2001 to 5000 V phase to phase, the jacket shall also conform to the requirements for surface resistivity and U-bend discharge in Table 2.

4. Sampling and Test Methods

4.1 Sample and test the jacket in accordance with Methods D 2633.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D-9 on Electrical Insulating Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D09.18 on Elastomeric Insulation on Cables.

Current edition approved Nov. 28, 1983. Published January 1984. Originally published as D 1047 - 49. Last previous edition D 1047 - 79.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.02.

TABLE 1 Requirements for Poly(Vinyl Chloride) Jacket^a

Physical Requirements:	
Tensile strength, min, psi (MPa)	1500 (10.3)
Elongation at rupture, min, %	100
Aging Requirements:	
After Air Oven Aging Test at $100 \pm 1^{\circ}\text{C}$ for 5 days:	
Tensile strength, min, % of unaged value	85
Elongation at rupture, min, % of unaged value	60
After Oil Immersion Test at $70 \pm 1^{\circ}\text{C}$ for 4 h:	
Tensile strength, min, % of unaged value	80
Elongation at rupture, min, % of unaged value	60
Heat distortion, $121 \pm 1^{\circ}\text{C}$, max, %	50
Heat shock, $121 \pm 1^{\circ}\text{C}$	no cracks
Cold bend, $-35 \pm 1^{\circ}\text{C}$	no cracks

^a The values specified are applicable only to jacket having a nominal wall thickness of 30 mils (0.76 mm) or greater.

TABLE 2 Requirements for Specific Surface Resistivity and U-Bend Discharge

Surface resistivity, min, M Ω	200 000
U-bend discharge at the required cable insulation a-c test voltage	no cable failures or cracks in the jacket

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.



Designation: D 1248 - 81a

Standard Specification for POLYETHYLENE PLASTICS MOLDING AND EXTRUSION MATERIALS¹

This standard is issued under the fixed designation D 1248; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This specification provides for the identification of polyethylene plastics molding and extrusion materials in such manner that the seller and the purchaser can agree on the acceptability of different commercial lots or shipments. The tests involved in this specification are intended to provide information for identifying materials according to the types, classes, categories, and grades covered. It is not the function of this specification to provide specific engineering data for design purposes.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 150 Test Methods for A-C Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulating Materials²
- D 257 Test Methods for D-C Resistance or Conductance of Insulating Materials²
- D 618 Method of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²
- D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics⁴
- D 746 Test Method for Brittleness Temperature of Plastics and Elastomers by Impact²
- D 792 Test Methods for Specific Gravity and Density of Plastics by Displacement²
- D 1238 Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer²
- D 1505 Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique²
- D 1531 Test Method for Relative Permittivity (Dielectric Constant) and Dissipation Factor

of Polyethylene by Liquid Displacement Procedure³

- D 1603 Test Method for Carbon Black in Olefin Plastics⁴
- D 1693 Test Method for Environmental Stress-Cracking of Ethylene Plastics⁴
- D 1898 Recommended Practice for Sampling of Plastics⁴
- D 1921 Test Method for Particle Size (Sieve Analysis) of Plastic Materials⁴
- D 1928 Method for Preparation of Compression-Molded Test Sheets and Test Specimens⁴
- D 2951 Test Method for Thermal Stress-Cracking Resistance of Types III and IV Polyethylene Plastics⁴
- D 3182 Recommended Practice for Rubber—Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets⁵
- D 3349 Test Method for Absorption Coefficient of Carbon Black Pigmented Ethylene Plastic Film⁶
- D 3892 Practice for Packaging/Packing of Plastics⁹

3. Classification

3.1 This specification recognizes that poly-

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.12 on Olefin Plastics.

Current edition approved June 26 and Aug. 31, 1981. Published October 1981. Originally published as D 1248 - 52. Last previous edition D 1248 - 78.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vols 10.02 and 10.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.03.



ethylene plastics are identified primarily on the basis of two characteristics, namely, density and flow rate (previously identified as melt index). The former is the criterion for assignment as to type, the latter for designation as to category. Other attributes important to the user for certain applications are covered by three general classes and by specifying in greater detail, by grades, a minimum number of key characteristics covered too broadly or not at all by the type, class, and category designations.

3.1.1 Types:

3.1.1.1 This specification provides for the identification of four types of polyethylene plastics molding and extrusion materials by density in accordance with 10.1 and 11.1.3 and the requirements prescribed in Table 1 (Notes 1, 2, 3, and 9).

NOTE 1—The addition of a Type O density below 0.910 may be expected later when such appear as commercial molding and extrusion polyethylene plastics.

NOTE 2—It is recognized that some high-density polyethylene plastics of very high molecular weight may have densities slightly less than 0.960 yet in all other respects they are characteristic of Type IV materials. Similarly, there are other polyethylene plastics of very high molecular weight having densities slightly less than 0.941 which in all other respects are more characteristic of Type III than of Type II materials.

NOTE 3—It has been a long-standing practice to use the following terms in describing polyethylene plastics:

Type I (0.910 to 0.925) = Low Density

Type II (0.926 to 0.940) = Medium Density

Type III (0.941 to 0.965) = High Density

While Type III now has been divided into two ranges of density (Types III and IV) both are still described by the term "High Density."

3.1.1.2 Material supplied under these types shall be of such nominal density, within the ranges given, as agreed between the manufacturer and the purchaser subject to the tolerances specified in 3.1.1.3 (Note 9).

3.1.1.3 In view of production, sampling, and testing variables, a commercial lot or shipment for which a nominal density has been agreed upon between the seller and the purchaser shall be considered as conforming and commercially acceptable when the density value found on a sample from the lot or shipment falls within the tolerance range of ± 0.002 of the nominal value.

3.1.1.4 If the nominal value is unknown or unspecified, classification shall be based on the

tested value without tolerance consideration.

3.1.2 Classes—Each of the four types is subdivided into three classes according to composition and use as follows:

3.1.2.1 Class A—Natural color only (general-purpose and dielectric), without any or with such antioxidant or other additives in such proportions as agreed upon between the seller and the purchaser.

3.1.2.2 Class B—Colors including white and black (general-purpose and dielectric), without any or with such antioxidant or other additives in such proportions as agreed between the manufacturer and the purchaser.

3.1.2.3 Class C—Black (weather-resistant), containing not less than 2% carbon black of a kind and particle size (Note 4), dispersed by such means and to such degree, all as may be agreed upon between the seller and the purchaser, without any or with such antioxidant or other additives in such proportions as agreed upon between the seller and the purchaser.

NOTE 4—Carbon black 20 nm or less in average particle diameter is used as required in black electrical and jacketing materials (Grades E and J) to impart maximum weather resistance.

3.1.3 Categories:

3.1.3.1 The three classes of each type are divided into five categories on the basis of broad ranges of flow rate in accordance with the requirements prescribed in Table 2.

NOTE 5—Some Type II and Type III polyethylene plastics of very high molecular weight cannot be categorized by flow rate. Solution viscosity is recommended as a means of distinguishing such materials.

3.1.3.2 Material supplied under these categories shall be of such nominal flow rate, within the ranges given, as agreed upon between the seller and the purchaser subject to the tolerances specified in 3.1.3.3.

3.1.3.3 In view of production, sampling, and testing variables, a commercial lot or shipment for which a nominal flow rate has been agreed upon between the seller and the purchaser shall be considered as conforming and commercially acceptable when the flow rate value found on a sample from the lot or shipment falls within the tolerance range of $\pm 30\%$ for nominal flow rate values below 1.0 and $\pm 20\%$ for nominal flow rate values of 1.0 or greater.

3.1.3.4 If the nominal value is unknown or unspecified, classification shall be based on the

tested value without tolerance consideration.

3.1.4 Grades.

3.1.4.1 If further definition is necessary, one of the grades given in Table 3 and Tables 4a, 4b, and 4c shall be selected.

NOTE 6—Tables 4a, 4b, and 4c are included to correspond with the grades specified in Federal Specification LP-390-C.

NOTE 7—The grade shall be associated with the appropriate type, class, and category designations; for example, LA5-E4 or ICS-J3 as required. Other grades may be added as necessary by revision of this specification in established manner. Also, it is anticipated that additional requirements may be added under a given grade designation by future revision to provide more meaningful characterization of the material covered by such designation.

NOTE 8—To cross-reference terminology used in previous issues of D 1248 with each other and with the present issue the following table is given:

Term		
Year	Grade	Category
1963 T	Table II lists property values by grade within a density type	No term
1965	MI ranges 1 to 5	Table 3 lists wire, cable, and pipe resins by property values MI ranges 1 to 5
1968	Table 3 lists wire, cable, and pipe resins by property values	MI ranges 1 to 5
1969	Same as 1968 except that a Type IV density has been added	

3.1.4.2 Instead of such selection, additional requirements specific to the application may be specified by the purchaser with the agreement of the seller.

4. Definition

4.1 polyethylene plastics—as defined by this specification, plastics or resins prepared by the polymerization of no less than 85 % ethylene and no less than 95 weight % of total olefins.

5. Basis of Purchase

5.1 The purchase order or inquiry for these materials shall state the specification number, type, class, category, and, if needed, the appropriate grade, for example, D 1248 - LA5 - E4.

5.2 Further definition, as may be required for the following, shall be on the basis of agreement between the seller, and the purchaser:

5.2.1 Nominal density.

NOTE 9—For Class B and Class C materials, the nominal density of the base resin will be identified by the manufacturer upon request.

5.2.2 Nominal flow rate.

5.2.3 Antioxidant or other additive and proportions for:

Class A.

Same plus color; Class B.

Same plus amount, kind, particle size, (Note 5) and means and degree of dispersion of carbon black; Class C.

5.2.4 Particle size (see 11.1.13).

5.2.5 Contamination level (see 6.2), and

5.2.6 Other supplementary definition unless grade is sufficient and is identified (see 3.1.4.1 and 3.1.4.2).

5.3 Inspection (see 12.1).

6. Materials and Manufacture

6.1 The molding and extrusion material shall be polyethylene plastic in the form of powder, granules, or pellets.

6.2 The molding and extrusion materials shall be as uniform in composition and size and as free of contamination as can be achieved by good manufacturing practice. If necessary, level of contamination may be agreed upon between the seller and the purchaser.

6.3 Unless controlled by requirements specified elsewhere (see 3.1.4.1 and 3.1.4.2), the color and translucence of molded or extruded pieces formed under conditions recommended by the manufacturer of the material, shall be comparable within commercial match tolerances to the color and translucence of standard molded or extruded samples of the same thickness supplied in advance by the manufacturer of the material.

7. Physical Requirements

7.1 Test specimens of the material prepared as specified in 10.1, and tested in accordance with 11.1, shall conform to the requirements prescribed by the material designation for type in Table 1, for class in 3.1.2, for category in Table 2, and for grade in Table 3.

8. Sampling

8.1 A batch or lot shall be considered as a unit of manufacture and may consist of a blend of two or more production runs of material.

8.2 Unless otherwise agreed between the seller and the purchaser, the material shall be sampled in accordance with the procedure described in Sections 9 through 12 of Recom-

mended Practice D 1898. Adequate statistical sampling prior to packaging shall be considered an acceptable alternative.

9. Testing

9.1 The requirements identified by the material designation and otherwise specified in the purchase order (see 5.1 and 5.2) shall be verified by tests made in accordance with the directions given in 11.1. For routine inspection only those tests necessary to identify the material to the satisfaction of the purchaser shall be required. One sample shall be sufficient for testing each batch or lot provided that the average values for all of the tests made on that batch or lot comply with the specified requirements.

10. Specimen Preparation

10.1 Unless otherwise specified in 11.1, the test specimens shall be molded in accordance with Procedure C of Method D 1928.

11. Test Methods

11.1 The properties enumerated in this specification shall be determined in accordance with the following test methods:

11.1.1 *Conditioning*—Unless otherwise specified in the test methods or in this specification, for those tests where conditioning is required, the molded test specimens shall be conditioned in accordance with Procedure A of Methods D 618.

11.1.2 *Test Conditions*—Unless otherwise specified in the test methods or in this specification, tests shall be conducted in the Standard Laboratory Atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity.

11.1.3 *Density*—Method D 1505 or alternative methods of suitable accuracy as described in A-1 or A-2 of Methods D 792. Make duplicate determinations using two separate portions of the same molding or from two moldings. The molded specimen thickness shall be 1.9 ± 0.2 mm (0.075 ± 0.008 in.). Conditioning shall be only as specified in 11.1.1 and any departure from that conditioning shall be reported.

11.1.4 *Flow Rate*—Method D 1238, using Condition E unless otherwise directed (Note 10). Make duplicate determinations on the material in the form of powder, granules, or pellets. No conditioning is required.

NOTE 10—Although the flow rate of polyethylene plastics may be measured under any of the conditions

listed for it under 6.2 of Method D 1238, only measurements made at Condition E (190°C , 2160-g load) may be identified as "melt index."

This method of test serves to indicate the degree of uniformity of the flow rate of the polymer of a single manufacturer as made by an individual process and in this case may be indicative of the degree of uniformity of other properties. However, uniformity of flow rate among various polymers of various manufacturers as made by various processes does not, in the absence of other tests, indicate uniformity of other properties and vice versa.

The melt viscosity of polyethylene plastics, in common with that of most high polymers, is non-Newtonian, that is, dependent on the rate of shear. The degree of departure from Newtonian behavior depends on the nature and molecular constitution of the individual sample. Additional characterization of the sample can be obtained if other conditions are used. Especially recommended as an adjunct to Condition E is Condition N.

11.1.5 *Carbon Black Content*—Method D 1603. Make duplicate determinations from a sample of the material in the form of powder, granules, or pellets.

NOTE 11—If it is known or suspected that the material contains moisture, the sample should be dried prior to being tested, but otherwise no conditioning is required.

11.1.6 *Tensile Strength; Elongation at Break*—Method D 638, except that speed of grip separation shall be 500 mm (20 in.)/min for Type I and 50 mm (2 in.)/min for Types II, III, and IV (Note 12). Specimens shall conform to the dimensions given for Type IV in Method D 638 with their thickness to be 1.9 ± 0.2 mm (0.075 ± 0.008 in.). Specimens may be either die cut or machined to the specified dimensions. Bench mark separation shall be 25.40 ± 0.38 mm (1.000 ± 0.015 in.) and initial grip separation shall be 62.5 ± 5 mm (2.5 ± 0.2 in.). Percentage elongation at break shall include the cold-drawing distance. Test results for specimens which break outside the gage-marks after extensive cold drawing need not be discarded unless the break occurs between the contact surfaces of a grip.

NOTE 12—As a matter of convenience, Type II, Type III and Type IV materials with elongations exceeding 500% when tested at the speed specified in 11.1.6 may be tested at a speed of 500 mm (20 in.)/min except for referee tests which shall be performed at a speed of 50 mm (2 in.)/min as specified in 11.1.6. If the optional speed is used, this shall be reported.

11.1.7 *Brittleness Temperature*—Procedure A of Method D 746.

11.1.8 *Environmental Stress-Crack Resistance*—Method D 1693 with the following provisions:

11.1.8.1 Type I materials shall be tested under Condition A as defined in Table 1 of Method D 1693.

11.1.8.2 Unless otherwise specified, materials of Types II, III, and IV shall be tested under Condition B as defined in Table 1 of Method D 1693.

11.1.8.3 Grades E4, E5, E8, E9, E10, E11, P34, and W3 shall be tested in undiluted "Igepal CO-630."⁷ Grades J3, J4, J5, and W4 shall be tested in a solution of 10 weight % "Igepal CO-630" in water.

11.1.8.4 Grade P34 materials shall be tested under Condition C as defined in Table 1 of Method D 1693.

11.1.9 *Thermal Stress-Crack Resistance of Types III and IV Polyethylenes*—Method D 2951.

11.1.10 *Dissipation Factor and Dielectric Constant*—Method D 1531 or Method D 150, with the former to be the referee method. The following additional instructions and the precautions of Note 13 shall be observed:

11.1.10.1 *Milling Stability*—This procedure is intended for application to materials to be used for electrical insulation. For such materials, the milling procedure described in 11.1.10.2 may be performed as a preconditioning step prior to the determination of dissipation factor and dielectric constant as provided in 11.1.10. Its purpose is to establish that a suitable antioxidant is present in adequate quantity. After being milled as prescribed, the material shall meet the dielectric requirements prescribed in Table 3.

11.1.10.2 Process approximately 400 g of material for 3 h ± 5 min on a two-roll laboratory mill meeting the requirements prescribed in 5.1 of Methods D 3182 at a temperature of 160 ± 5°C with the distance between the rolls so adjusted that the charge maintains a uniform rolling bank. Any other size two-roll laboratory mill may be used provided the charge is adequate to maintain a uniform rolling bank on the rolls and to furnish sufficient material for test specimens.

11.1.10.3 Due to the time-consuming nature of this preconditioning procedure, the frequency with which it is applied shall be established by sound statistical quality control prac-

tices by the individual manufacturer. However, the specified electrical tests shall be performed on every batch or "run" using the normal conditioning procedure (11.1.1) plus the precautions of Note 13.

11.1.11 *Water Immersion Stability*—Immerse the test specimen in distilled water at 23 ± 2°C for 14 days after which remove, wipe dry, and immediately test for dissipation factor and dielectric constant in accordance with 11.1.10.

11.1.12 *Volume Resistivity*—Methods D 257 using the electrodes shown in Fig. 4 or 5. Conditioning and test conditions shall be as specified in 11.1.1 and 11.1.2 plus the precautions of Note 13.

NOTE 13—Test specimens, particularly those molded of compounds containing carbon black, should be tested immediately after conditioning and their storage under humid conditions should be avoided.

11.1.13 *Particle Size*—Methods D 1921, Method A or B.

11.1.14 *Absorption Coefficient*—Method D 3349.

12. Inspection

12.1 Inspection of the material shall be made as agreed upon by the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

13. Retest and Rejection

13.1 If any failure occurs, the materials may be retested to establish conformity in accordance with agreement between the purchaser and the seller.

14. Packaging and Marking

14.1 *Packaging*—The material shall be packaged in standard commercial containers, so constructed as to ensure acceptance by common or other carriers for safe transportation at the lowest rate to the point of delivery, unless otherwise specified in the contract or order.

14.2 *Marking*—Unless otherwise agreed between the seller and the purchaser, shipping containers shall be marked with the name of the material, type, and quantity contained

⁷This method is based on the use of "Igepal CO-630," trademark for a nonylphenoxy polyethyleneoxyethanol, which may be obtained from GAF Corp., Dyestuff and Chemical Division, 140 West 51st St., New York, N.Y. 10020.

herein, as defined by the contract or order under which shipment is made and the name of the manufacturer.

14.3 All packing, packaging, and marking provisions of Practice D 3892 shall apply to this specification.

QUALITY ASSURANCE PROVISIONS FOR GOVERNMENT/MILITARY PROCUREMENT

These requirements apply *only* to Federal/Military procurement, not domestic sales or transfers.

S1. Sampling for inspection and testing shall be carried out in accordance with the recommendations of Recommended Practice D 1898.

S2. Selection of Acceptable Quality Level (AQL) and of Inspection Level (IL) shall be made, with consideration of the specific use requirements. This is discussed in Sections 7 and 8 of the above document, with reference to Military Standard MIL-STD-105.

S3. In the absence of contrary requirements,

the following values shall apply:

	IL	AQL
Defects of appearance and workmanship	II	2.5
Defects of preparation for delivery	S-2	2.5
Testing (products)	S-1	1.5
Testing (polymer, unfabricated)	S-1 ^a	—

^a Samples shall be drawn from the required number of units, and pooled for preparation of molded samples for mechanical properties evaluation.

TABLE 1 Classification of Polyethylene Plastics Molding and Extrusion Materials According to Type

Type	Nominal Density, ^a g/cm ³
I	0.910 to 0.925
II	0.926 to 0.940
III	0.941 to 0.959
IV	0.960 and higher

^a Uncolored, unfilled material (see Note 9).

TABLE 2 Classification of Polyethylene Plastics Molding and Extrusion Materials According to Category

Category	Nominal Flow Rate, g/10 min (190 °C, 2160-g load)
1	>25
2	>10 to 25
3	>1.0 to 10
4	>0.4 to 1.0
5	0.4 max



TABLE 3 (Continued)

	E11	J1	J3	J4	J5	P14	P23	P33	P34
Volume resistivity, min, Ω -cm:									
Classes A, B									
Water Immersion stability	10 ¹⁶								

^A The letters associated with these grades identify areas of potential applicability as indicated below. Materials meeting the requirements of a given grade also may have broader applicability in other areas:

E-- Electrical (In some instances these materials also may serve as jacketing)

J Jacketing (In some instances these materials also may serve as primary insulation)

P Pipe.

Further, the numbers associated with the pipe materials identify them in terms of the types and grades previously given in Specification D 1248-63 T; for example P14 signifies a Type I, Grade 4 material under that specification. Grade P34 is an exception since it identifies a Type III material of a grade not previously specified (very high molecular weight). As indicated by Note 5, other grades may be added by revision of this specification as the need arises.

^B t_{50} is the time required for failure of 20% of the samples tested in accordance with Method D 169) as further directed by 11.1.8.1, 11.1.8.2 and 11.1.8.3 of this specification.

^C Requirements for environmental stress-crack resistance apply only to Class C (weather resistant compounds) unless otherwise specified (see 5.2.6).

^D At any frequency from 1 kHz through 1 MHz (see also 11.1.10.1, 11.1.10.2, and 11.1.10.3).

^E Dielectric constant is a function of density; hence, the nominal value will be different for each type. Based on published information, the nominal values for the four types covered by this specification are as follows: Type I - 2.31, Types III and IV - 2.35 (Lanza, V. I., and Herrmann, D. B., *Journal of Polymer Science*, JPSCA, Vol. 28, 1958, p. 622). To illustrate the manner in which the maximum limit for the dielectric constant of a particular grade is determined, assume that a Type I, Class A material is to be supplied under Grade P-2, then its maximum limit for dielectric constant will be $2.28 + 0.01 = 2.29$.

^F Dissipation factor and dielectric constant must not exceed the limits specified above after immersion of the test specimens in water as described in 10.1.11. However, because this test is lengthy, it need not be performed on every lot of material. Rather, the material is to be checked initially for compliance with this requirement and, after that, as often as necessary to assure continued compliance. This requirement is not applicable to weather resistant (Class C) compounds (see Note 13).

TABLE 4A Special Grades—General Purpose—Natural and Colors

Grade	Low Density, Specification D 1248, Type I		Medium Density, Specification D 1248, Type II		High Density, Specification D 1248 Types III & IV				
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Tensile strength, min:									
MPa	8.3	9.7	11.0	12.4	19.3	19.3	24.1	24.1	27.6
(psi)	(1200)	(1400)	(1600)	(1800)	(2800)	(2800)	(3500)	(3500)	(4000)
Elongation, min. %	400	400	400	400	...	...	...	...	...
Britleness temperature, max. °C	-50	-55	-50	-55	-55	...	-55	...	...
LP-390c. type, class, grade	IL1	IL2	IM1	IM2	IH1	IH2	IH3	IH4	IH5

TABLE 4B Special Grades—Dielectric—Natural and Colors

Grade	Low Density, Specification D 1248, Type I				Medium Density, Specification D 1248, Type II		High Density, ^a Specification D 1248, Types III & IV				
	Natural Colors		Natural Colors		Natural Colors		D7	D8	D9	D10	D11
	D1	D2	D3	D4	D5	D6					
Tensile strength, min:											
MPa	9.7	9.7	9.7	9.7	12.4	12.4	19.3	19.3	24.1	24.1	27.6
(psi)	(1400)	(1400)	(1400)	(1400)	(1800)	(1800)	(2800)	(2800)	(3500)	(3500)	(4000)
Elongation, min. %	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Britleness temperature, max. °C	-60	-55	-60	-55	-60	-55	-55	...	-55	...	...
Dielectric constant, max. 1 MHz	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.35	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38
Dissipation factor, max. 1 MHz	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Environmental stress crack resistance, min. t_{50h} (100 % Igepal)	...	...	24	24	...	...	...	...	...	...	...
Thermal stress crack resistance, min. t_{50h}	...	...	...	...	...	...	96	...	96	...	...
Milling stability After milling, dissipation factor, max	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
LP-390c. type, class, grade	III1	III2	III3	III4	IIM1	IIM2	IIH1	IIH2	IIH3	IIH4	IIH5

^a Grades D7 through D11 apply to both natural and colors, including black.

TABLE 4C Special Grades—Weather Resistant—Black

Grade	Low Density, Specification D 1248, Type I				Medium Density, Specification D 1248, Type II		High Density, Specification D 1248, Types III & IV		
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
Tensile strength, min:									
MPa	9.7	9.7	9.7	9.7	12.4	12.4	12.4	19.3	24.1
(psi)	(1400)	(1400)	(1400)	(1400)	(1800)	(1800)	(1800)	(2800)	(3500)
Elongation, min, %	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Brittleness temperature, max, °C	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-55	-55
Dielectric constant, max, 1 MHz	2.50	2.75	2.75	2.80	2.50	2.75	2.80	2.75	2.75
Dissipation factor, max, 1 MHz	0.003	0.007	0.007	0.01	0.003	0.007	0.01	0.005	0.007
Environmental stress crack resistance, min									
h (100 % Igepal)	...	...	24	...	...	...	...	...	...
h (10 % Igepal)	...	...	...	24	...	...	...	...	...
Thermal stress crack resistance, min, h	...	...	...	...	...	...	...	96	96
Milling stability									
After milling, dissipation factor, max	0.003	0.007	0.007	0.01	0.003	0.007	0.01	0.005	0.007
Carbon content, range, %	0.4-0.6	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	0.4-0.6	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
Absorption coefficient, min	...	320	320	320	...	320	320	320	320
PP-390c, type, class, grade	IIIL1	IIIL2	IIIL3	IIIL4	IIIM1	IIIM2	IIIM3	IIIH1	IIIH2

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.



Standard Specification for PROPYLENE PLASTIC MOLDING AND EXTRUSION MATERIALS¹

This standard is issued under the fixed designation D 2146; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This specification covers requirements for propylene molding and extrusion materials compounded with or without the addition of modifiers, colorants, stabilizers, or lubricants. It provides for their identification in such a manner that the seller and the purchaser can agree on the substantial similarity of different commercial lots or shipments. It is not the function of this specification to provide engineering or design data.

Note 1 The properties included in this specification are those required to identify the types of molding and extrusion material covered. There may be other requirements necessary to identify particular characteristics. These will be added to the specification as their inclusion becomes generally desirable and the necessary test data and methods become available.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 256 Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials²
- D 257 Test Methods for D-C Resistance or Conductance of Insulating Materials²
- D 618 Methods of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²
- D 621 Test Methods for Deformation of Plastics Under Load²
- D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics²
- D 759 Recommended Practice for Conducting Physical Property Tests of Plastics at Subnormal and Supernormal Temperatures²
- D 792 Test Methods for Specific Gravity and Density of Plastics by Displacement²
- D 1238 Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer²

- D 1505 Test Method for Density of Plastics—the Density-Gradient Technique²
- D 1531 Test Method for Dielectric Constant and Dissipation Factor of Polyethylene—Liquid Displacement Procedure³
- D 1897 Practice for Injection Molding Test Specimens of Thermoplastic Molding and Extrusion Materials⁴
- D 1898 Recommended Practice for Sampling of Plastics⁴
- D 3892 Practice for Packaging/Packing of Plastics⁴

2.2 Military Standard:

- MIL-STD-105 Sampling Procedures and Plans for Inspection by Attributes⁶

3. Classification

3.1 *Types*—This specification covers the types of propylene molding and extrusion materials, classified according to basic composition:

3.1.1 *Type I* Polypropylene, characterized by its rigidity and resistance to deformation under load (915 kg/m³ density, maximum based on uncolored, unfilled plastic).

3.1.2 *Type II* Propylene copolymers and propylene-elastomer compounds, characterized

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of committee D20.12 on Olefin Plastics.

Current edition approved July 30, 1982. Published September 1982. Originally published as D 2146 - 63 E. Last previous edition D 2146 - 80.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.03.

⁶ Available from Naval Publications and Forms Center, Labor Ave., Philadelphia, Pa. 19120.

AND

Immediately following the designation indicates the number in parentheses indicates the year of last revision or reapproval.

5 Test Method for Density of Plastics by Density-Gradient Technique²

Test Method for Dielectric Constant and Dissipation Factor of Polyethylene by Liquid Displacement Procedure³

Practice for Injection Molding Thermoplastics and Thermoplastic Molding and Injection Materials⁴

Recommended Practice for Sampling Thermoplastics⁴

Practice for Packaging/Packing of Thermoplastics⁵

Military Standard: MIL-STD-105 Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes⁶

Classification

Types—This specification covers two types of polypropylene molding and extrusion materials classified according to basic composition.

Type I—Polypropylene, characterized by high rigidity and resistance to deformation and a density (915 kg/m³ maximum), uncolored, unfilled plastic.

Type II—Propylene copolymers and elastomer compounds, characterized by improved resistance to impact, especially at low temperatures (915 kg/m³ density; maximum, based on uncolored, unfilled plastic).

This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.12 on Olefin Plastics.

This specification was originally approved July 30, 1982. Published September 1982. Reapproved and published as D 2146-83 T. Last previous edition 1986-80.

ASTM Standards, Vol 08.01.
ASTM Standards, Vol 10.02.
ASTM Standards, Vol 08.02.
ASTM Standards, Vol 08.03.
ASTM Publications and Forms Center, 5801
Philadelphia, Pa. 19120.

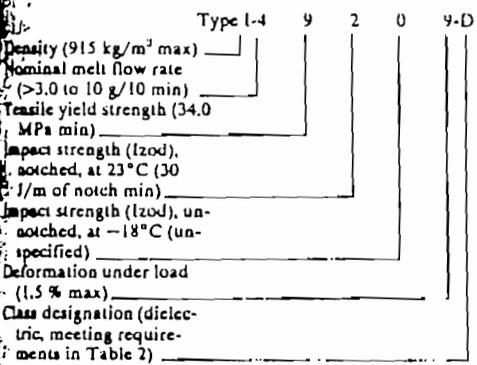
Improved resistance to impact, especially at low temperatures (915 kg/m³ density; maximum, based on uncolored, unfilled plastic).

3.2 Grades—Each of the types is subdivided into grades according to physical properties. This specification provides a system for characterization and identification, which enables coverage for all commercially available grades having properties within the range of the possible combinations that may be selected from Table 1. A grade is designated by the cell numbers for each property in the order in which they are listed in Table 1. When a property is not specified, a "0" is entered as the cell number.

3.3 Classes—Each of the types and grades may be further subdivided into classes according to special requirements. A class is designated by the letter corresponding to the requirements detailed in Table 2. Where no special requirements in addition to type and grade requirements are needed, no class designation is shown.

3.4 Identity of a specific material is made by a code designation indicating type, grade, and class designations in sequence, with dashes between the type and first property designations, and between the last property and class designation.

NOTE 2—An example of this classification system would be I-49209-D, an unmodified type of polypropylene having the following requirements (see Table 1).



NOTE 3—The cell-type format as applied to the grade requirements provides the means for close characterization and specification of each property and combination of properties for a broad range of materials. This type format, however, is subject to possible misapplication since impossible property combinations can be coded if the user is not familiar with available commercial materials.

4. Ordering Information

4.1 The purchase order or inquiry for these materials shall state the specification number, the date of issue, the type, grade, and, if needed, the appropriate class, for example, ASTM D 2146-77: I-49209-D.

4.2 Further definition, as may be required for the following shall be on the basis of agreement between the seller and the purchaser:

- 4.2.1 Nominal flow rate.
- 4.2.2 Antioxidant or other additive and proportions.
- 4.2.3 Color (see 5.3).
- 4.2.4 Contamination level (see 5.2).
- 4.2.5 Particle size.
- 4.2.6 Other supplementary definition unless grade is sufficient.
- 4.2.7 Inspection (see 11.1).

5. Materials and Manufacture

5.1 The molding and extrusion material shall be polypropylene plastic in the form of powder, granules, or pellets.

5.2 The molding and extrusion material shall be of uniform composition and size and shall be free of foreign matter to such contamination level as may be agreed between the seller and the purchaser.

5.3 The color and translucence of molded or extruded pieces, formed under conditions recommended by the manufacturer of the materials, shall be comparable within commercial match tolerances to the color and translucence of standard molded or extruded samples of the same thickness supplied in advance by the manufacturer of the material.

6. Physical Requirements

6.1 Test specimens molded by injection in accordance with the procedures of 9.1 and tested as specified in 10.1 shall conform to the requirements for density, tensile yield strength, impact strength, and deformation under load as prescribed in 3.1 and Table 1 for the type and grade specified.

6.2 The material in the form of molding powder, granules, or pellets shall have a nominal flow rate as specified by its grade designation and the corresponding requirements in Table 1. In view of production and sampling and testing variables, a commercial lot or shipment shall be considered as conforming and

...merely acceptable when the flow rate found on a sample from the lot or shipment falls within $\pm 30\%$ of the nominal flow rate.

6.3 The material in accordance with its class designation shall conform to the detail requirements prescribed in Table 2.

7. Sampling

7.1 A batch or lot shall be considered as a unit of manufacture and may consist of a blend of two or more production runs of material.

7.2 Unless otherwise agreed between the seller and the purchaser, the material shall be sampled in accordance with the procedure described in Sections 9 through 12 of Recommended Practice D 1898. Adequate statistical sampling prior to packaging shall be considered an acceptable alternative.

8. Testing

8.1 The requirements identified by the material designation and otherwise specified in the purchase order (see 4.1 and 4.2) shall be verified by tests made in accordance with the directions given in 10.1. For routine inspection only flow rate and tensile yield strength for Type I and flow rate, tensile yield strength, and impact strength at 23°C for Type II will be performed by the manufacturer on each shipment unless otherwise specified by the purchaser in the contract or order. One sample shall be sufficient for testing each batch or lot provided that the average values for all of the tests made on that batch or lot comply with the specified requirements.

9. Specimen Preparation

9.1 Unless otherwise agreed between the seller and the purchaser, test specimens shall be injection molded in accordance with the following specific procedures and Recommended Practice D 1897.

NOTE 4—Physical and mechanical properties are dependent upon the technique of specimen preparation. Specimen preparation by means other than those described below can lead to significant variation in test results and thus cause departure from specification values.

9.1.1 *Specimen*—A Type I tension test specimen (Method D 638) with a thickness of 3.1 mm (0.120 in.) minimum to 3.3 mm (0.130 in.) maximum shall be molded in a single-cavity operation. Use of a multi-cavity mold is an

acceptable alternative provided that it can be shown that the properties of specimens so prepared are comparable with those obtained by single-cavity molding. Cavity gate dimensions for the specimen shall be 2.5 by 2.5 mm (0.10 by 0.10 in.) min to 3.2 by 3.4 mm (0.125 by 0.250 in.) max. Weight of the complete injection molded shot, including specimen, runner, and sprue, shall be $25 \pm 10\%$ of the rated capacity of the heating cylinder.

9.1.2 *Mold Temperature*—The temperature of the mold shall be $60 \pm 3^\circ\text{C}$ ($140 \pm 5^\circ\text{F}$). Temperature measurements shall be made with a surface-type pyrometer, or equivalent, to an accuracy of $\pm 2^\circ\text{C}$ ($\pm 3.6^\circ\text{F}$), after equilibrium "on cycle" conditions have been established.

9.1.3 *Cycle*—Molding cycle time shall be 45 s total with 20 s plunger forward (including 1 to 5 s dead time), 20 s cooling, and 5 s mold open.

9.1.4 *Stock Temperature*—The stock temperature for the molding of test specimens shall be $60 \pm 5^\circ\text{C}$ ($108 \pm 9^\circ\text{F}$) higher than the fill-point temperature. The fill-point temperature is defined as the minimum stock temperature that will give complete cavity fill when operating on cycle under the conditions detailed in 9.1.1 through 9.1.3 and with the injection pressure set at 80% of the maximum capacity of the machine. Stock temperature shall be measured on cycle by taking the temperatures of several successive free shots with a needle-type pyrometer to an accuracy of $\pm 3^\circ\text{C}$ (5.4°F). The needle should be moved about in the plastic mass, and a sufficient number of measurements shall be made to establish a reliable result. To minimize heat loss from the plastic during measurement, the mass should be collected in a heated container or in one made from material of low thermal conductivity. The quantity of plastic in the free shot should be controlled to be equivalent to the weight of a complete injection-molded shot.

9.1.5 *Injection Pressure*—For molding test specimens, the injection pressure shall be set at the maximum allowable level that does not produce excessive flash in the test section of the specimen. For full utilization of available machine pressure, care should be taken to align and position the mold for tight closure.

9.1.6 *Booster*—A high-volume booster pump shall not be used.

10. Test Methods

10.1 The properties enumerated in this specification shall be determined in accordance with the following test conditions and methods:

10.1.1 *Conditioning*—Unless otherwise specified in the test methods or in this specification, for those tests where conditioning is required, the molded test specimens shall be conditioned in accordance with Procedure A of Methods D 618.

10.1.2 *Test Conditions*—Conduct the tests in the Standard Laboratory Atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity, unless otherwise specified in the test method or in this specification.

10.1.3 *Flow Rate*—Condition L of Method D 1238. Make three determinations on the material in the form of molding powder, pellets, or granules.

NOTE 5—This method serves to indicate the degree of uniformity of the flow rate of the polymer of a single manufacturer as made by an individual process and in this case may be indicative of the degree of uniformity of other properties. However, uniformity of flow rate among various polymers of various manufacturers as made by various processes does not, in the absence of other tests, indicate uniformity of other properties and vice versa.

10.1.4 *Density*—Method D 1505, or an alternative method of suitable accuracy as described in Methods D 792. Make three determinations with test specimens molded in accordance with 9.1. An alternative test specimen giving slightly higher density (see Table 3) can be prepared by extruding the material in accordance with Method D 1238, Condition L, and dropping the strand on a cool metal plate. When Procedure B of Method D 1238 is used, cut off the extrudate at about the time the timer is actuated and discard. Save the portion extruded during the timed interval. After cooling for 10 min on the metal plate, cut off a 5-mm ($1/4$ -in.) length from the thicker end of the strand. Discard this portion and from the next 10 mm ($3/8$ -in.) of strand, cut at least three short pieces of convenient size for density determinations as specified in 10.1.1. Designate E for extruded and M for molded specimen when reporting a density value.

10.1.5 *Tensile Yield Strength*—Method D 638, with a testing speed of 51 mm/min (2.0 in./min) and specimens as prescribed in 9.1.

NOTE 6—Some polypropylene materials do not have a distinct failure point. If tensile stress break, or elongation at break, or both, are measured by Method D 638, the point on the stress-strain curve that shows the first reduction of stress when any rupture or fibrillation occurs without complete separation shall be used to determine the break point.

10.1.6 *Impact Strength (Izod)*—Method A of Methods D 256 and Recommended Practice D 759, except that the tests at -18°C shall be made on unnotched specimens. Specimens shall be prepared from the center section of the tension test specimen specified in 9.1. Pendulum energy of the impact testing machine shall be 2.7 J (2 ft-lbf) for tests at 23°C . For tests at -18°C , pendulum energy of the testing machine shall be 5.4 to 13.5 J (4 to 10 ft-lbf) and shall be selected so as to provide test readings that are within 15 to 85% of full scale.

10.1.7 *Deformation Under Load*—Method A of Methods D 621, using a composite specimen of four 1.27 by 1.27-cm ($1/2$ by $1/2$ -in.) pieces cut from the nongated tab end of tension specimens as prescribed in 9.1. Make three determinations.

10.1.8 *Dielectric Constant and Dissipation Factor*—Method D 1531. Make three determinations on compression-molded specimens or, as referee method, on specimens prepared by injection molding in accordance with the procedures of 9.1, except that specimen dimensions shall be as required by Method D 1531.

10.1.9 *Insulation Resistance*—Methods D 257. Make three determinations with specimens as prescribed in 10.1.8.

10.1.10 *Water Immersion Stability*—Method D 1531. Make three determinations with specimens as prescribed in 10.1.8 after immersion in distilled water at $23 \pm 1^\circ\text{C}$ for 14 days.

11. Inspection

11.1 Inspection of the material shall be made as agreed upon by the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

12. Retest and Rejection

12.1 If any failure occurs, the materials may be retested to establish conformity in accordance with agreement between the purchaser and the seller.

⁷ Supporting data giving results of interlaboratory tests have been filed at ASTM Headquarters, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103, in RR: D-20-1055.

13. Packaging and Marking

13.1 *Packaging*—The material shall be packaged in standard commercial containers, so constructed as to ensure acceptance by common or other carriers for safe transportation at the lowest rate to the point of delivery, unless otherwise specified in the contract or order.

13.2 *Marking*—Unless otherwise agreed between the seller and the purchaser, shipping

containers shall be marked with the name of the material, the batch or lot number, and the quantity contained therein, as defined by the contract or order under which shipment is made, and the name of the manufacturer.

13.3 All packing, packaging, and marking provisions of Practice D 3892 shall apply to this standard.

QUALITY ASSURANCE PROVISIONS FOR GOVERNMENT/MILITARY PROCUREMENT

These requirements apply *only* to Federal/Military procurement, not domestic sales or transfers.

S1. Sampling for inspection and testing shall be carried in accordance with the recommendations of Recommended Practice D 1898.

S2. Selection of Acceptable Quality Level (AQL) and of Inspection Level (IL) shall be made, with consideration of the specific use requirements. ~~This is discussed in Sections 7 and 8 of the *ASIP* document, with reference to Military Standard MIL-STD-105.~~

S3. In the absence of contrary requirements,

the following values shall apply:

	IL	AQL
Defects of appearance and workmanship	II	2.5
Defects of preparation for delivery	S-2	2.5
Testing (products)	S-1	1.5
Testing (polymer, untabricated)	S-1 ^a	

^a Samples shall be drawn from the required number of units, and pooled for preparation of molded samples for mechanical properties evaluation.

TABLE 1 Detail Grade Requirements

Designation Order No.	Property and Unit	Cell Limits								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nominal ^a flow rate, g/10 min	0.3 max	>0.3 to 1.0	>1.0 to 3.0	>3.0 to 10	>10 to 30	>30 to 100	>100		
2	Tensile yield strength, min: MPa	unspecified	14.0 16.5	19.0 27.00	21.5 30.60	24.0 34.10	26.5 37.70	29.0 41.30	31.5 44.80	34.0 48.00
3	Impact strength (Izod), notched, at 23°C, min: J/m of notch	unspecified	15	30	50	70 ^b	100	150	200	250
4	Impact strength (Izod), unnotched, at -18°C, min: J/m	unspecified	0.3	0.6	0.9	1.3	1.8	2.8	3.7	4.6
5	Deformation under load at 50°C, 690 kPa (1000 psi) load, max, %	unspecified	250	350	500	750	1000	1200	1500	2000
			4.6	6.4	9.2	14	18	23	28	35
			25	20	15	10	8.0	6.0	4.0	2.5



D 2146

^a Conversions from metric to inch-pound units have been rounded for convenience. In cases of disagreement, the metric value shall be controlling.

^b Nominal flow rate is as specified by the manufacturer of the material. Allowable tolerance $\pm 30\%$ per individual lot.

TABLE 2 Detail Class Requirements

Class	Class Designation	Property and Unit	Requirement
Dielectric	D	Dielectric constant, max ¹	2.30
		Dissipation factor, max ¹	0.001
		Insulation resistance, Ω , min	1×10^{12}
		Water immersion stability ¹	Shall meet the dielectric constant and dissipation factor requirements

¹ At 10 kHz to 1 MHz.

TABLE 3 Comparison of Density Values Obtained from Tensile Bar Versus Flow Rate Strand Specimens

Material Type	Density, kg/m ³			
	Tensile Bar		Flow Rate Strand	
	$\bar{\rho}$	s	$\bar{\rho}$	s
I	901.8	1.3	903.9	0.5
II	898.3	1.9	899.5	0.9

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the value of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

ANEXO 2

RECOMENDACIONES DEL UIT

G. 651

G. 652

OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER (OTDR)

6.5 Cables de fibra óptica

Recomendación G.651

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 μm

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando que

(a) los cables de fibra óptica multimodo de índice gradual se utilizan ampliamente en las redes de telecomunicaciones;

(b) las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir fibras multimodo que difieran en:

- la naturaleza de su material,
- las características geométricas,
- la región (o regiones) de longitud de onda de trabajo,
- las características de transmisión y ópticas,
- los aspectos mecánicos y ambientales;

(c) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras multimodo cuando hayan progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica,

recomienda

una fibra multimodo de índice gradual que puede ser utilizada en la región de 850 nm, o en la región de 1300 nm, o bien en ambas regiones de longitudes de onda simultáneamente.

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Sus características geométricas, ópticas y de transmisión se describen más adelante.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación se exponen en el anexo A y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B.

Los anexos A y B podrán convertirse en Recomendaciones separadas a medida que se adopten otras Recomendaciones sobre fibras multimodo.

1 Características de la fibra

En este § 1 se tratan aquellas características que aseguran la interconexión de las fibras con pérdidas bajas y aceptables.

En este punto sólo se recomiendan características intrínsecas de la fibra (que no dependen de la fabricación del cable). Éstas serán igualmente aplicables a fibras individuales, fibras incorporadas en un cable y enrollada en una bobina, y a fibras en cable instalado.

1.1 Características geométricas de la fibra

1.1.1 Diámetro del núcleo

El valor nominal recomendado del diámetro del núcleo es 50 μm .

La desviación del diámetro del núcleo no debe exceder los límites de $\pm 6\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

1.1.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm .

La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

1.1.3 Error de concentricidad

Se recomienda que el error de concentricidad sea inferior al 6%.

1.1.4 *No circularidad*

1.1.4.1 *No circularidad del núcleo*

Se recomienda que la no circularidad del núcleo sea inferior al 6%.

1.1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

Se recomienda que la no circularidad del revestimiento sea inferior al 2%.

1.2 *Propiedades ópticas de la fibra*

1.2.1 *Perfil del índice de refracción*

Se espera que los perfiles del índice de refracción de las fibras a las que se refiere esta Recomendación sean casi parabólicos.

1.2.2 *Apertura numérica*

El valor óptimo de la apertura numérica (AN) dependerá de la aplicación particular para la cual ha de utilizarse la fibra y en particular de la eficacia requerida del acoplamiento de la fuente, de la mayor atenuación debida a los efectos de la microflección que pueden tolerarse y de la respuesta global requerida en banda de base.

Los valores empleados corrientemente en la práctica se encuentran en la gama de 0,18 a 0,24.

Cualquiera que sea el valor real que se emplee, éste no deberá diferir del valor nominal elegido en más de 0,02.

1.3 *Propiedades de los materiales de la fibra*

1.3.1 *Materiales de la fibra*

Deben indicarse las sustancias utilizadas en la fabricación de la fibra.

Nota — Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

1.3.2 *Materiales protectores*

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

2 **Especificaciones de los largos de fabricación**

Como las características geométricas y ópticas de las fibras son apenas afectadas por el proceso de cableado, lo recomendado en este § 2 se refiere principalmente a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las características de transmisión dependen en gran medida de la longitud de onda utilizada para transportar la información.

Las condiciones ambientales y de prueba son capitales y se describen en las directrices sobre métodos de pruebas.

La distribución de probabilidad estadística de las características de transmisión de las fibras dependerá del diseño y de los procedimientos de fabricación. En consecuencia, al especificar los límites de las características de transmisión se deberá tener en cuenta dicha distribución. Por ejemplo, en el caso de ciertas aplicaciones, puede suceder que un límite particular no abarque el 100% de la producción y que, de hecho, represente tan solo una pequeña parte de la producción total. El aspecto económico desempeñará un papel importante en la especificación de los límites para las aplicaciones particulares.

2.1 *Coefficiente de atenuación*

Los cables de la fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen generalmente coeficientes de atenuación inferiores a 4 dB/km en la región de longitudes de onda de 850 nm y a 2 dB/km en la de 1300 nm.

Nota 1 — Los valores más bajos de coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación de la composición de la fibra y del diseño de la fibra y el cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 2 y 2,5 dB/km en la región de 850 nm y entre 0,5 y 0,8 dB/km en la de 1300 nm.

Nota 2 — En ciertos casos, las fibras podrían utilizarse en ambas regiones de longitudes de onda.

2.2 Respuesta en banda de base

La respuesta en banda de base comprende los efectos de distorsión modal y de dispersión cromática. Para algunas aplicaciones, los efectos de dispersión cromática son insignificantes y pueden pasarse por alto.

La respuesta en banda de base se presenta en el dominio de la frecuencia. Las Administraciones que deseen utilizar el dominio del tiempo podrán hacerlo mediante operaciones matemáticas. Para este propósito se debe disponer de la respuesta en amplitud y en fase.

Por convenio, la respuesta en banda de base está referida linealmente a 1 km.

2.2.1 Respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal

La respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal se especifica en la forma de valor de anchura de banda entre los puntos ópticos a -3 dB (eléctricos a -6 dB) de la característica de amplitud total en función de la frecuencia corregida a efectos de la dispersión cromática. También se debiera presentar una curva más completa de la respuesta en la anchura de banda total.

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación generalmente tienen anchuras de banda de distorsión modal normalizadas superiores a 200 MHz · km en las regiones de 850 nm y de 1300 nm, aunque no necesariamente al mismo tiempo.

Nota 1 — Los valores superiores de la anchura de banda de distorsión modal normalizada dependen del proceso de fabricación, de la composición de la fibra y del diseño de la fibra y el cable; se han obtenido valores superiores a 1000 MHz · km en la región de 850 nm y de 2000 MHz · km en la región de 1300 nm.

Nota 2 — En ciertos casos, las fibras podrían utilizarse en ambas regiones de longitudes de onda.

2.2.2 Anchura de banda de distorsión modal: respuesta de fase

No se recomienda ningún valor, pues la información de la respuesta de fase sólo se requiere en casos especiales.

2.2.3 Dispersión cromática

Cuando se le solicite, el fabricante de las fibras ópticas deberá indicar los valores de coeficiente de dispersión cromática total del tipo de fibra en la región (o regiones) de longitudes de onda de trabajo. El método de prueba figura en la sección V del anexo B a la Recomendación G.652.

Nota 1 — En el caso de fibras multimodo, el mecanismo de dispersión cromática predominante es la dispersión debida al material.

Nota 2 — Valores típicos del coeficiente de dispersión cromática en fibras ópticas de silice de gran pureza son los siguientes:

Longitud de onda (nm)	Coefficiente de dispersión cromática [ps/(nm·km)]
850	< 120
1300	< 6

3 Secciones elementales de cable

Según se define en la Recomendación G.601 (término 1008), una sección elemental de cable incluye un cierto número de largos de fabricación empalmados. En el § 2 de esta Recomendación se indican los requisitos aplicables a los largos de fabricación. Los parámetros de transmisión en secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo la calidad de los distintos largos de cable sino también, entre otras cosas, factores tales como los empalmes, los conectores (si los hay) y los efectos de acoplamiento de modos que pueden afectar a la anchura de banda y a la atenuación.

Además, tanto las características de transmisión de las fibras en largos de fabricación, como los empalmes, los conectores, etc., tendrán una cierta distribución de probabilidad que, con frecuencia, debe ser tenida en cuenta si se desea obtener los diseños más económicos. Los siguientes puntos de esta sección deben ser leídos teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

3.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

donde:

α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra en la sección elemental de cable,

L_n = longitud de la n -ésima fibra,

m = número total de fibras concatenadas en la sección elemental de cable,

a_s = pérdida media por empalme,

x = número de empalmes en la sección elemental de cable,

a_c = pérdida media de los conectores de línea,

y = número de conectores de línea en la sección elemental de cable (en su caso).

Nota 1 — Las pérdidas a_s y a_c de los empalmes y conectores de línea se definen por lo general en condiciones de equilibrio de distribución modal. En la explotación real pueden producirse diferencias apreciables.

Nota 2 — La fórmula anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipos.

Nota 3 — En el diseño global de un sistema debe preverse un margen para el cable en previsión de futuras modificaciones de la configuración de éste (empalmes adicionales, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones debidas a la temperatura, etc.).

Nota 4 — Se toma la pérdida media para la pérdida de empalmes y conectores. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de estos parámetros.

3.2 Respuesta en banda base (anchura de banda óptica global a -3 dB)

La respuesta en banda base se da en el dominio de la frecuencia e incluye los efectos de la distorsión modal y de la dispersión cromática, y se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$B_T = \left[B_{\text{modal}}^{-2} + B_{\text{cromática}}^{-2} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

donde:

B_T = la anchura de banda global (incluida la distorsión modal y la dispersión cromática),

B_{modal} = la anchura de banda de distorsión modal,

$B_{\text{cromática}}$ = la anchura de banda cromática (véase la nota 3).

Nota 1 — Se supone que la respuesta en banda base de distorsión modal de la fibra y el espectro de la fuente tienen una distribución gaussiana.

Nota 2 — Para algunas aplicaciones, el efecto de la dispersión cromática es insignificante, en cuyo caso ésta puede despreciarse.

Nota 3 — La anchura de banda cromática total, $B_{\text{cromática}}$, es inversamente proporcional al largo de la sección y, suponiendo que el espectro de la fuente es gaussiano, se puede expresar así:

$$B_{\text{cromática}} \text{ (MHz)} = (\Delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L/0,44)^{-1}$$

donde:

$\Delta\lambda$ = anchura espectral de radiación entre puntos al 50% de amplitud (nm),

$D(\lambda)$ = coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)],

L = largo de sección (km).

3.2.1 Anchura de banda de distorsión modal

Los valores de la anchura de banda de distorsión modal en una sección elemental de cable se obtienen de la correspondiente especificación de la fibra. No obstante, es posible que la anchura de banda de distorsión modal, de la sección elemental de cable no sea una adición lineal de las respuestas individuales, debido al acoplamiento de modos y a otros efectos que se producen en los empalmes y, algunas veces, a lo largo de la fibra.

La anchura de banda de distorsión modal para una sección elemental de cable viene dada por:

$$B_{\text{modal total}} = \left\{ \sum_1^x B_{\text{modal } n}^{\frac{-1}{\gamma}} \right\}^{-\gamma}$$

donde

$B_{\text{modal total}}$ = anchura de banda de distorsión modal total de una sección elemental de cable,

$B_{\text{modal } n}$ = anchura de banda de distorsión modal, en MHz, de la n -ésima fibra de una sección elemental de cable,

x = número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable,

γ = factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal.

Nota — El valor de γ , factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal, está generalmente comprendido entre 0,5 y 1,0 dependiendo su valor preciso de los efectos del acoplamiento de modos en los empalmes, la compensación de perfil alfa, la longitud de onda de anchura de banda máxima, etc. En determinadas circunstancias, pueden obtenerse también valores menores. Para una fibra dada, el valor apropiado de γ que ha de aplicarse puede hallarse empíricamente y, normalmente, puede obtenerse del fabricante del cable o de las fibras.

ANEXO A

(a la Recomendación G.651)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

A.1 método de prueba alternativo (MPA)

Método en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica de una manera acorde con la definición de esta característica y da resultados reproducibles que pueden relacionarse con los del método de prueba de referencia y con el uso práctico.

A.2 coeficiente de atenuación

En una fibra óptica, atenuación por unidad de longitud.

Nota — La atenuación es la tasa de decrecimiento de la potencia óptica media con respecto a la distancia a lo largo de la fibra y viene definida por la ecuación:

$$P(z) = P(0) 10^{-(\alpha z / 10)}$$

donde

$P(z)$ = potencia a la distancia z a lo largo de la fibra,

$P(0)$ = potencia en $z = 0$,

α = coeficiente de atenuación en dB/km si z viene en km.

A partir de esta ecuación se obtiene el coeficiente de atenuación:

$$\alpha = - \frac{10 \log_{10} [P(z)/P(0)]}{z}$$

Esto presupone que α es independiente de z .

A.3 anchura de banda (de una fibra óptica)

Valor numéricamente igual a la menor de las frecuencias para las que la magnitud de la función de transferencia de banda base de una fibra óptica decrece hasta una fracción especificada, generalmente -3 dB entre puntos ópticos (-6 dB entre puntos eléctricos), del valor para la frecuencia cero.

Nota — La anchura de banda está limitada por varios mecanismos: en el caso de las fibras multimodo los principales son la distorsión modal y la dispersión cromática.

A.4 dispersión cromática

Diseminación de un impulso luminoso causada en una fibra óptica por las diferentes velocidades de grupo de las diferentes longitudes de onda que componen el espectro de la fuente.

Nota — La dispersión cromática puede deberse a una o más de las siguientes contribuciones: dispersión debida al material, dispersión debida al guiaoondas, dispersión debida al perfil de índice. La dispersión por polarización no produce efectos apreciables en las fibras circularmente simétricas.

A.5 coeficiente de dispersión cromática

Dispersión cromática por unidad de anchura espectral de la fuente y unidad de longitud de la fibra. Suele expresarse en ps/(nm · km).

A.6 revestimiento

Material dieléctrico de una fibra óptica que rodea al núcleo.

A.7 supresor de modos de revestimiento

Dispositivo que favorece la conversión de los modos de revestimiento en modos de radiación.

A.8 núcleo

La región central de una fibra óptica, a través de la cual se transmite la mayor parte de la potencia óptica.

A.9 superficie del núcleo

En una sección transversal de una fibra óptica, superficie en la cual el índice de refracción, en todas partes (salvo alguna eventual depresión del índice) es mayor que el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento en una fracción determinada de la diferencia entre el índice de refracción máximo del núcleo y el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

Nota — La superficie del núcleo es la superficie de la menor sección transversal de una fibra, excluida toda depresión en el índice, comprendida en el lugar geométrico de los puntos en que el índice de refracción n_3 viene dado por:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2) \text{ (véase la figura A-1/G.651)}$$

donde:

n_1 = máximo índice de refracción del núcleo de la fibra,

n_2 = índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento de la fibra.

k = es una constante.

Nota — A menos que se especifique otra cosa, se supone un valor de k de 0.05.

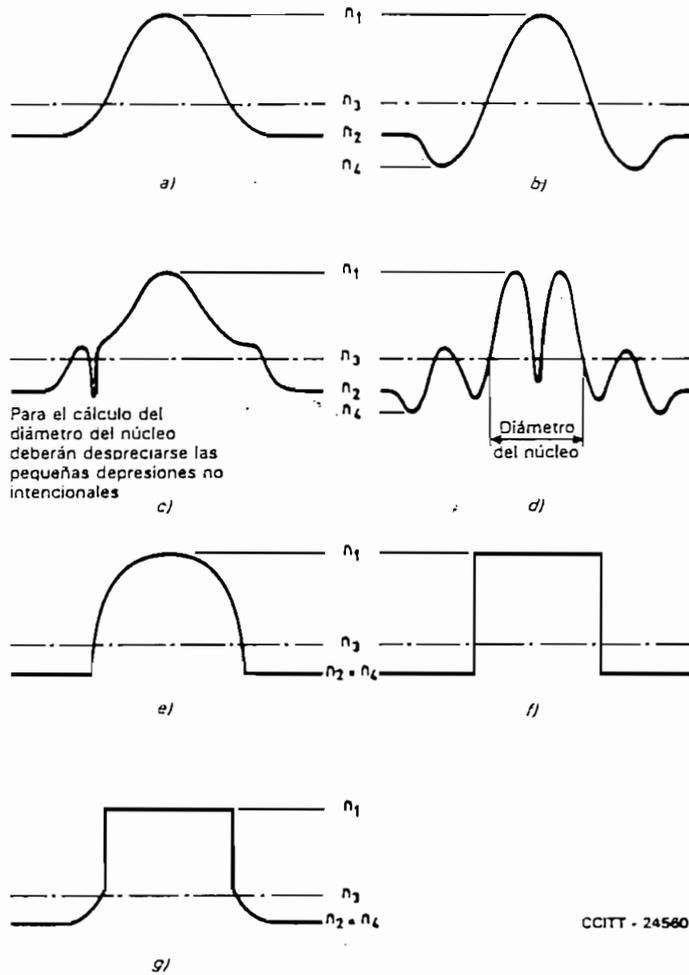


FIGURA A-1/G.651

Algunos perfiles del índice de refracción

A.10 centro del núcleo (del revestimiento)

En una sección transversal de una fibra óptica, es el centro del círculo que se ajusta mejor al límite exterior de la superficie del núcleo (o revestimiento).

Nota 1 — Estos centros pueden no coincidir.

Nota 2 — Debe especificarse el método de mejor ajuste.

A.11 diámetro del núcleo (o del revestimiento)

Diámetro del círculo que define el centro del núcleo (o del revestimiento).

A.12 desviación del diámetro del núcleo (o del revestimiento)

Diferencia entre los valores real y nominal del diámetro del núcleo (o del revestimiento).

A.13 error de concentricidad del núcleo/revestimiento

Distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento dividida por el diámetro del núcleo.

A.14 campo de tolerancia del núcleo (o del revestimiento)

En una sección transversal de una fibra óptica, región entre el círculo que circunscribe la superficie del núcleo (o del revestimiento) y el mayor de los círculos concéntricos con el primero, que se ajustan a la superficie del núcleo (o del revestimiento). Ambos círculos tendrán el mismo centro que el núcleo (o el revestimiento).

A.15 plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos

Plantilla constituida por cuatro círculos concéntricos que se aplica al diagrama de radiación de campo próximo de la fibra.

Nota — La plantilla se utiliza normalmente como comprobación global de la aceptabilidad de los diversos parámetros geométricos de la fibra en un proceso simple.

A.16 plantilla de índice de refracción de cuatro círculos concéntricos

Plantilla constituida por cuatro círculos concéntricos que se aplica al perfil del índice de refracción completo de la fibra.

Nota — La plantilla se utiliza normalmente como comprobación global de la aceptabilidad de los diversos parámetros geométricos de la fibra en un proceso simple.

A.17 máxima apertura numérica teórica

Valor teórico de la apertura numérica calculado a partir de los valores del índice de refracción del núcleo y del revestimiento, y dado por la fórmula:

$$AN_{l\text{máx}} = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

donde

n_1 = índice de refracción del núcleo,

n_2 = índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

Nota — La relación entre AN (véase A.21) y $AN_{l\text{máx}}$ se da en la sección I del anexo B, § B.2.2.

A.18 filtro de modos

Dispositivo diseñado para aceptar o rechazar uno o varios modos determinados.

A.19 mezclador de modos

Dispositivo para inducir la transferencia de energía entre modos en una fibra óptica, mezclando efectivamente los modos.

Nota — Se utiliza frecuentemente para conseguir una distribución de modos que sea independiente de las características de la fuente.

A.20 no circularidad del núcleo (superficie del revestimiento)

Diferencia entre los diámetros de los dos círculos definidos por el campo de tolerancia del núcleo (superficie del revestimiento) dividida por el diámetro del núcleo (superficie del revestimiento).

A.21 apertura numérica

La apertura numérica AN es el seno del ángulo mitad del vértice del cono de rayos más grande que puede entrar o salir del núcleo de una fibra óptica, multiplicado por el índice de refracción del medio en que se encuentra el vértice del cono.

A.22 superficie de referencia

Superficie cilíndrica de una fibra óptica a la que se hace referencia al efectuar las uniones.

Nota — La superficie de referencia suele ser el revestimiento o la superficie del recubrimiento primario. Sólo en circunstancias poco frecuentes podría ser la superficie del núcleo.

A.23 método de prueba de referencia (MPR)

Método de prueba en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica estrictamente de acuerdo con la definición de esta característica, y que da resultados exactos, reproducibles y relacionables con el uso práctico.

A.24 perfil del índice (de refracción)

Distribución del índice de refracción a lo largo de un diámetro de una fibra óptica.

ANEXO B

(a la Recomendación G.651)

Métodos de prueba

Por regla general, se indican en este anexo el método de prueba de referencia y los métodos de prueba alternativos para cada parámetro y se prevé que tanto el MPR como los MPA sean adecuados para fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, al emplear un MPA puede haber alguna discrepancia, por lo que se recomienda que se emplee el MPR como técnica destinada a proporcionar resultados de medición definitivos.

Sección I — *Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la medición de parámetros geométricos y ópticos*

B.1 *Introducción*

B.1.1 *Consideraciones generales*

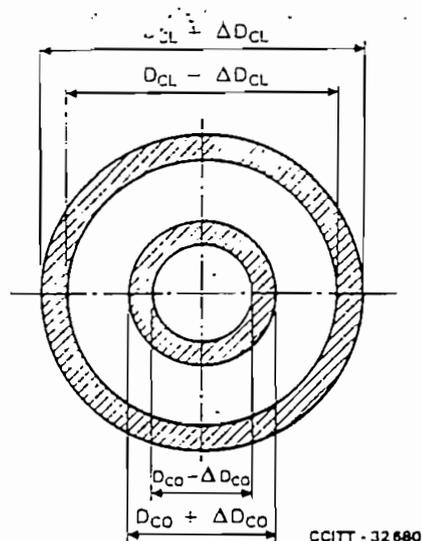
Se supone que los parámetros geométricos y ópticos que son objeto de esta Recomendación, se medirán solamente en fábrica o en los laboratorios de ciertas Administraciones que deseen verificarlos con miras al diseño de sistemas o para otros fines. Por tanto, se ha previsto que las mediciones se efectuarán ya sea en muestras constituidas por largos de fibra o en muestras tomadas de largos de fabricación de cables.

El diámetro y la no circularidad del núcleo se definen utilizando como base el perfil del índice de refracción. Los parámetros restantes pueden derivarse a partir del perfil del índice de refracción. En consecuencia, todos los parámetros geométricos y ópticos que son objeto de esta Recomendación y sus tolerancias en su caso, podrían obtenerse mediante una sola prueba básica.

B.1.1.1 *Campo de tolerancia de cuatro círculos*

Un modo sencillo de verificar los parámetros geométricos de la fibra es el método del «campo de tolerancia de cuatro círculos», que no es un requisito adicional impuesto a las características geométricas de la fibra sino otra comprobación global de las mismas. Si aparece cualquier discrepancia entre los resultados de este método y los de la comprobación de las diferentes características individuales, la referencia será esta última.

El método del «campo de tolerancia de cuatro círculos» se basa en la plantilla representada en la figura B-1/G.651, donde los diámetros de los dos círculos concéntricos correspondientes al núcleo (cuyo diámetro es D_{co}) son respectivamente $D_{co} - 4 \mu\text{m}$ y $D_{co} + 4 \mu\text{m}$ y los diámetros de los dos círculos concéntricos correspondientes al revestimiento (cuyo diámetro es D_{CL}) son respectivamente $D_{CL} - 5 \mu\text{m}$ y $D_{CL} + 5 \mu\text{m}$. Este método puede aplicarse a los datos obtenidos por el método de prueba de referencia (plantilla del índice de refracción de cuatro círculos concéntricos) o por el método de prueba alternativo (plantilla del campo próximo de cuatro círculos concéntricos).



- D_{CO} Diámetro nominal del núcleo
- ΔD_{CO} Tolerancia del círculo relativo al núcleo = $4 \mu\text{m}$
- D_{CL} Diámetro nominal del revestimiento
- ΔD_{CL} Tolerancia del círculo relativo al revestimiento = $5 \mu\text{m}$

FIGURA B-1/G.651

B.1.1.2 Factor de calidad intrínseca

La AN teórica máxima, el diámetro del núcleo, el error de concentricidad y la no circularidad del núcleo se desvían simultáneamente con respecto a sus valores nominales en formas tales que pueden sumarse o compensarse unas con otras. Para tener debidamente en cuenta estos efectos se ha calculado una pérdida teórica por empalme utilizando los valores de estos parámetros geométricos y ópticos medidos por métodos de prueba existentes. Puede suponerse una distribución gaussiana o en régimen permanente de la potencia en función del ángulo. El factor de calidad intrínseca (FCI) puede calcularse como la media de las pérdidas teóricas por empalme en los dos sentidos de transmisión cuando la fibra sometida a prueba está empalmada a una fibra de características nominales con una desalineación nula de las superficies de referencia. Un valor de FCI de 0,27 dB es compatible con las tolerancias individuales recomendadas en el § 1. Si aparece cualquier discrepancia entre los resultados obtenidos con el método FCI y los de la comprobación de las diferentes características, la referencia será esta última.

B.1.2 Características geométricas

Los diámetros del núcleo y del revestimiento de la fibra sometida a prueba, así como los centros del núcleo y del revestimiento, se pueden determinar a partir de un número adecuado de puntos, distribuidos convenientemente en la frontera núcleo/revestimiento, y en la superficie exterior del revestimiento, respectivamente.

Si se adopta un explorador de barrido por cuadrículas, se debe seleccionar un número mayor de puntos a fin de garantizar una distribución lo suficientemente regular.

El error de concentricidad se puede calcular a partir de la distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento.

Las no circularidades del núcleo y del revestimiento se pueden determinar a partir del campo de tolerancia.

B.2 Métodos de prueba de referencia para parámetros geométricos y método de prueba alternativo para la apertura numérica: técnica del campo próximo refractado

B.2.1 Consideraciones generales

La medición del campo próximo refractado es simple, segura y da directamente la variación del índice de refracción en toda la sección transversal de la fibra (núcleo y revestimiento). La medición puede hacerse con buena resolución y calibrarse para obtener valores absolutos del índice de refracción.

En la figura B-2a/G.651 se muestra un diagrama esquemático de la medición. La técnica consiste en la exploración de un punto luminoso enfocado a través del extremo de la fibra. El dispositivo óptico de inyección se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra. El extremo de la fibra se sumerge en un líquido de índice ligeramente superior al del revestimiento. Parte de la luz es guiada por la fibra y el resto aparece como un cono hueco fuera de la fibra. Se coloca un disco sobre el eje del núcleo para asegurarse de que sólo llegue al detector la luz refractada. La salida del detector se amplifica y visualiza como eje y de un registrador x-y: la excitación del eje x se obtiene por control de la posición del punto luminoso enfocado en el extremo de la fibra. En la figura B-2b/G.651 se muestra un perfil de índice típico de una fibra multimodo de índice gradual.

La resolución óptica, y por tanto la posibilidad de resolver detalles del perfil, depende del tamaño del punto luminoso enfocado. Ésta depende de la apertura numérica de la lente de enfoque y del tamaño del disco. Sin embargo, la posición de los rasgos más acusados puede resolverse con una exactitud mucho mayor que ésta, según el tamaño del escalón en los sistemas motores por pasos, o según la exactitud del control de posición en los sistemas analógicos.

B.2.2 Apertura numérica y diferencia de índice de refracción

La apertura numérica teórica máxima se define como:

$$AN_{I\text{máx}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

La diferencia de índice se define como:

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

La diferencia de índice relativa se define como:

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$$

donde:

n_1 = índice de refracción máximo del núcleo de la fibra,

n_2 = índice de refracción de la región más profunda del revestimiento.

Los valores de n_1 y n_2 pueden determinarse por la técnica del campo próximo refractado, y a partir de ellos pueden calcularse $AN_{I\text{máx}}$, Δn y Δ .

La máxima apertura numérica teórica $AN_{I\text{máx}}$ determinada de esta forma puede ser superior (ordinariamente del 5% al 7%) a la apertura numérica AN por el MPR.

B.2.3 Equipo de prueba

En la figura B-3/G.651 se muestra un diagrama esquemático del equipo de prueba.

B.2.3.1 Fuente

Se necesita un láser estable con una potencia de algunos milivatios en el modo TEM₀₀.

Puede utilizarse un láser HeNe, cuya longitud de onda es de 633 nm, pero debe aplicarse un factor de corrección a los resultados para su extrapolación a diferentes longitudes de onda. Debe señalarse que la medición a 633 nm puede no dar una información completa para las longitudes de onda superiores; en particular, las impurezas no uniformes de una fibra pueden afectar a la corrección.

Se introduce una placa de un cuarto de onda para cambiar la polarización del haz de línea circular, pues la reflectividad de la luz en un interfaz aire-vidrio depende mucho del ángulo y de la polarización.

Un hueco de alfiler en el foco de la lente 1 actúa como filtro espacial.

B.2.3.2 Condiciones de inyección

El dispositivo óptico de inyección, que se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra, enfoca un haz luminoso sobre el extremo plano de la fibra. El eje óptico del haz luminoso no debe estar a más de 1° del eje de la fibra. La resolución del equipo la determina el tamaño del punto enfocado, que debe ser lo más pequeño posible para hacer máxima la resolución, p.ej., inferior a 1,5 μm. El equipo permite la exploración del punto enfocado a lo largo del diámetro de la fibra.

B.2.3.3 Célula líquida

El líquido en la célula debe tener un índice de refracción algo mayor que el del revestimiento de la fibra.

B.2.3.4 *Detección*

La luz refractada se capta y se lleva al detector de cualquier manera conveniente, pero debe captarse toda la luz refractada. Puede determinarse por cálculo el tamaño necesario del disco y su posición a lo largo del eje central.

B.2.4 *Preparación de la fibra sometida a prueba*

Se requiere un largo de fibra de 1 m aproximadamente.

Se quita el recubrimiento primario de la fibra en la sección sumergida en la célula líquida.

Los extremos de la fibra deben estar limpios y tener una superficie suave, y hallarse en posición perpendicular al eje de la fibra.

B.2.5 *Procedimiento*

Véase el diagrama esquemático del aparato de prueba (figura B-3/G.651).

B.2.5.1 *Representación del perfil de la fibra*

El extremo de inyección de la fibra que ha de medirse se sumerge en una célula líquida cuyo índice de refracción es ligeramente superior al del revestimiento de la fibra. La fibra se retroilumina con la luz de una lámpara de tungsteno. Las lentes 2 y 3 producen una imagen enfocada de la fibra.

A la vez que se ajusta la posición de la lente 3 para centrar y enfocar la imagen de la fibra, el haz láser se centra y enfoca simultáneamente en la fibra.

Se centra el disco en el cono de salida. Con fibras multimodo, el disco se dispone sobre el eje óptico de forma que sólo bloquee los modos de propagación de fuga. Los modos refractados que pasan por el disco se captan y enfocan en un fotodiodo.

Se hace desplazar el punto láser enfocado sobre el extremo de la fibra y se obtiene directamente una representación de la variación del índice de refracción de ésta.

B.2.5.2 *Calibración del equipo*

El equipo se calibra con la fibra fuera de la célula líquida. Durante la medición, el ángulo del cono luminoso varía según el índice de refracción visto en el punto de entrada a la fibra (de ahí la variación de potencia que atraviesa el disco). Una vez sacada la fibra y conocidos el índice del líquido y el espesor de la célula puede simularse este cambio del ángulo desplazando el disco a lo largo del eje óptico. Desplazando el disco cierto número de posiciones determinadas de antemano puede trazarse a escala el perfil en función de índice relativo. El índice absoluto, es decir, n_1 y n_2 , sólo puede determinarse si se conoce con exactitud el índice del revestimiento o del líquido a la longitud de onda y a la temperatura en que se efectúa la medición.

B.2.6 *Presentación de los resultados*

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) Disposición del montaje de prueba y procedimiento de corrección de la longitud de onda, así como indicación de la técnica de exploración utilizada.
- b) Identificación de la fibra.
- c) Según los requisitos de la especificación:
 - i) perfiles a través de los centros del núcleo y del revestimiento, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - ii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del núcleo, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - iii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del revestimiento, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - iv) exploración de barrido a través de toda la fibra, si se adopta;
 - v) diámetro del núcleo¹⁾;
 - vi) diámetro del revestimiento¹⁾;
 - vii) error de concentricidad núcleo/revestimiento;
 - viii) no circularidad del núcleo;

¹⁾ Véase el apéndice I.

- ix) no circularidad del revestimiento:
 - x) apertura numérica teórica máxima: $AN_{t,max}$:
 - xi) diferencia de índice: Δn :
 - xii) diferencia de índice relativa: Δ .
- d) Indicación de la exactitud y la repetibilidad.
- e) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

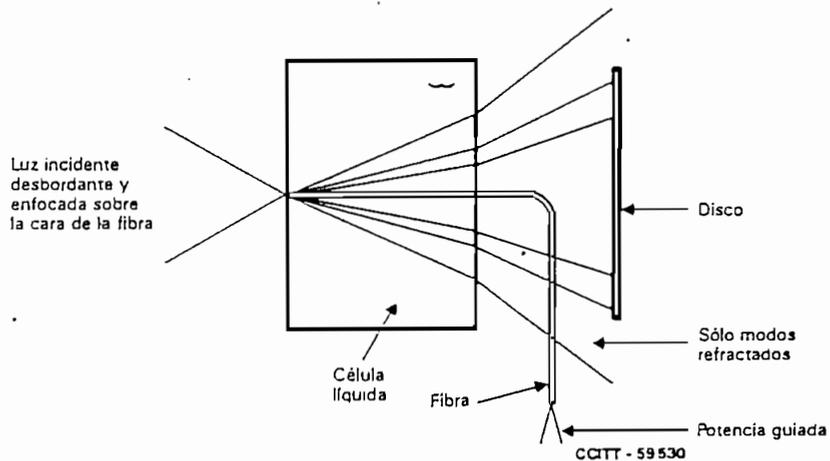


FIGURA B-2a/G.651
Técnica del campo próximo refractado – Diagrama esquemático

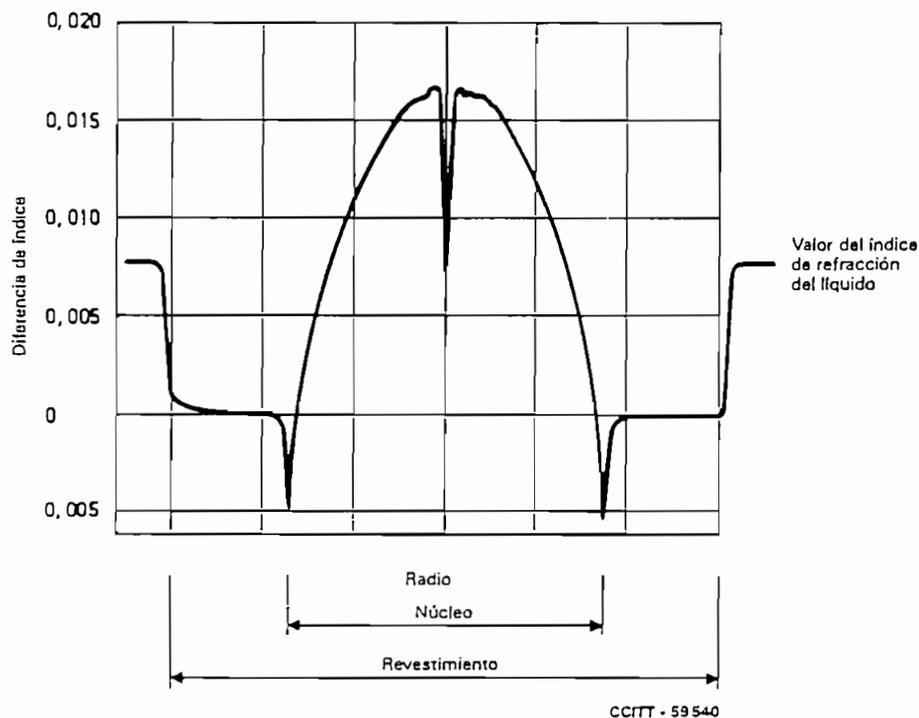


FIGURA B-2b/G.651
Perfil del índice típico de una fibra de índice gradual obtenido por la técnica del campo próximo refractado

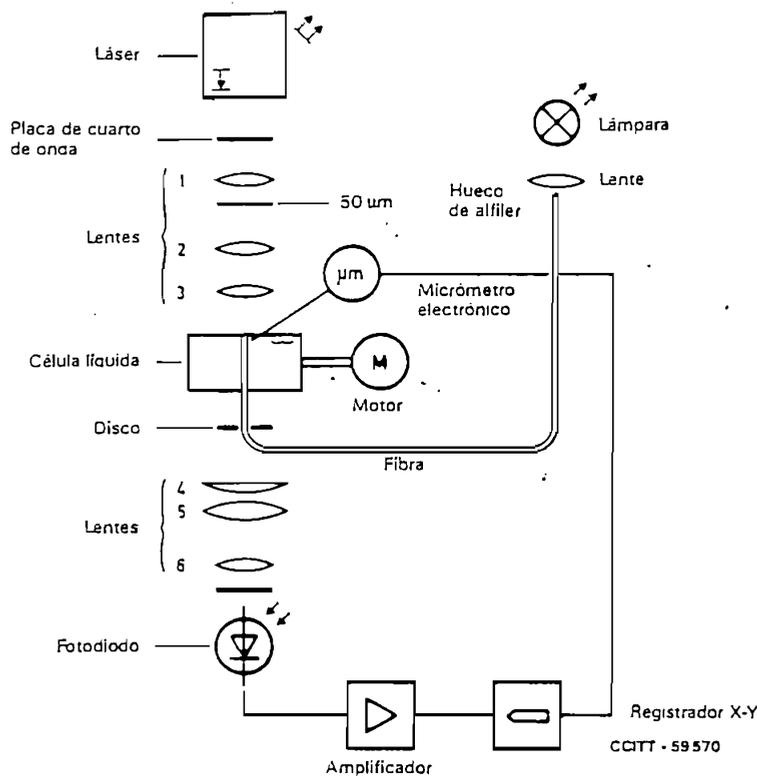


FIGURA B-3/G.651

Disposición típica del montaje de prueba con la técnica del campo próximo refractado

B.3 Método de prueba alternativo para parámetros geométricos: técnica de campo próximo transmitido

B.3.1 Consideraciones generales

Puede aplicarse la técnica de campo próximo para la medición de las características geométricas y del perfil del índice de refracción de las fibras ópticas multimodo. Se efectúan tales mediciones de una manera conforme a la definición, y los resultados podrán reproducirse, y relacionarse con el método de prueba de referencia y el uso en la práctica.

La medición se basa en la exploración de una imagen magnificada del extremo de salida de la fibra que se prueba, sobre una sección transversal donde está colocado el detector.

Cuando se miden las características geométricas de la fibra, puede aplicarse la plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos a una imagen agrandada de la fibra detectada por métodos de evaluación objetiva, apropiados para lograr un alto grado de exactitud y reproducibilidad. Se señala, en particular, que el diámetro del núcleo ha de medirse teniendo en cuenta el mismo factor adoptado para el método de prueba de referencia.

B.3.2 Aparatos de prueba

En la figura B-4/G.651 se representa un esquema del aparato de prueba.

B.3.2.1 Fuente luminosa

La fuente luminosa será incoherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que pueda realizarse el procedimiento de medición completo. Se registrará la anchura espectral al 50%. Si es necesario, se utilizarán una segunda fuente luminosa para iluminar el revestimiento.

B.3.2.2 *Condiciones de inyección*

La óptica de inyección, que se dispondrá de modo que desborde sobre la sección de la fibra, aplicará un haz luminoso a un foco situado en el extremo plano de entrada de la fibra.

En el caso de las fibras de 50/125 μm de índice gradual, las condiciones de inyección desbordante se obtienen con un cono luminoso cuya anchura entre puntos de amplitud mitad medida desde el campo próximo sea superior a 70 μm y cuya anchura en la apertura numérica (AN), medida desde el campo lejano sea mayor que una AN de 0.3.

B.3.2.3 *Supresor de modos propagados por el revestimiento*

Se empleará un supresor adecuado de los modos propagados por el revestimiento. Este dispositivo suprime la potencia óptica que se propaga por el material que envuelve al núcleo y asegura que todos los modos de propagación de fuga serán eliminados de la fibra. Cuando se midan las características geométricas del revestimiento únicamente, el supresor de modo de los propagados por el revestimiento no podrá estar presente.

B.3.2.4 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica que ha de medirse. Se retirará el recubrimiento primario de la sección de la fibra insertada en el supresor de modos. Los extremos de la fibra deberán estar limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra.

Nota — Esta medición puede efectuarse en pedazos muy cortos de fibra (por ejemplo, unos centímetros). En este caso, las condiciones de inyección se ajustarán para obtener una intensidad uniforme en el revestimiento por debajo del 15% de la intensidad luminosa máxima en el núcleo.

B.3.2.5 *Dispositivo óptico de magnificación*

El dispositivo óptico de magnificación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo un objetivo de microscopio) que magnifica el campo próximo de la salida del espécimen, y lo focaliza en el plano del detector de exploración. La apertura numérica y, por consiguiente, el poder de resolución del dispositivo óptico deberá ser compatible con la exactitud de medición requerida y no será inferior a 0,3. La magnificación se escogerá de modo que sea compatible con la resolución especial deseada, y se anotará.

B.3.2.6 *Detector*

Se utilizará un detector apropiado que permitirá obtener la intensidad punto a punto del diagrama de campo próximo magnificado. Por ejemplo, podrá emplearse cualquiera de las siguientes técnicas.

- a) fotodetector de exploración con abertura de «hueco de alfiler»;
- b) espejo de exploración con abertura de hueco de alfiler fija y fotodetector;
- c) vidicon de exploración, dispositivos acoplados por carga u otros dispositivos de reconocimiento de diagrama/intensidad.

El comportamiento del detector deberá ser lineal (o será linealizado) en toda la gama de intensidades observadas. La zona sensible del detector será pequeña con relación a la imagen ampliada del extremo de salida de la fibra, y se registrará.

B.3.2.7 *Amplificador*

Se utilizará un amplificador para aumentar el nivel de la señal. Su anchura de banda se escogerá según el tipo de exploración utilizado. Cuando se explora el extremo de salida de la fibra con sistemas mecánicos u ópticos, suele modularse la fuente óptica. Cuando se adopta este procedimiento, el amplificador deberá estar asociado a la frecuencia de modulación de la fuente. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.3.2.8 *Almacenamiento de datos*

Los datos medidos de la repartición de la intensidad de campo próximo pueden registrarse y presentarse en forma adecuada de conformidad con la técnica de exploración y los requisitos de la especificación.

B.3.3 *Procedimiento*

B.3.3.1 *Culibración de los equipos*

Deberá medirse la magnificación del sistema óptico explorando la longitud del espécimen, cuyas dimensiones se conocen ya con exactitud suficiente. Se registrará dicha magnificación.

B.3.3.2 Medición

El extremo de inyección de la fibra se alinea con el eje de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alinea con el eje óptico del dispositivo óptico de magnificación. La imagen focalizada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector, de conformidad con los requisitos de la especificación. La focalización se efectuará con la máxima exactitud, a fin de reducir los errores dimensionales debidos a la exploración de una imagen mal focalizada.

B.3.4 Presentación de los resultados

Se presentarán los siguientes detalles:

- a) configuración del montaje de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- b) características de inyección (dimensión y AN del punto de inyección);
- c) longitud de onda y anchura espectral al 50%;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) tipo de supresor de modos de revestimiento (en su caso);
- f) magnificación del equipo;
- g) tipo y dimensiones del detector de exploración;
- h) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (en caso necesario);
- i) indicación de la exactitud y repetibilidad;
- j) según los requisitos de la especificación:
 - i) perfiles a través de los centros del núcleo y del revestimiento;
 - ii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del núcleo;
 - iii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del revestimiento;
 - iv) diagrama de la exploración sobre toda la cara del extremo de la fibra, si se adopta;
 - v) parámetros dimensionales resultantes, como: diámetros del núcleo y del revestimiento²⁾, no circularidad del núcleo y del revestimiento, error de concentricidad núcleo/revestimiento, etc.

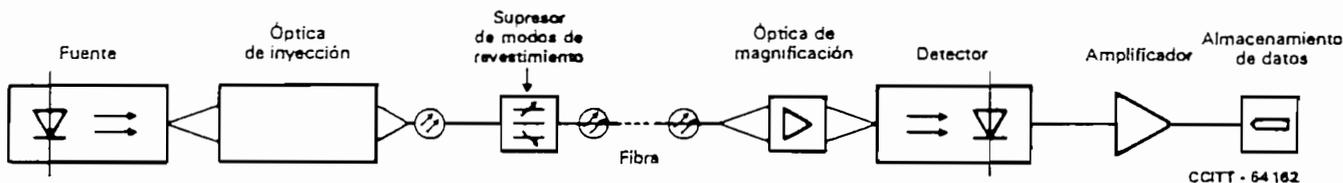


FIGURA B-4/G.651

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo

B.4 Método de prueba de referencia para la apertura numérica — Distribución en el campo lejano

B.4.1 Objetivo

Este método de medición se aplica a las fibras de índice gradual para determinar la apertura numérica midiendo la distribución de la luz en el campo lejano.

B.4.2 Preparación del espécimen

Se toma una muestra de unos 2 m de longitud en un extremo de la fibra que ha de medirse. La muestra ha de ser suficientemente recta para que no se produzcan pérdidas por flexión. Los extremos de la muestra deberán estar muy limpios, planos y perpendiculares al eje de la fibra.

²⁾ Véase el apéndice I.

B.4.3 Equipo

B.4.3.1 Fuente luminosa

Se empleará una fuente luminosa no coherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para completar el procedimiento de medición.

B.4.3.2 Detector

El detector tendrá una característica lineal en toda la gama de medición requerida. (La corriente de salida del detector deberá ser una función lineal de potencia luminosa recibida.)

B.4.3.3 Condiciones de inyección

Véase el § B.3.2.2.

B.4.3.4 Supresor de modos de revestimiento

Véase el § B.3.2.3.

B.4.3.5 Visualización

Por ejemplo, registrador XY, pantalla.

B.4.4 Procedimiento

B.4.4.1 Principio de la medición (figura B-5/G.651)

La intensidad radiante (potencia luminosa por unidad de ángulo sólido) se determina como una función del ángulo polar de un plano del eje de la fibra (diagrama de radiación). La distancia d entre el extremo de la muestra y el detector ha de ser grande en relación con el diámetro del núcleo de la fibra óptica.

Soluciones posibles:

- muestra fija, detector de gran superficie fijo;
- muestra fija, detector lineal de pequeña superficie desplazable;
- muestra lineal desplazable, detector de pequeña superficie fijo;
- muestra fija, detector de pequeña superficie con desplazamiento angular;
- extremo de la muestra giratorio, detector de pequeña superficie fijo.

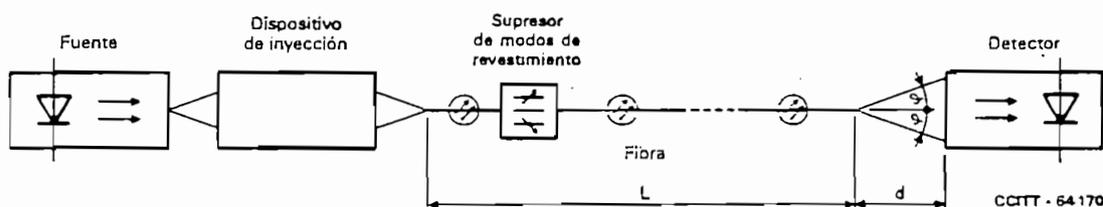


FIGURA B-5/G.651

Principio de medición de la distribución en el campo lejano transmitido

B.4.4.2 Preparación

Se fija la muestra en el portamuestras y se le inyecta la luz de conformidad con el § B.4.3.3.

B.4.4.3 Medición

La intensidad radiante se determina en función del ángulo polar en un plano del eje de la fibra.

B.4.5 Resultados

Las fibras tratadas en esta Recomendación tienen un perfil del índice de refracción casi parabólico. Por tanto, para las condiciones de inyección de § B.4.3.3 (distribución de modo uniforme), la curva de intensidad radiante en campo lejano puede aproximarse, en la región por encima del 10% de la intensidad máxima, por la siguiente parábola:

$$P(\varphi) = P(0) [1 - (\text{sen } \varphi / AN)^2]$$

Se determina entonces el ángulo φ por el punto de intersección de esta parábola con el eje de abscisas. Por lo general, basta con determinar el ángulo φ adoptando el 5% de la máxima intensidad radiante para el total de la curva de intensidad radiante.

La apertura numérica es:

$$AN = \text{sen } \varphi.$$

B.4.6 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración del montaje de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- b) características de inyección (dimensión y AN del cono de inyección);
- c) longitud de onda y anchura espectral;
- d) tipo de supresor de modos de revestimiento (si se utiliza);
- e) condiciones de exploración;
- f) identificación y longitud de la fibra;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- h) indicación de exactitud y repetibilidad;
- i) apertura numérica resultante.

APÉNDICE I

(a la sección I del anexo B a la Recomendación G.651)

En este apéndice se exponen los cálculos que pueden efectuarse para obtener las posiciones de los centros del núcleo y del revestimiento, así como sus diámetros.

I.1 Centro y diámetro del núcleo

El diámetro y el centro del núcleo se determinan mediante una cantidad suficiente de exploraciones a través de una sección de la fibra con el valor k apropiado. En cada exploración se obtienen dos puntos de la frontera núcleo/revestimiento. Los puntos deberán estar distribuidos de forma uniforme en el perímetro del núcleo, al menos aproximadamente.

Sean:

- x_i, y_i las coordenadas cartesianas del punto i -ésimo de la frontera,
- a_c, b_c las coordenadas cartesianas del centro del núcleo,
- R_c el radio del núcleo,
- z, m_i las variables intermedias $z = a_c^2 + b_c^2 - R_c^2$ y $m_i = x_i^2 + y_i^2$.

Los parámetros desconocidos a_c, b_c y R_c se obtienen buscando el círculo que mejor represente, según la regla de ajuste por los mínimos cuadrados, la frontera experimental entre el núcleo y el revestimiento. El algoritmo de cálculo consiste en hacer mínima, respecto de los parámetros a_c, b_c y z , la magnitud:

$$\begin{aligned} M &= \sum_i \left[(x_i - a_c)^2 + (y_i - b_c)^2 - R_c^2 \right]^2 \\ &= \sum_i (x_i^2 + y_i^2 - 2a_c x_i - 2b_c y_i + z)^2 \end{aligned}$$

La anulaci3n de las tres derivadas parciales de M respecto de a_c , b_c y z arroja un sistema de tres ecuaciones lineales que reviste la forma matricial siguiente:

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_i x_i^2 & 2 \sum_i x_i y_i & - \sum_i x_i \\ 2 \sum_i x_i y_i & 2 \sum_i y_i^2 & - \sum_i y_i \\ 2 \sum_i x_i & 2 \sum_i y_i & - N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_c \\ b_c \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i x_i \\ \sum_i m_i y_i \\ \sum_i m_i \end{bmatrix}$$

Las sumas se efectúan de $i = 1$ a $i = N$, siendo

N el númer total de puntos medidos.

La inversi3n numérica de este sistema de los valores de a_c , b_c y z , lo que permite deducir el de R_c .

El centro del núcleo es el punto de coordenadas a_c y b_c , y su diámetro es $D_c = 2 R_c$.

1.2 Centro y diámetro del revestimiento

El mismo procedimiento de cálculo y las mismas definiciones que para el núcleo permiten determinar:

- las coordenadas del centro del revestimiento a_g y b_g ,
- el radio del revestimiento R_g .

El centro del revestimiento es el punto de coordenadas a_g y b_g y su diámetro es $D_g = 2 R_g$.

Sección II — Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para las mediciones de atenuaci3n

B.1 Introducci3n

B.1.1 Objetivos

Las mediciones de atenuaci3n tienen por objeto proporcionar un medio que permita asignar cierto valor del coeficiente de atenuaci3n a un largo de fibra de modo que los valores de atenuaci3n de cada tramo puedan sumarse para determinar la atenuaci3n total de un cable compuesto de varios tramos concatenados.

B.1.2 Defini3n

La atenuaci3n $A(\lambda)$ y una longitud de onda λ entre dos secciones transversales 1 y 2 de una fibra separadas por una distancia L se define por:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (\text{dB})$$

donde $P_1(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la secci3n transversal 1 y $P_2(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la secci3n transversal 2 a la longitud de onda λ . Para una fibra uniforme en condici3n de equilibrio, es posible calcular la atenuaci3n por unidad de longitud, o el coeficiente de atenuaci3n

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \left[\frac{\text{dB}}{\text{unidad de longitud}} \right]$$

que es independiente de la longitud elegida de la fibra.

Nota 1 — Los valores de atenuaci3n especificados para los largos de fabricaci3n deben medirse a la temperatura ambiente (es decir, un valor único en la gama de + 10 °C a + 35 °C).

B.1.3 Descripción

Se han sugerido tres métodos para las mediciones de atenuación.

B.1.3.1 La *técnica de la fibra cortada* es una aplicación directa de la definición, en la cual se miden los niveles de potencia P_1 y P_2 en dos puntos de la fibra sin modificar las condiciones de entrada. P_2 es la potencia que sale por el extremo de la guía y P_1 es la potencia que emerge de un punto cercano al de entrada, después de cortada la fibra.

B.1.3.2 La *técnica de la pérdida de inserción* es en principio similar a la técnica de la fibra cortada, pero P_1 es la potencia que emerge de la salida del sistema de inyección. La atenuación medida es la suma de la atenuación de largo de fibra insertado y la atenuación causada por la conexión entre el sistema de inyección y la fibra medida. Es necesario corregir el resultado para tener en cuenta las pérdidas de la conexión.

B.1.3.3 La *técnica del retroesparcimiento* es una manera indirecta de determinar la atenuación midiendo las potencias retroesparcidas a través de dos secciones transversales de la fibra.

B.1.4 Campo de aplicación

En general, se ha reconocido que la técnica de la fibra cortada es la que da resultados más exactos. Pero en muchas situaciones su naturaleza destructiva constituye una desventaja.

Con la técnica de la pérdida de inserción se evita cortar una parte de la fibra, si bien a expensas de la exactitud.

La técnica del retroesparcimiento es un método no destructivo, aplicado en un solo extremo, pero está limitada en su alcance, y a veces también en su exactitud.

Analizadas las ventajas y los inconvenientes de los tres métodos, se ha elegido la técnica de la fibra cortada como método de prueba de referencia.

B.2 Método de prueba de referencia: la técnica de fibra cortada

B.2.1 Condiciones de inyección

B.2.1.1 Definición de las condiciones de inyección

Las condiciones de inyección son de capital importancia a la hora de determinar si se han cumplido los objetivos especificados. Las condiciones de inyección deben reflejar aproximadamente la distribución de modos en equilibrio (DME) que se supone existe cuando la distribución de potencia de los diagramas de campo a la salida de la fibra es esencialmente independiente de la longitud de ésta.

B.2.1.2 Técnicas de inyección

En la figura B-6/G.651 se muestra un montaje genérico para conseguir la inyección con distribución de modos en equilibrio (DME).



FIGURA B-6/G.651
Condiciones de inyección genéricas

B.2.1.2.1 *Supresor de modos propagados por el revestimiento*

Favorece la conversión de los modos que se propagan por el revestimiento en modos de radiación: como resultado desaparecen en la fibra los modos que se propagan por su revestimiento.

B.2.1.2.2 *Filtro de modos*

Es un dispositivo utilizado para seleccionar, rechazar o atenuar uno o varios modos determinados: debe asegurar el establecimiento de una distribución de modos próxima a la DME.

B.2.1.2.3 *Mezclador de modos*

Es un dispositivo utilizado para inducir la transferencia de energía entre modos en una fibra óptica, y debe proporcionar una distribución de modos que sea independiente de las características de la fuente.

Nota 1 — Pueden utilizarse disposiciones ópticas adecuadas que produzcan una distribución próxima a la distribución de modos en equilibrio directamente en el extremo de entrada de la fibra sometida a prueba. En este caso se necesita un dispositivo único para la realización de las tres funciones de la figura B-6/G.651.

B.2.1.3 *Ejemplo*

Con una fibra de 50/125 μm homogénea de índice gradual y baja atenuación, que tiene una apertura numérica de 0,2 y se utiliza a 850 nm, puede obtenerse una aproximación de la distribución de modos en equilibrio si después del punto de corte se observan las siguientes características:

- a) el valor de la anchura al 50% del haz luminoso, medida desde el campo próximo, es 26 μm ;
- b) la apertura numérica para el valor de anchura al 50%, medida desde el campo lejano, es 0,11 μm .

Se supone que los esquemas de campo próximo y de campo lejano tienen forma aproximadamente gaussiana.

Para obtener este equilibrio de la distribución modal puede utilizarse el montaje mostrado en la figura B-6/G.651.

El haz de inyección incide con el extremo de inyección de la fibra en forma de un punto centrado en el núcleo de la fibra con la intensidad luminosa con una anchura al 50% de campo próximo no inferior a 70 μm y una apertura numérica para la anchura al 50% de campo lejano no inferior a 0,3 a través de la zona central de 70 μm central del cono (para fibras con $AN < 0,25$).

El eje del haz de inyección coincide con el eje de la fibra.

El mezclador de modos debe comprender una configuración de fibras adecuada (por ejemplo, secuencia escalón-gradual-escalón o una secuencia de flexión).

El filtro de modo adopta la forma de un mandril en torno al cual se enrolla la fibra sometida a prueba, con baja tensión y en una longitud del mandril no superior a 20 mm.

El diámetro del mandril puede diferir de una fibra a otra; son comunes los valores en la gama de 18 a 22 mm, con cinco vueltas de fibra.

El diámetro exacto del mandril lo determina el fabricante de la fibra o cable, de manera que los diagramas de campo próximo y de campo lejano en los dos metros de fibra siguientes al filtro de modo y al supresor de modos propagados por el revestimiento sean los mismos que se obtienen con un largo de fibra o de fibras empalmadas (normalmente superior a 5 km) dotado de una distribución de modos estable.

A menudo, el supresor de modos propagados por el revestimiento consiste en un material que tiene un índice de refracción igual o superior al del revestimiento de la fibra.

B.2.2 *Equipo y procedimiento*

B.2.2.1 *Tipos de mediciones*

Se pueden efectuar mediciones a una o más longitudes de onda específicas, aunque también es posible que se requiera la respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. En las figuras B-7/G.651 y B-8/G.651 se presentan, a título de ejemplo, equipos de prueba adecuados.

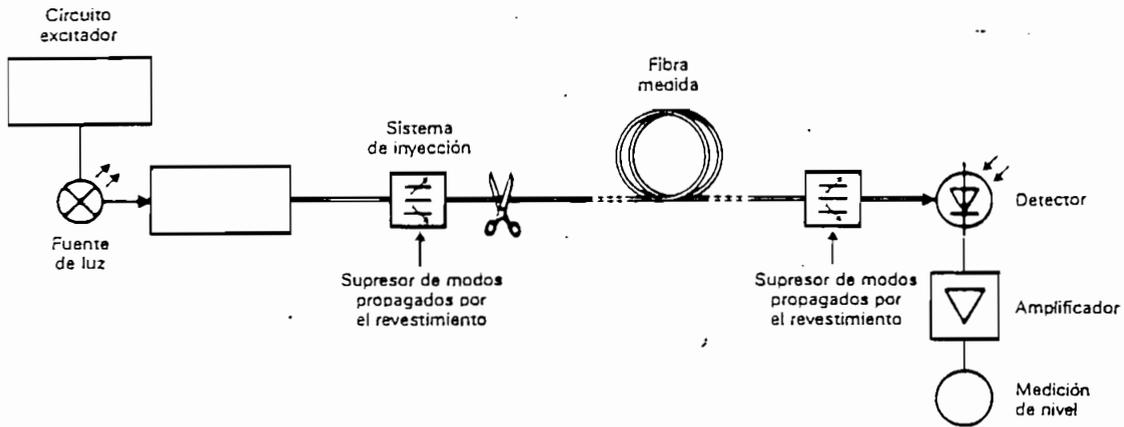
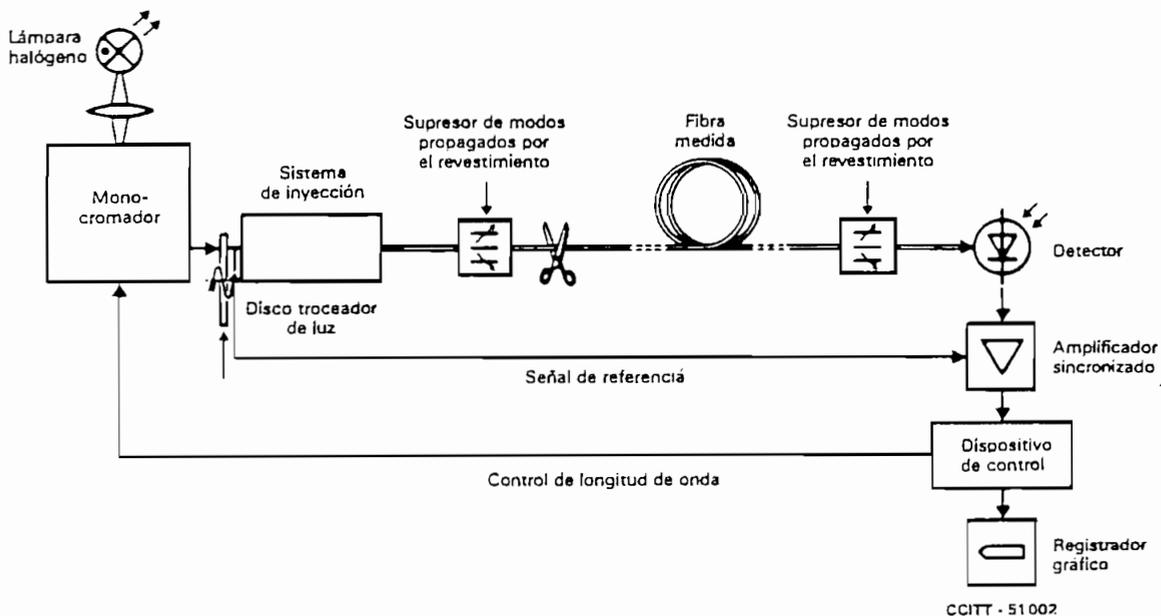


FIGURA B-7/G.651

Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en longitudes de onda discretas

CCITT - 49992



Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en una gama de longitudes de onda

FIGURA B-8/G.651
Técnica de la fibra cortada

CCITT - 51002

B.2.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente de radiación adecuada, como una lámpara, un láser o un diodo foto-emisor (LED). La elección de la fuente de radiación, el tipo de medición. La fuente debe ser estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que pueda aplicarse el procedimiento de medición completo. La anchura espectral, entre puntos al 50% de amplitud deberá especificarse de modo que sea pequeña en comparación con cualquier propiedad de la atenuación espectral de la fibra.

La fibra debe estar alineada con el cono de inyección, o conectada coaxialmente con una fibra de inyección.

B.2.2.3 Detector óptico

Se utilizará un detector de gran superficie a fin de que toda la radiación en el cono (o conos) de salida sea interceptada. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. La detección debe ser uniforme y tener características lineales.

Es costumbre modular la fuente de luz para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. Si se emplea este procedimiento, el detector debe estar asociado a un sistema de tratamiento sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.2.2.4 Montaje de inyección

Véase el § B.2.1.

B.2.2.5 Procedimiento

- 1) La fibra que se desea medir se introduce en el montaje de medida. Se mide y registra la potencia P_2 .
- 2) Manteniendo constante las condiciones de inyección, se corta la fibra a cierta distancia (por ejemplo, a 2 metros del punto de inyección). Se mide y registra la potencia P_1 que se obtiene en el punto en que se ha cortado la fibra.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido las potencias P_1 y P_2 puede calcularse utilizando la fórmula de la definición, introduciendo los valores medidos de P_1 y P_2 .

B.2.3 Presentación de los resultados

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipo y característica de la medición.
- b) Técnica de inyección.
- c) Montaje de la prueba.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra de fibra y longitud a que se corta la fibra.
- g) Atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada.
- h) Atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km.
- i) Para las mediciones de la pérdida espectral, los resultados deben presentarse en forma de una curva de atenuación en función de la longitud de onda.

B.3 Primer método de medición alternativo: técnica de la pérdida de inserción

B.3.1 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección requeridas son similares a las indicadas en el § B.2.1.

B.3.2 Equipo y procedimiento

B.3.2.1 Tipos de mediciones

Se pueden realizar mediciones a una o más longitudes de onda discretas, aunque también se puede necesitar una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. En la figura B-9/G.651 se muestra el diagrama de una configuración de prueba adecuada (a — calibración, b — medición).

B.3.2.2 Fuente óptica

Véase el § B.2.2.2.

B.3.2.3 Detector óptico

Véase el § B.2.2.3.

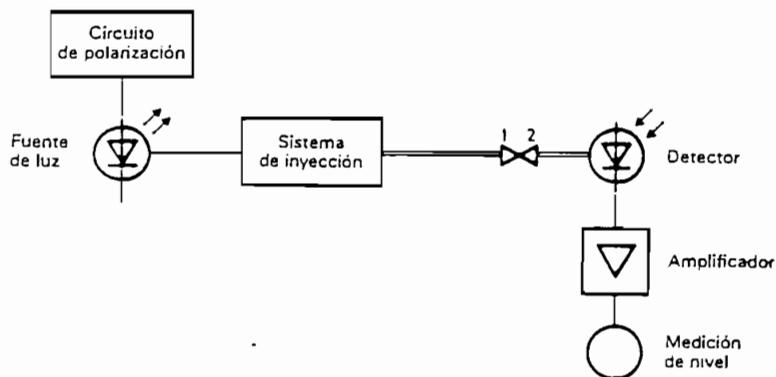
B.3.2.4 Montaje de inyección

Véase el § B.2.1.

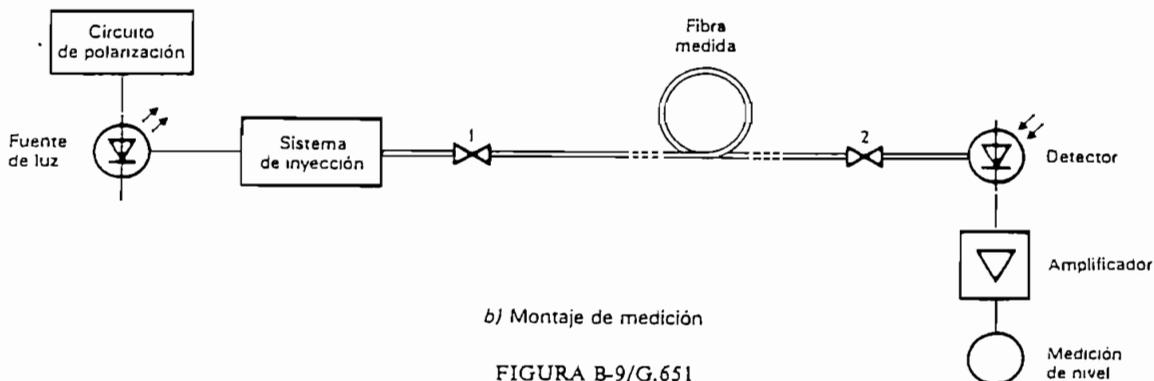
B.3.2.5 Dispositivo de acoplamiento

La técnica de la pérdida de inserción requiere un dispositivo muy preciso de acoplamiento de fibra a fibra, para asegurar que las pérdidas de acoplamiento sean mínimas y los resultados fiables.

Este dispositivo de acoplamiento puede ser mecánico, con supervisión visual del ajuste, o un conector que asegure que queden alineados los núcleos de las fibras.



a) Montaje de calibración



b) Montaje de medición

FIGURA B-9/G.651
Técnica de la pérdida de inserción

CCITT - 59 590

B.3.2.6 Procedimiento

- 1) Se comienza por calibrar el circuito de medición a fin de obtener un nivel de referencia de P_1 .
- 2) La fibra que se desea medir se coloca en el montaje de medida y se ajusta el acoplamiento de modo que se obtenga un nivel máximo en el detector óptico. Se mide y registra la potencia de salida P_2 .
- 3) Se calcula la atenuación como se indica en el § B.1.2. Esta es la suma de la atenuación del largo de fibra insertado y de la atenuación debida a la conexión entre los dispositivos de acoplamiento y la fibra medida.

B.3.3 Presentación de los resultados

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipo y características de la medición.
- b) Técnica de inyección.
- c) Montaje de la prueba.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra.
- g) Atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada.
- h) Atenuación del conector y su tolerancia.
- i) Atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km.
- j) Para las mediciones de la pérdida espectral, los resultados deben presentarse en forma de una curva de atenuación en función de la longitud de onda.

B.4 Segundo método de medición alternativo: técnica del retroesparcimiento

Nota — Se describe un procedimiento para medir la atenuación de una muestra homogénea de cable de fibra óptica. Esta técnica puede aplicarse para determinar la continuidad óptica, defectos físicos, la calidad de los empalmes, la luz retroesparcida en cables de fibra óptica y la longitud de la fibra.

B.4.1 Condiciones de inyección

Para la medición de la atenuación pueden aplicarse las técnicas descritas en el § 2.1. Para otras pruebas, las condiciones de inyección pueden depender de las características que deban medirse.

En todos los casos, a fin de reducir las reflexiones de Fresnel a la entrada de la fibra, pudieran utilizarse varios dispositivos tales como polarizadores o sustancias para la adaptación de índices. Las pérdidas de inserción deben reducirse al mínimo.

B.4.2 Equipo y procedimiento

B.4.2.1 Consideraciones generales

El nivel de la señal óptica retrodifusa será normalmente pequeño y estará próximo al nivel de ruido. Por tanto, a fin de mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica, se acostumbra a utilizar una fuente de luz de alta potencia y aplicar un tratamiento a la señal detectada. Además, cuando se requiera una resolución espacial de gran exactitud quizá sea necesario ajustar la anchura del impulso a fin de obtener un compromiso entre resolución y energía del impulso. Se puede emplear un núcleo especial para reducir al mínimo las reflexiones de Fresnel. Un ejemplo de equipo se muestra en la figura B-10/G.651.

B.4.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente óptica estable, de alta potencia y de longitud de onda adecuada, como por ejemplo un láser semiconductor. Se registrará la longitud de onda de la fuente. La anchura del impulso y la frecuencia de repetición deberán elegirse de modo que estén en consonancia con la resolución deseada y la longitud de la fibra. Deben suprimirse los efectos ópticos no lineales de acceso a la fibra medida.

B.4.2.3 *Detección óptica*

Se requiere un detector óptico que intercepte la mayor cantidad posible de la potencia óptica retroesparcida. La respuesta del detector será compatible con los niveles y las longitudes de onda de la señal detectada. En las mediciones de atenuación, la respuesta del detector debe ser esencialmente lineal.

Es necesario un tratamiento de la señal para mejorar la relación señal/ruido, y conviene que el sistema de detección presente una respuesta logarítmica.

Después del detector debe haber un amplificador que eleve el nivel de la señal a un valor adecuado para su tratamiento. La anchura de banda del amplificador resultará de un compromiso entre resolución en el tiempo y reducción del ruido.

B.4.2.4 *Montaje de inyección*

Véanse los § B.2.1 y B.4.1.

B.4.2.5 *Procedimiento*

- 1) La fibra que se va a medir se alinea con el dispositivo de acoplamiento.
- 2) La potencia retroesparcida se analiza por medio de un procesador de señales y se registra a escala logarítmica. La figura B-10/G.651 muestra una curva típica.
- 3) Si la curva registrada tiene una pendiente aproximadamente constante (región b de la figura B-10/G.651), la atenuación entre dos puntos *A* y *B* de la curva, que corresponden a dos secciones transversales de la fibra, viene dada por

$$A_{A \rightarrow B}(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad \text{dB}$$

donde V_A y V_B son los niveles de potencia correspondientes dados en escala logarítmica.

- 4) Si así se requiere, podrán hacerse mediciones bidireccionales, las cuales serán acompañadas de cálculos numéricos para mejorar la calidad de los resultados y tal vez para permitir una distinción entre los efectos debidos al envejecimiento y los debidos a imperfecciones.

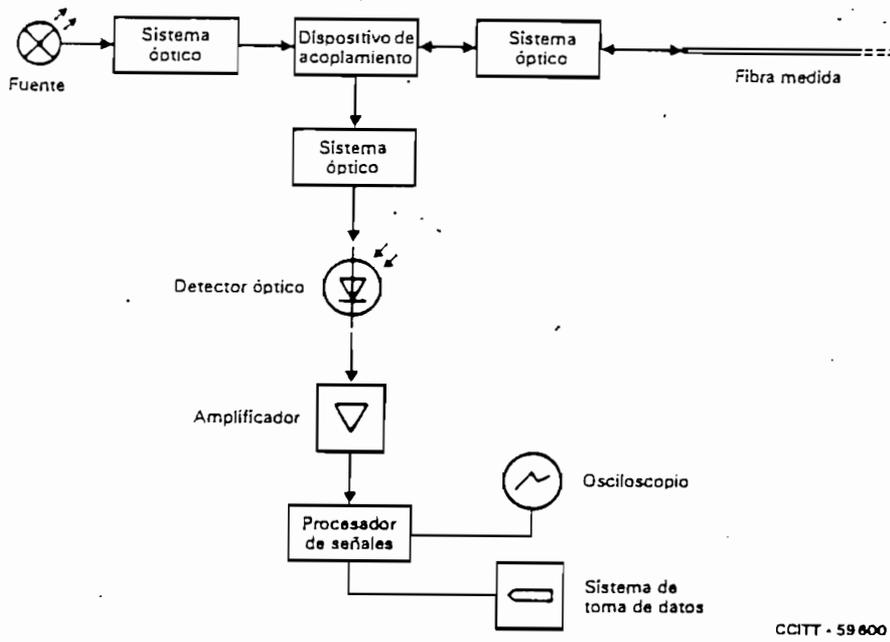
B.4.3 *Presentación de los resultados*

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipos y características de la medición.
- b) Técnicas de inyección.
- c) Montaje de la prueba.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra.
- g) Tiempo de subida, anchura, y frecuencia de repetición de los impulsos.
- h) Tipo de tratamiento de señal utilizado.
- i) La curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra, y en ciertas condiciones el coeficiente de atenuación en dB/km.

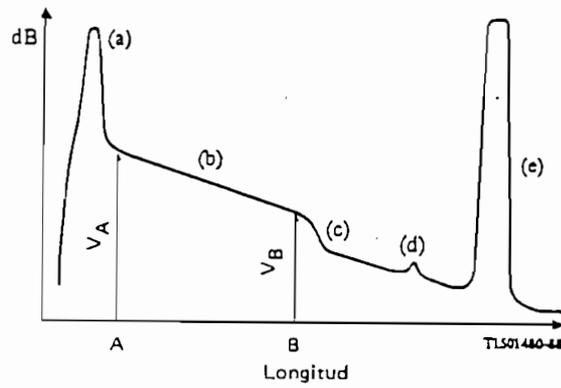
Un análisis completo de la curva registrada (figura B-10/G.651) revela que, independientemente de la medición de atenuación, cuando se emplea la técnica del retroesparcimiento pueden supervisarse muchos otros fenómenos, a saber:

- a) la reflexión causada por el dispositivo de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- b) la zona de pendiente constante;
- c) la discontinuidad debida a un defecto local, empalme o acoplamiento;
- d) la reflexión debida a un defecto dieléctrico;
- e) la reflexión en el otro extremo de la fibra.



CCITT - 59 600

a) Esquema del equipo



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

FIGURA B-10/G.651
Técnica del retroesparcimiento

B.1 *Objetivos*

La respuesta en banda base de la fibra se puede describir en el dominio del tiempo por medio de su respuesta a los impulsos $g(t)$, o en el dominio de la frecuencia por medio de su respuesta de frecuencia $G(f)$. La función $g(t)$ puede describirse como la función que convolucionada con el impulso de entrada de potencia óptica en la fibra da el impulso de salida de potencia óptica de la fibra. $G(f)$ es la razón, a cualquier frecuencia, entre la modulación sinusoidal de la potencia óptica introducida en la fibra y la modulación sinusoidal de la potencia óptica obtenida a la salida de la fibra.

Las respuestas en banda base en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo en un sistema lineal están relacionadas por la ecuación:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

La respuesta en banda base se presenta en el dominio de la frecuencia.

Si se desea una representación en el dominio del tiempo, es posible obtenerla mediante operaciones matemáticas. Para esto se necesitarían las respuestas de amplitud y de fase.

La respuesta de amplitud se especifica en forma de anchura de banda óptica entre puntos a -3 dB (eléctrica entre puntos a -6 dB) de la curva amplitud/frecuencia. Debe darse también una curva más completa.

Para minimizar las variaciones de medición asociadas con respuestas en banda de base de forma irregular, puede ajustarse una función gaussiana a la respuesta en banda base $G(f)$.

Como la respuesta de fase sólo se requiere en casos especiales, no se recomiendan valores de la misma.

B.2 *Método de prueba de referencia*

B.2.1 *Aparato de prueba*

La figura B-11/G.651 muestra un diagrama esquemática de la configuración de prueba.

B.2.1.1 *Fuente luminosa*

Se utilizará una fuente luminosa láser. Debe ser estable en posición, intensidad y longitud de onda. Su longitud de onda central (λ) estará dentro de ± 20 nm del valor nominal elegido entre las gamas indicadas en el cuadro B-1/G.651 y, además, la anchura espectral ($\Delta\lambda$) entre puntos de amplitud mitad no excederá el valor correspondiente indicado en el cuadro B-1/G.651.

CUADRO B-1/G.651

Anchura entre raya de intensidad mitad de la fuente luminosa

λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
800-900	5
1200-1350	10

El medio (impulsional o sinusoidal) por el cual se modula el láser ha de poder funcionar a frecuencias más allá de aquellas a las que la respuesta de la fibra medida cae a -3 dB de nivel óptico.

La emisión máxima ha de rebasar sustancialmente la emisión espontánea y la profundidad de modulación ha de ser tan grande como lo permita la relación de extinción, a fin de obtener una relación señal/ruido máxima. Se tendrá cuidado de que la fuente luminosa no fluctúe («chirp»).

Si para la modulación se escoge una forma de onda sinusoidal, la modulación de salida se divide, frecuencia por frecuencia, por la modulación de entrada. Si la forma de onda de modulación escogida es un impulso de múltiples componentes, es necesario, como paso preliminar, efectuar la transformación de Fourier, mediante filtrado analógico o procesamiento digital de la señal recibida.

B.2.1.2 *Condiciones de inyección*

La condición de medición adecuada puede obtenerse por dos medios:

- a) distribución uniforme de la potencia de los modos (inyección con desbordamiento) con una distribución espacial uniforme mayor que el núcleo de la fibra y una distribución angular lambertiana correspondiente a la apertura númeroada de la fibra de prueba;
- b) una inyección en régimen permanente que se aproxime mucho a las condiciones reales de inyección en régimen permanente.

Nota relativa al punto b) — Debe tenerse el cuidado de que las condiciones de inyección no limiten la excitación de modos por debajo del régimen permanente, especialmente para longitudes de menos de 2 km.

B.2.1.3 *Detector*

Se utilizará un fotodiodo de alta velocidad para interceptar el volumen modal total de salida de la fibra.

La anchura de banda del fotodiodo y del dispositivo electrónico siguiente ha de ser suficiente para mantener la relación señal/ruido requerida hasta la frecuencia más alta para la que han de obtenerse resultados. El sistema detector ha de ser lineal con respecto a la potencia de entrada dentro de los límites de medición. En la eventualidad de que el detector tenga una gama lineal inadecuada, tal vez sea necesario insertar un filtro de densidad neutra previamente calibrado a la longitud de onda de funcionamiento para atenuar una señal excesivamente intensa, de modo que el detector funcione siempre en su gama de sensibilidad lineal.

B.2.1.4 *Sistema de presentación de salida*

El sistema de presentación de la salida ha de ser capaz de registrar o visualizar la amplitud de la modulación de salida con respecto a escalas calibradas ordinarias o logarítmicas de la potencia o la frecuencia. En el caso de modulación por impulsos, un paso intermedio puede comprender el registro de la forma de onda del impulso con respecto a una escala de tiempo calibrada.

B.2.2 *Procedimiento*

B.2.2.1 *Preparación de la fibra para las pruebas*

Debe eliminarse el recubrimiento primario de las partes de la fibra que han de introducirse en los supresores de modos propagados por el revestimiento.

Los extremos de la fibra han de estar muy limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra. Las mediciones en fibras que no forman parte de cables han de efectuarse con la fibra suelta en el tambor para evitar el acoplamiento de modos por inducción desde el exterior.

B.2.2.2 *Medición*

Se comienza por conectar el emisor y el receptor mediante una guía óptica corta de prueba y la potencia del emisor se ajusta de modo que se obtenga una señal en la gama lineal del receptor. Para uso como método de prueba de referencia en condiciones de explotación, la respuesta específica del instrumento debe almacenarse en esta etapa, para uso ulterior, ya sea bajo forma de respuesta de impulso, o de frecuencia, según convenga.

La fibra a medir se intercala entonces entre el emisor y el receptor, y se mide y registra su salida. Para uso como método de prueba de referencia de fibras independientes, se corta entonces la fibra en un punto a una distancia conveniente del supresor de modos de propagación por el revestimiento (en caso de utilizarse este supresor) del extremo transmisor, o del filtro de modos y, teniendo cuidado de no perturbar las condiciones de inyección, se mide y registra la salida de la fibra cortada. La región de operación del fotodiodo receptor ha de ser igual en todas las etapas, en la medida de lo posible.

Los conjuntos de datos de amplitud en el dominio de la frecuencia, bien obtenidos directamente o por transformación desde el dominio del tiempo, correspondientes a la señal de salida de la fibra medida y a la respuesta específica del instrumento (incluida la fibra cortada) se dividen entonces (o se sustraen, si están presentados en escala logarítmica), frecuencia por frecuencia, la primera por la última, para obtener la respuesta en frecuencia de la fibra.

Deberá presentarse la siguiente información detallada:

- a) Tipo y característica de la medición.
- b) Técnica de inyección.
- c) Configuración de prueba, incluidas, la longitud de onda y la anchura espectral entre puntos de amplitud mitad.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Longitud de la muestra.
- g) Anchura de banda (incluidos los efectos de dispersión cromática) definida por el punto óptico a -3 dB de la característica de amplitud/frecuencia y, en caso necesario, las características de amplitud/frecuencia y/o de fase, completas.
- h) Para el largo de fabricación, el valor, si es necesario, de la anchura de banda referida a 1 km (debe indicarse la fórmula aplicada).
- i) Como se especifica en g), la anchura de banda medida incluye los efectos de dispersión modal y de dispersión cromática. En caso necesario, la anchura de banda modal B_{modal} (expresada en MHz) se puede obtener como sigue, suponiendo que tanto el espectro de la fuente como la respuesta en banda de base modal de la fibra tienen forma gaussiana:

$$B_{\text{modal}} = \left[(1/B_T)^2 - (M(\lambda) \Delta\lambda \cdot L \cdot 10^{-6}/0,44)^2 \right]^{-1/2}$$

donde:

B_T = anchura de banda medida de la fibra,

$M(\lambda)$ = coeficiente de dispersión cromática [(ps/nm · km)],

$\Delta\lambda$ = anchura espectral de la fuente luminosa entre puntos al 50% de amplitud (nm),

L = longitud de la fibra (expresada en km).

Nota — El equipo y procedimiento anteriormente indicados son aplicables únicamente a las características básicas del método de prueba de referencia. Se supone que la instrumentación detallada incorporará todas las medidas necesarias para garantizar la estabilidad, supresión del ruido, etc., y que, en los procedimientos de procesamiento de datos, con inclusión de muestreo, funciones de ponderación, truncación, etc., se tratará por todos los medios de garantizar un equilibrio satisfactorio entre las ventajas y los inconvenientes de las técnicas escogidas.

En los resultados se incluirán detalles de tales procedimientos junto con información cuantitativa.

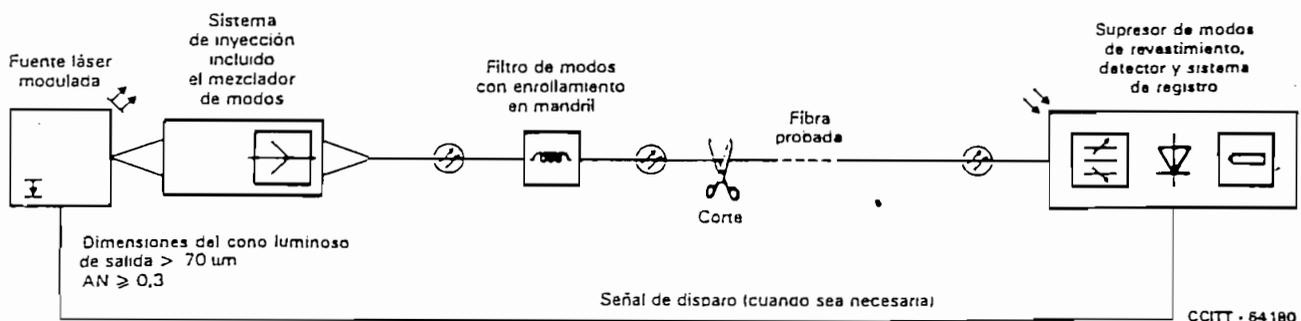


FIGURA B-11/G.651
Configuración de prueba típica

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988)

El CCITT.

considerando

- (a) que los cables de fibra óptica monomodo se utilizan ampliamente en las redes de telecomunicación;
- (b) que las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieran en:
 - las características geométricas,
 - la longitud de onda de trabajo,
 - la dispersión de atenuación, la longitud de onda de corte y otras características ópticas,
 - los aspectos mecánicos y ambientales;
- (c) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras monomodo cuando hayan progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica,

recomienda

una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm, optimizada para uso en la región de longitud de onda de 1300 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada).

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas y de transmisión de esta fibra, se describen más adelante, así como los métodos de prueba aplicables.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación se expone en el anexo A, y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B. Los anexos A y B podrían convertirse en Recomendaciones separadas a medida que se adopten otras Recomendaciones sobre fibras monomodo.

1 Características de la fibra

En este § 1 sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada puede verse apreciablemente afectada por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

Esta Recomendación se aplica a las fibras que tienen un campo modal nominalmente circular.

1.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal del diámetro del campo modal a 1300 nm estará en la gama de 9 a 10 μm . La desviación del diámetro del campo modal no deberá exceder de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

Nota 1 — El valor de 10 μm se emplea corrientemente para diseños de revestimientos adaptados, y el valor de 9 μm para diseños de revestimientos con depresión. Sin embargo, la elección de un valor concreto de la gama indicada no depende necesariamente del diseño de fibra utilizado.

Nota 2 — Debe señalarse que el comportamiento de la fibra necesario para una determinada aplicación depende más de los parámetros esenciales de la propia fibra y del sistema, es decir, del diámetro del campo modal, de la longitud de onda de corte, de la dispersión total, de la longitud de onda de trabajo del sistema y de la velocidad binaria/frecuencia de trabajo, que del diseño de la fibra.

Nota 3 — De hecho, el valor medio del diámetro del campo modal puede diferir de los valores nominales indicados, a condición de que todas las fibras estén dentro de $\pm 10\%$ del valor nominal especificado.

1.2 *Diámetro del revestimiento*

El valor recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.3 *Error de concentricidad del campo modal*

El error de concentricidad para el campo modal no debe exceder de 1 μm .

Nota 1 — Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas tolerancias de hasta 3 μm .

Nota 2 — El error de concentricidad del campo modal y el error de concentricidad del núcleo, representado por la iluminación transmitida utilizando longitudes de onda diferentes de 1300 nm (incluida la luz blanca), son equivalentes. En general, la desviación del centro del perfil del índice de refracción y el eje del revestimiento representa también el error de concentricidad del campo modal, pero si apareciese alguna diferencia entre el error de concentricidad del campo modal, medido de acuerdo con el método de prueba de referencia (MPR), y el error de concentricidad del núcleo, el primero constituirá la referencia.

1.4 *No circularidad*

1.4.1 *No circularidad del campo modal*

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y los empalmes no se vean afectados. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

La no circularidad del revestimiento debe ser inferior al 2%. Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.5 *Longitud de onda de corte*

Pueden distinguirse dos tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- la longitud de onda de corte λ_c de una fibra con revestimiento primario, de acuerdo con el MPR de la fibra correspondiente;
- la longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra cableada en condición de instalación, de acuerdo con el MTR del cable correspondiente.

La correlación de los valores medidos de λ_c y λ_{cc} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general no puede establecerse fácilmente la relación cuantitativa $\lambda_{cc} < \lambda_c$, es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre empalmes a la longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Esto puede conseguirse de dos formas:

- recomendando que λ_c sea inferior a 1280 nm; cuando resulta adecuado un límite inferior, λ_c debe ser superior a 1100 nm;
- recomendando que λ_{cc} sea inferior a 1270 nm.

Nota — Debe asegurarse un margen de longitud de onda suficiente entre la mínima longitud de onda de trabajo admisible del sistema λ_s de 1270 nm, y la máxima longitud de onda de corte admisible del cable λ_{cc} . Varias Administraciones están a favor de un máximo de λ_{cc} de 1260 nm para tener en cuenta las variaciones de muestreo de la fibra y las variaciones de la longitud de onda de la fuente debidas a la tolerancia, temperatura y efectos de envejecimiento.

No es necesario invocar ambas especificaciones: los usuarios pueden elegir entre especificar λ_s o λ_{cc} según sus necesidades específicas y las aplicaciones previstas. En el último caso, se entiende que λ_s puede ser superior a 1280 nm.

En el caso en que el usuario elija especificar λ_c como en 1), no es necesario medir λ_{cc} .

En el caso en que el usuario elija especificar λ_{cc} , puede permitirse que λ_{cc} sea superior a la mínima longitud de onda de trabajo del sistema, basándose en los efectos de la fabricación e instalación del cable para obtener valores de λ_{cc} por debajo de la mínima longitud de onda de trabajo del sistema para el largo de cable más pequeño entre dos uniones.

En el caso en que el usuario elija especificar λ_{cc} , puede ser suficiente una prueba de aptitud para verificar que se cumpla el requisito de λ_{cc} .

1.6 Características de pérdida a 1550 nm

A fin de asegurar un funcionamiento con bajas pérdidas de las fibras instaladas optimizadas a 1300 nm en la región de longitudes de onda de 1550 nm, el incremento de la pérdida para 100 vueltas de fibra holgadamente enrolladas con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 1,0 dB.

Nota 1 — Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

Nota 2 — El valor indicado más arriba de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio de 37,5 mm es equivalente al radio mínimo de flexión generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de los sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

Nota 3 — Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la realización de esta prueba un número de vueltas menor que 100, nunca se empleen menos de 40 vueltas, y se utilice un incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

Nota 4 — Se sugiere que si se ha previsto efectuar flexiones con radios de curvatura menores de 37,5 mm (por ejemplo, $R = 30$ mm) en los casos de empalme, o en cualquier otro lugar del sistema, el mismo valor de pérdida de 1,0 dB se aplique a 100 vueltas de fibra montadas con este radio menor.

Nota 5 — La cláusula sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

Nota 6 — Cuando se requieran pruebas de rutina para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la cláusula sobre la pérdida de 1,0 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

1.7 Propiedades de los materiales de la fibra

1.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que intervienen en la composición de las fibras.

Nota — Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica adecuadas cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de silice.

1.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

1.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra; si se desea medirlo, puede utilizarse el método de prueba de referencia de la Recomendación G.651.

1.9 Ejemplos de directrices de diseño de la fibra

El Suplemento N.º 33 da un ejemplo de directrices de diseño para fibra con dispositivos adaptados utilizadas por dos organizaciones.

2 Especificaciones de los largos de fabricación

Como las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en el § 1 son apenas afectadas por el proceso de cableado, este § 2 formulará recomendaciones pertinentes sobre todo a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones de prueba y del ambiente son de gran importancia, y se describen en las secciones sobre métodos de prueba.

2.1 Coeficiente de atenuación

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen, generalmente, coeficientes de atenuación inferiores a 1,0 dB/km en la región de longitudes de onda de 1300 nm e inferiores a 0,5 dB en la de 1550 nm.

Nota — Los valores más bajos del coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 dB/km en la región de 1300 nm y entre 0,15 y 0,25 dB/km en la de 1550 nm.

2.2 Coeficiente de dispersión cromática

El máximo coeficiente de dispersión cromática deberá especificarse por:

- la gama permitida de longitudes de onda de dispersión nula entre $\lambda_{omin} = 1295$ nm y $\lambda_{omax} = 1322$ nm;
- el valor máximo $S_{omax} = 0,095$ ps/(nm² · km) de la pendiente con dispersión nula.

Los límites del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda λ dentro de la gama 1270-1340 nm deberá calcularse por:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{omin}^4}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{omax}^4}{\lambda^3} \right]$$

Nota 1 — Los valores de λ_{omin} , λ_{omax} y S_{omax} arrojan magnitudes del coeficiente de dispersión $|D_1|$ y $|D_2|$ iguales o inferiores a los máximos coeficientes de dispersión cromática del siguiente cuadro:

Longitud de onda (nm)	Máxima coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)]
1285 - 1330	3,5
1270 - 1340	6
1550	20

(A 1285 nm, se presenta una excepción, ya que el valor $|D_2|$ es de 3,67 ps/(nm · km). Se obtendría un valor menor reduciendo S_{omax} y λ_{omax} ; esto requiere ulterior estudio.)

Nota 2 — El uso de estas ecuaciones en la región de los 1550 nm debe considerarse con cautela.

Nota 3 — Para sistemas de alta capacidad (por ejemplo, de 4×140 Mbit/s o más) o de gran longitud, puede ser necesario especificar una gama más estrecha de λ_{omim} λ_{nmu} , o, de ser posible, elegir un valor menor para S_{max} .

Nota 4 — No es necesario medir la dispersión cromática de las fibras monomodo en forma periódica.

3 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable incluye normalmente varios largos de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en el § 2. Los parámetros de transmisión de las secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos de cable, sino también, entre otras cosas, factores tales como las pérdidas por empalmes y por conectores (si se aplican).

3.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

donde

- α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra de la sección elemental de cable
- L_n = longitud de la n -ésima fibra
- m = número total de fibras concatenadas de la sección elemental de cable
- a_s = pérdida media por empalme
- x = número de empalmes de la sección elemental de cable
- a_c = pérdida media por conector de línea
- y = número de conectores de línea de la sección elemental de cable (si se aplican).

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.).

La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipo.

Como pérdida de los empalmes y conector se utiliza la pérdida media. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

3.2 Dispersión cromática

Se puede obtener la dispersión cromática expresada en ps a partir de los coeficientes de dispersión total de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal de la longitud y respetando los signos de los coeficientes y las características de la fuente del sistema (véase el § 2.2).

ANEXO A

(a la Recomendación G.652)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

Los términos incluidos en este anexo son específicos de las fibras monomodo. Otros términos empleados en la presente Recomendación tienen el significado que se indica en el anexo A a la Recomendación G.651.

A.1 diámetro del campo modal (DCM)

El diámetro del campo modal $2w$ se determina aplicando una de las definiciones siguientes. Los límites de integración indicados son de 0 a ∞ , pero se entiende que esta notación implica que las integrales se truncan en el límite del argumento creciente. Si bien el valor físico máximo del argumento q es $\frac{1}{\lambda}$, los integrandos se aproximan rápidamente a cero antes de que se alcance este valor.

i) **DOMINIO DE CAMPO LEJANO:** En este dominio son posibles tres realizaciones prácticas de medición diferentes:

a) **EXPLORACIÓN DE CAMPO LEJANO:** Se mide la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$ en función del ángulo de campo lejano θ , y el diámetro del campo modal (DCM) a la longitud de onda λ viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[2 \frac{\int_0^{\infty} q^3 F^2(q) dq}{\int_0^{\infty} q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \text{ donde } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (1)$$

b) **EXPLORACIÓN EN ARISTA:** Se mide la función de transmisión de potencia de arista $K(x)$ en función del desplazamiento lateral en arista x , con el plano de la arista situado a una distancia D de la fibra, y el DCM viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \frac{\int_0^{\infty} K'(x) q^2 dq}{\int_0^{\infty} K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \text{ donde } x = D \tan \theta, K'(x) = \frac{dK(x)}{dx} \text{ y } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (2)$$

c) **TÉCNICA DE APERTURA VARIABLE:** Se mide la función de transmisión de potencia con apertura complementaria $a(x)$ en función del radio de apertura x , con el plano de la apertura situado a una distancia D de la fibra, y el DCM viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \int_0^{\infty} a(x) q dq \right]^{-1/2}, \text{ donde } x = D \tan \theta \text{ y } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (3)$$

ii) **DOMINIO DE UNIÓN DESPLAZADA:** Se mide el coeficiente de transmisión de potencia $T(\delta)$ en función del desplazamiento transversal δ , y

$$2w = 2 \left[-2 \frac{T(0)}{\left[\frac{d^2 T}{d\delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

iii) **DOMINIO DE CAMPO PRÓXIMO:** Se mide la distribución de intensidad de campo próximo $f^2(r)$ en función de la coordenada radial r , y

$$2w = 2 \left[2 \frac{\int_0^{\infty} r f^2(r) dr}{\int_0^{\infty} r \left[\frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Nota — La equivalencia matemática de estas definiciones resulta de las relaciones de transformación entre los resultados de medición obtenidos mediante las diferentes realizaciones prácticas. Estas se resumen en la figura A-1/G.652.

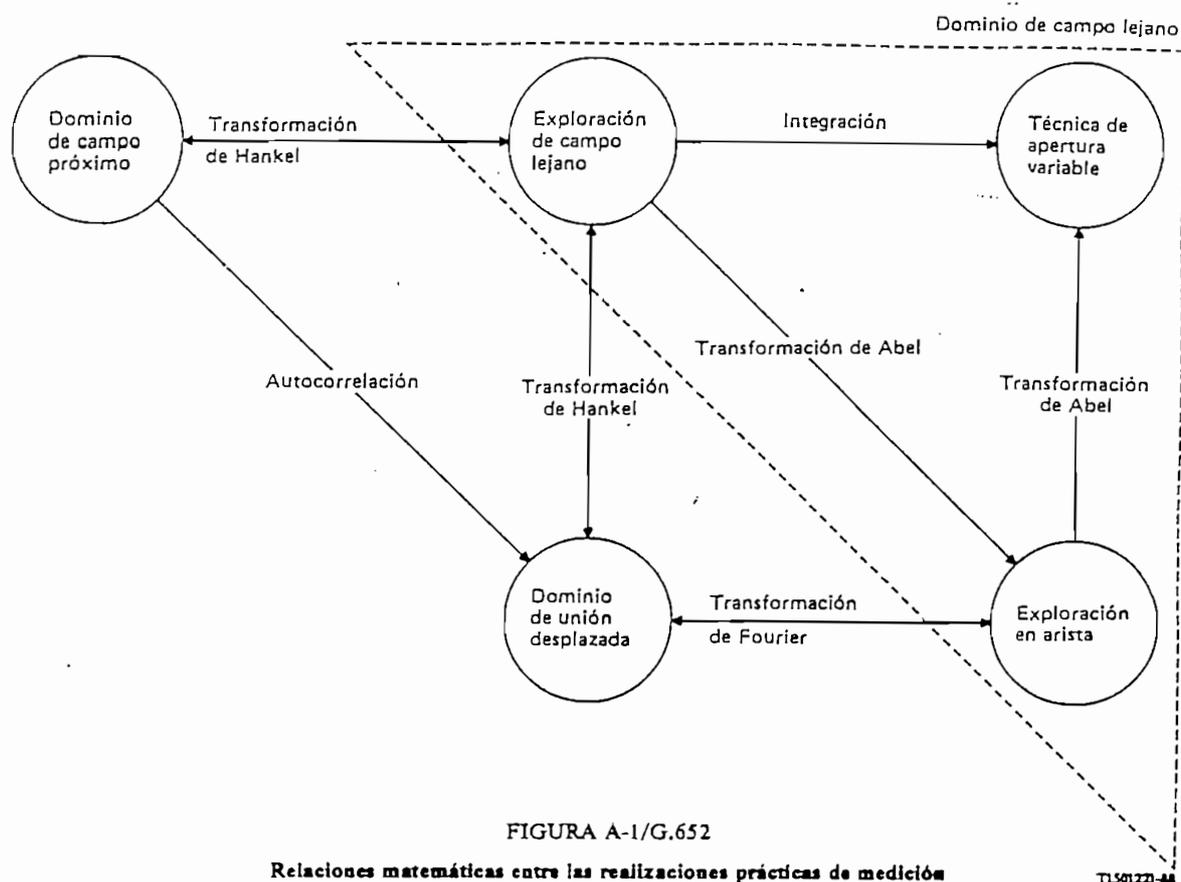


FIGURA A-1/G.652
Relaciones matemáticas entre las realizaciones prácticas de medición

TL501221-88

A.2 superficie del revestimiento

Superficie exterior del vidrio que cubre la fibra óptica.

A.3 centro de la superficie del revestimiento

En una sección transversal de la fibra óptica, posición del centro del círculo que mejor corresponde al lugar geométrico de la superficie del revestimiento en dicha sección transversal.

Nota — Debe especificarse el método de mejor ajuste, que actualmente está en estudio.

A.4 diámetro de la superficie del revestimiento

Diámetro del círculo que define el centro del revestimiento.

Nota — En una fibra nominalmente circular, el diámetro de la superficie del revestimiento, para cualquier orientación de la sección transversal, es la mayor distancia a través del revestimiento.

A.5 no circularidad de la superficie del revestimiento

Diferencia entre máximo diámetro de la superficie del revestimiento $D_{m\acute{a}x}$ y el mínimo diámetro de la superficie del revestimiento $D_{m\acute{i}n}$ (con respecto al centro común de la superficie del revestimiento), dividido entre el diámetro nominal del revestimiento D , es decir,

$$\text{No circularidad} = (D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n}) / D$$

Nota — Los diámetros máximo y mínimo de la superficie del revestimiento son, respectivamente, la mayor y la menor distancias entre las dos intersecciones de una línea que pasa por el centro del revestimiento con la superficie del revestimiento.

A.6 campo modal

El campo modal es la distribución de campo monomodal que produce una distribución de intensidad espacial en la fibra.

A.7 centro del campo modal

El centro del campo modal es la posición del centroide de la distribución espacial de intensidad en la fibra.

Nota 1 — El centroide está situado en \bar{r}_c , que es la integral del vector de posición \bar{r} normalizada y ponderada por la intensidad:

$$\bar{r}_c = \iint_{\text{ÁREA}} \bar{r} I(\bar{r}) dA / \iint_{\text{ÁREA}} I(\bar{r}) dA$$

Nota 2 — Para las fibras consideradas en esta Recomendación, la correspondencia entre la posición del centroide que se ha definido y la posición del máximo de la distribución espacial de intensidad requiere ulterior estudio.

A.8 error de concentricidad del campo modal

Distancia entre el centro del campo modal y el centro de la superficie del revestimiento.

A.9 no circularidad del campo modal

Como normalmente no es necesario medir la no circularidad del campo modal para fines de aceptación (como se indica en el § 1.4.1), no es necesaria en este contexto una definición de la no circularidad del campo modal.

A.10 longitud de onda de corte

La longitud de onda de corte es la longitud de onda mayor que aquélla para la cual la relación entre la potencia total, incluida la de los modos de orden superior inyectados, y la potencia del modo fundamental disminuye hasta alcanzar un valor inferior a cierto valor especificado, estando los modos excitados de manera prácticamente uniforme.

Nota 1 — Por definición se elige como valor especificado 0,1 dB para un largo de fibra de 2 metros sustancialmente recto que incluye un bucle de una sola vuelta con un radio de 140 mm.

Nota 2 — La longitud de onda de corte definida en esta Recomendación es diferente en general de la longitud de onda de corte teórica calculable a partir del perfil del índice de refracción de la fibra. La longitud de onda de corte teórica es un parámetro menos útil en la determinación del funcionamiento de la fibra en una red de telecomunicación.

Nota 3 — En el § 1.5 se describen dos tipos de longitud de onda de corte:

- i) λ_c , cuyo valor se determina por el método de prueba de referencia (o por un método de prueba alternativo);
- ii) λ_{cc} , cuyo valor se determina por un método análogo al método de prueba de referencia, pero sobre un largo de fibra cableada.

A fin de evitar aumentos no deseados del ruido y de la dispersión, la longitud de onda de corte λ_{cc} de la menor longitud de cable (incluidos los largos de reparación, si los hubiere) debe ser inferior al menor valor previsto de la longitud de onda del sistema, λ_r :

$$\lambda_{cc} < \lambda_r \quad (1)$$

Con esto se asegura que cada sección de cable individual sea suficientemente monomodal. En todo empalme que no sea perfecto se producirá alguna potencia de un modo de orden superior (LP_{11}) y, normalmente, las fibras monomodo permiten la propagación de este modo en una distancia corta (de unos cuantos metros, según las condiciones de instalación). En consecuencia, hay que especificar una distancia mínima entre las uniones (o empalmes), a fin de que la fibra sea lo suficientemente larga para atenuar el modo LP_{11} antes de que éste llegue a la unión siguiente. Si se cumple la desigualdad (1) para la sección de cable más corta, con tanta más razón se cumplirá para todas las secciones de cables de mayor longitud, y el sistema tendrá un comportamiento monomodal cualquiera que sea la longitud de la sección elemental de cable.

Al especificar $\lambda_{cc} < \lambda_c$ para el largo mínimo de cable (incluidos los bucles propios del empalme) se asegura el funcionamiento monomodal. Sin embargo, por lo general es más cómodo medir λ_c , para lo cual sólo se necesita una fibra cableada de dos metros de longitud. λ_c depende del tipo de fibra, de la longitud y del radio de curvatura. λ_{cc} depende además de la estructura del cable considerado. Por tanto, la relación entre λ_c y λ_{cc} depende del diseño de la fibra y del diseño del cable. En general, λ_c es mayor que λ_{cc} en varias decenas de nm: λ_c puede incluso ser mayor que la longitud de onda del sistema, sin que deje de cumplirse la desigualdad (1). Valores más elevados de λ_c se traducen en un confinamiento más estricto del modo LP_{01} , lo que contribuye a reducir las posibles pérdidas por flexión en la región de longitudes de onda de 1550 nm.

Los pequeños largos de fibra (<20m) se utilizan frecuentemente para la conexión con fuentes y detectores, y se utilizan también como puentes para interconexiones. La longitud de onda de corte de estas fibras, cuando están instaladas, debe ser también inferior a λ_c . Entre los medios para evitar el ruido modal en este caso se hallan:

- a) seleccionar sólo fibras de λ_c suficientemente bajas para estas aplicaciones;
- b) instalación de estas fibras con flexiones de pequeño radio.

A.11 dispersión cromática

Diseminación de un impulso luminoso por unidad de anchura espectral de la fuente causada en una fibra óptica por las diferentes velocidades de grupo de las diferentes longitudes de onda que componen el espectro de la fuente.

Nota — La dispersión cromática puede deberse a una o más de las siguientes contribuciones: dispersión debida al material, dispersión debida al guiaoondas, dispersión debida al perfil de índice. La dispersión por polarización no produce efectos apreciables en las fibras circularmente simétricas.

A.12 coeficiente de dispersión cromática

Dispersión cromática por unidad de anchura espectral de la fuente y unidad de longitud de la fibra. Suele expresarse en ps/(nm · km).

A.13 pendiente de dispersión nula

Pendiente del coeficiente de dispersión cromática en función de la curva de longitud de onda a la longitud de onda de dispersión nula.

A.14 longitud de onda de dispersión nula

Longitud de onda a la que desaparece la dispersión cromática.

ANEXO B

(a la Recomendación G.652)

Métodos de prueba para las fibras monomodo

En este anexo se indican en general, para cada parámetro, tanto el método de prueba de referencia (MPR) como uno o varios métodos de prueba alternativos, (MPA), entendiéndose que tanto el MPR como los MPA pueden resultar adecuados para los fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, si al emplear un MPA surgiese cualquier discrepancia, se recomienda emplear el MPR para obtener los resultados de medición definitivos.

B.1 — Sección I — Métodos de prueba para el diámetro de campo modal de las fibras monomodo

B.1.1 Método de prueba de referencia para el diámetro del campo modal de la fibra monomodo

B.1.1.1 Objetivo

El diámetro del campo modal puede determinarse, en el dominio de campo lejano, a partir de la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$, de la función de transmisión en arista $K(x)$, o de la función de transmisión de potencia de apertura complementaria $\alpha(x)$; en el dominio de unión desplazada, a partir del cuadrado de la función de autocorrelación $T(\delta)$; y en el dominio de campo próximo, a partir de la distribución de intensidad de campo próximo $I^2(r)$, de acuerdo con las definiciones equivalentes que aparecen en el § A.1 del anexo A a la Recomendación G.652.

B.1.1.2 *Aparato de prueba*

B.1.1.2.1 *Generalidades*

Para las mediciones de campo próximo, es necesario que el dispositivo óptico de ampliación cree una imagen del extremo de salida de la fibra en el plano del detector. Para las mediciones de unión desplazada, se necesita un medio para desplazar la cara del extremo de una fibra respecto de la de otra. Para las tres mediciones de campo lejano, son necesarios dispositivos de exploración adecuados.

B.1.1.2.2 *Fuente luminosa*

La fuente luminosa será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de la fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo.

B.1.1.2.3 *Modulación*

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. La característica de sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.1.1.2.4 *Condiciones de inyección*

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental (LP_{01}). Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra;
- b) la inyección con un sistema óptico adecuado.

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior. A tal fin puede que haga falta introducir un bucle de radio adecuado u otro filtro de modos para suprimir los modos de orden superior.

B.1.1.2.5 *Supresores de modos de revestimiento*

Se tomarán precauciones para evitar la propagación y detección de modos de revestimiento.

B.1.1.2.6 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Se retirará el recubrimiento primario de la sección de la fibra inserta en el supresor de modos, si se utiliza. Los extremos de la fibra estarán limpios, lisos y perpendiculares a los ejes de la fibra. Se recomienda que las caras terminales sean planas y perpendiculares a los ejes de la fibra, con una tolerancia de 1° . Para la técnica de unión desplazada, la fibra se cortará en dos mitades aproximadamente iguales.

B.1.1.2.7 *Equipo de descentrado o exploración*

Debido a que las fibras especificadas en la Recomendación G.653 se caracterizan por tener distribuciones de intensidad de campo cercano más estrechas y distribuciones de intensidad de campo lejano más anchas que las especificadas en la Recomendación G.652, deberán tomarse las precauciones adicionales enumeradas más abajo.

Se utilizará uno de los siguientes dispositivos:

I *Dominio de campo lejano*

a) *Sistema de exploración de campo lejano*

Se utilizará un mecanismo para explorar la distribución de intensidad de campo lejano (por ejemplo, un fotodetector de exploración con abertura de microorificio o un fotodetector de exploración con extremo de tallo de fibra). La exploración puede ser angular o lineal. El detector debe estar al menos a 20 mm del extremo de la fibra, y la superficie activa del detector no debe subtender un ángulo demasiado grande en el campo lejano. Esto puede conseguirse colocando el detector a una distancia del extremo de fibra superior a $20wb/\lambda$ donde $2w$ es el diámetro del campo modal previsto de la fibra a medir, y b el diámetro de la superficie activa del detector. El semiángulo de exploración deberá ser de 25° o más. Alternativamente, la exploración deberá extenderse, por lo menos hasta un valor de -50 dB con respecto a la intensidad del ángulo cero.

b) *Conjunto de arista*

Se necesita un mecanismo para explorar una arista linealmente en una dirección ortogonal al eje de la fibra y al borde de la arista. La luz transmitida por la arista es captada y enfocada hacia el detector. El dispositivo de colección debe tener una AN de 0,4 o más.

c) *Conjunto de apertura*

Debe utilizarse un mecanismo que comprenda al menos 12 aperturas que cubran la gama de semiángulos de apertura numérica de 0,02 a 0,4. La luz transmitida por la apertura es captada y enfocada hacia el detector.

II *Dominio de unión desplazada*

Unión desplazada

La unión se construirá de manera que pueda ajustarse el desplazamiento relativo de los ejes de la fibra. Se recomienda disponer de un aparato que permita medir el desplazamiento con una precisión de 0,1 μm . La potencia óptica transmitida a través de la unión pasante es medida por un detector. Se tendrá particular cuidado con la precisión y exactitud del equipo de descentrado.

III *Dominio de campo próximo*

Dispositivo óptico de imaginización de campo próximo

Se utilizará un dispositivo óptico de ampliación (por ejemplo, un objetivo de microscopio) para agrandar y enfocar una imagen del campo próximo de la fibra en el plano de un detector de exploración (por ejemplo, un fotodetector de exploración con abertura de microorificio, o un fotodetector de exploración de tallo de fibra). La apertura numérica y la ampliación serán tales que resulten compatibles con la resolución espacial deseada. Para la calibración, se medirá la ampliación del dispositivo óptico explorando la longitud de una muestra cuyas dimensiones se conozcan independientemente con suficiente exactitud.

Nota – La apertura numérica del dispositivo óptico de recogida debe ser suficientemente grande para que no afecte a los resultados de medición.

B.1.1.2.8 *Detector*

Se utilizará un detector adecuado, que debe tener una característica de sensibilidad lineal.

B.1.1.2.9 *Amplificador*

Se utilizará un amplificador para poder aumentar el nivel de señal.

B.1.1.2.10 *Recogida de datos*

El nivel de señal medido se registrará y procesará con arreglo a la técnica utilizada.

B.1.1.2.11 *Procedimiento de medición*

El extremo de inyección de la fibra se alinearán con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alinearán con el dispositivo de salida apropiado.

Debe seguirse uno de los siguientes procedimientos:

I *Dominio de campo lejano*

- Haciendo una exploración del detector en pasos fijos se mide la distribución de intensidad en campo lejano, $F^2(q)$, y se calcula el diámetro del campo modal por la ecuación (1) del § A.1 del anexo A.
- Se mide la potencia transmitida por la arista en función de la posición de la arista. Esta función, $K(x)$ es diferenciada, y el diámetro del campo modal se determina por la ecuación (2) del § A.1 del anexo A.
- Se mide la potencia transmitida por cada apertura, $P(x)$, y se determina la función de transmisión de apertura complementaria, $a(x)$, por:

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{\max}}$$

donde P_{\max} es la potencia transmitida por la apertura más grande y x es el radio de apertura. El diámetro del campo modal se calcula por la ecuación (3) del § A.1 del anexo A.

II *Dominio de unión desplazada*

Desplazando por pasos la unión en sentido transversal, se mide el coeficiente de transmisión de potencia $T(\delta)$, y el diámetro de campo de modo se calcula por la ecuación (4) del § A.1 del anexo A.

III *Dominio de campo próximo*

El campo próximo de la fibra se agranda por medio del dispositivo óptico de aumento y se enfoca en el plano del detector. Este enfoque se realizará con la máxima exactitud, para reducir los errores dimensionales debidos a la exploración de una imagen desenfocada. Se explora la distribución de intensidad de campo próximo, $f^2(r)$, y se calcula el diámetro del campo modal por la ecuación (5) del § A.1 del anexo A. En lugar de ello, la distribución de intensidades de campo próximo $f^2(r)$ puede transformarse en el dominio de campo lejano mediante una transformación de Hankel, y el campo lejano transformado resultante, $F^2(q)$, puede utilizarse para calcular el diámetro del campo de modo por la ecuación (1) del § A.1 del anexo A.

B.1.1.2.12 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- Técnica de medición utilizada, incluidos la configuración de prueba, la gama dinámica del sistema de medición, los algoritmos de procesamiento y una descripción de los dispositivos de imaginización, desplazamiento o exploración utilizados (incluyendo el ángulo de exploración o la AN, en su caso).
- Si se utiliza la técnica de unión desplazada, debe indicarse el método de ajuste utilizado.
- Condiciones de inyección.
- Longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad de la fuente.
- Identificación y longitud de la fibra.
- Tipo de supresor de modos de revestimiento y filtro (si se aplica).
- Ampliación óptica del equipo (si se aplica).
- Tipo y dimensiones del detector.
- Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario).
- Indicación de exactitud y repetibilidad.
- Diámetro del campo modal.

Nota — Al igual que con otros métodos de prueba, el equipo y el procedimiento anteriormente indicados corresponden únicamente a las características básicas del método de prueba de referencia. Se supone que la instrumentación detallada incorporará todas las medidas necesarias para garantizar la estabilidad, la eliminación del ruido, la relación señal/ruido necesaria, etc.

B.2 — Sección II — *Métodos de prueba para las características geométricas, excluido el diámetro del campo modal*

B.2.1 *Método de prueba de referencia: técnica del campo próximo transmitido.*

B.2.1.1 *Generalidades*

La técnica del campo próximo transmitido se utilizará para la medición de las características geométricas de las fibras ópticas monomodo. Dichas mediciones se realizan en forma consecuente con las definiciones pertinentes.

La medición se basa en la exploración de la imagen (o imágenes) ampliada del extremo de salida de la fibra a prueba en la sección (o secciones) transversal en que se coloca el detector.

B.2.1.2 *Aparato de prueba*

La figura B-1/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.1.2.1 *Fuente luminosa*

Una fuente luminosa de longitud de onda nominal 1550 nm será ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de esta fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo. Si es necesario, puede utilizarse una segunda fuente luminosa de características similares para iluminar el revestimiento. Las características espectrales de la segunda fuente luminosa no deben causar desenfoco de la imagen.

B.2.1.2.2 *Condiciones de inyección*

El dispositivo óptico de inyección, que se dispondrá de modo que cubra completamente la fibra, enfocará un haz de luz sobre el extremo de entrada plano de la fibra.

B.2.1.2.3 *Filtro de modos*

En la medición es necesario garantizar el funcionamiento monomodo en la longitud de onda de medición. En estos casos puede ser necesario introducir una curvatura para eliminar el modo LP_{11} .

B.2.1.2.4 *Supresor de modos de revestimiento*

Se empleará un supresor de modos de revestimiento adecuado para eliminar la potencia óptica que se propaga por el revestimiento. Cuando se miden solamente las características geométricas del revestimiento, el supresor de modos de revestimiento no estará presente.

B.2.1.2.5 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Los extremos de la fibra estarán limpios y lisos, y perpendiculares al eje de la fibra.

B.2.1.2.6 *Dispositivo óptico de ampliación*

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo próximo de salida del espécimen, y lo enfoca sobre el plano del detector de exploración. La apertura numérica, y por ende el poder de resolución del dispositivo óptico, será compatible con la exactitud de medición requerida y no inferior a 0,3. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada y se registrará.

En los dispositivos ópticos de ampliación podrían utilizarse técnicas de recorte de imágenes para conseguir mediciones exactas.

Nota — La validez de la técnica de recorte de imágenes está en estudio, y necesita ser confirmada.

B.2.1.2.7 *Detector*

Se utilizará un detector apropiado que proporcione la intensidad punto a punto del diagrama (o diagramas) de campo próximo transmitido. Por ejemplo, podrá utilizarse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) fotodetector de exploración con abertura de microorificio;
- b) espejo de exploración con abertura de microorificio fijo y fotodetector;
- c) vidicon de exploración, dispositivos acoplados por carga u otros dispositivos de reconocimiento de diagrama/intensidad;

El detector tendrá un comportamiento lineal (o será linealizado) en la gama de intensidades encontrada.

B.2.1.2.8 *Amplificador*

Se utilizará un amplificador para aumentar el nivel de la señal. Su anchura de banda se escogerá según el tipo de exploración utilizado. Cuando se explora el extremo de salida de la fibra con sistemas mecánicos u ópticos, suele modularse la fuente óptica. Cuando se adopta este procedimiento, el amplificador deberá estar asociado a la frecuencia de modulación de la fuente.

B.2.1.2.9 *Recogida de datos*

La distribución de intensidad medida puede registrarse y presentarse en forma adecuada, con arreglo a la técnica de exploración y los requisitos de especificación.

B.2.1.3 *Procedimiento*

B.2.1.3.1 *Calibración del equipo*

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la imagen de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

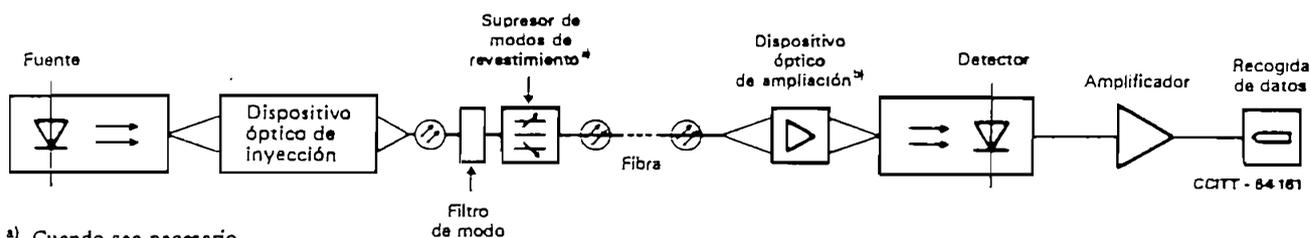
B.2.1.3.2 Medición

El extremo de inyección de la fibra se alinearán con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alinearán con el eje óptico del dispositivo óptico de ampliación (cuando se utilice). Para las mediciones de campo próximo, la imagen (o imágenes) enfocada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector de acuerdo con los requisitos de especificación. El enfoque se efectuará con la máxima exactitud, a fin de reducir los errores de dimensión debidos a la exploración de una imagen desenfocada. Después se calculan los parámetros geométricos deseados de acuerdo con las definiciones.

B.2.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- configuración de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- condiciones de inyección;
- características espectrales de la fuente (o fuentes);
- identificación y longitud de la fibra;
- tipo de filtro de modos (en su caso);
- ampliación del dispositivo óptico;
- tipo y dimensiones del detector de exploración;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- indicación de exactitud y repetibilidad;
- parámetros dimensionales resultantes, como diámetros del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.



a) Cuando sea necesario.

b) Incluye dispositivos ópticos de recorte de imagen, cuando procede.

FIGURA B-1/G.652

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo transmitido

B.2.2 Método de prueba alternativo: técnica del campo próximo refractado

Esta técnica se describe en la Recomendación G.651. Los niveles de decisión en los diversos interfaces de diferencia de índice de refracción se definen como sigue:

Núcleo/revestimiento	50%
Revestimiento/fluido adaptador del índice	50%

Pueden efectuarse análisis geométricos, con arreglo a lo indicado en el anexo A a la Recomendación G.652, por exploración de barrido por cuadrículas del punto luminoso de entrada.

B.2.3 Método de prueba alternativo: método de visión lateral

Es necesario confirmar la validez del método de la vista lateral en cuanto a las fibras de la Recomendación G.653.

B.2.3.1 Objetivo

El método de visión lateral se aplica a las fibras monomodo para determinar los parámetros geométricos [error de concentricidad de campo modal (ECCM)], diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento midiendo la distribución de intensidades de la luz que se refracta dentro de la fibra.

B.2.3.2 *Aparato de prueba*

La figura B-2/C muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.3.2.1 *Fuente luminosa*

La luz emitida será colimada, ajustable en intensidad y estable en posición de intensidad y longitud de onda durante un período suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Puede utilizarse una fuente luminosa estable y de gran intensidad, tal como un diodo fotoemisor (LED).

B.2.3.2.2 *Espécimen*

El espécimen a medir será un tramo corto de la fibra monomodo. Se retirará el recubrimiento primario de la fibra de la sección observada de la misma. La superficie de la fibra se mantendrá limpia durante la medición.

B.2.3.2.3 *Dispositivo óptico de ampliación*

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía la distribución de intensidad de la luz refractada dentro de la fibra sobre el plano de detector de exploración. El plano de observación se dispondrá a una distancia fija delante del eje de la fibra. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada, y se registrará.

B.2.3.2.4 *Detector*

Se utilizará un detector apropiado para determinar la distribución de intensidad ampliada en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular al eje de la fibra. Puede utilizarse un vidicon o un dispositivo acoplado por carga en la gama de medición requerida. La resolución del detector será compatible con la resolución espacial deseada.

B.2.3.2.5 *Procesamiento de los datos*

Se utilizará un computador con soporte lógico apropiado para el análisis de las distribuciones de intensidad.

B.2.3.3 *Procedimiento*

B.2.3.3.1 *Calibración del equipo*

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la longitud de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

B.2.3.3.2 *Medición*

La fibra a prueba se fija en el portamuestras y se pone en el sistema de medición. Se ajusta la fibra de manera que su eje sea perpendicular al eje óptico del sistema de medición.

Se registran las distribuciones de intensidad (presentadas como B) en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular al eje de la fibra $\text{a}-\text{a}'$ en A la figura B-2/G.562 para diferentes direcciones de observación, girando la fibra en torno a su eje, y manteniendo constante la distancia entre el eje de la fibra y el plano de observación. El diámetro del revestimiento y la posición central de la fibra se determinan analizando la simetría del diagrama de difracción (presentado como D). La posición central del núcleo se determina analizando la distribución de intensidades de la luz convergida (presentada como C). La distancia entre la posición central de la fibra y la del núcleo corresponde al valor observado nominal del ECCM.

Como se muestra en la figura B-3/G.652, ajustando la función sinusoidal a los valores experimentales obtenidos del ECCM representado en función del ángulo de rotación, el ECCM real se calcula como el producto de la máxima amplitud de la función sinusoidal y el factor de ampliación con respecto al efecto lente debido a la estructura cilíndrica de la fibra. El diámetro del revestimiento se evalúa como valor promediado de los diámetros medidos de la fibra para cada ángulo de rotación, que dan lugar a valores de los diámetros máximo y mínimo para determinar el valor de la no circularidad del revestimiento con arreglo a la definición.

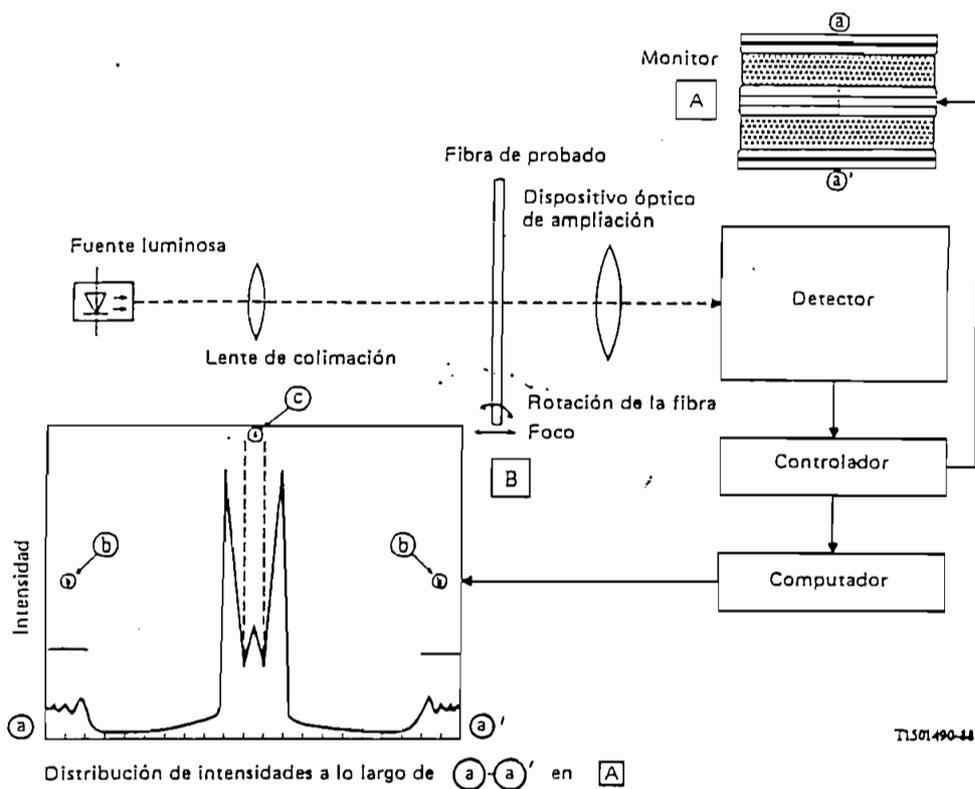


FIGURA B-2/G.652
Diagrama esquemático del sistema de medición

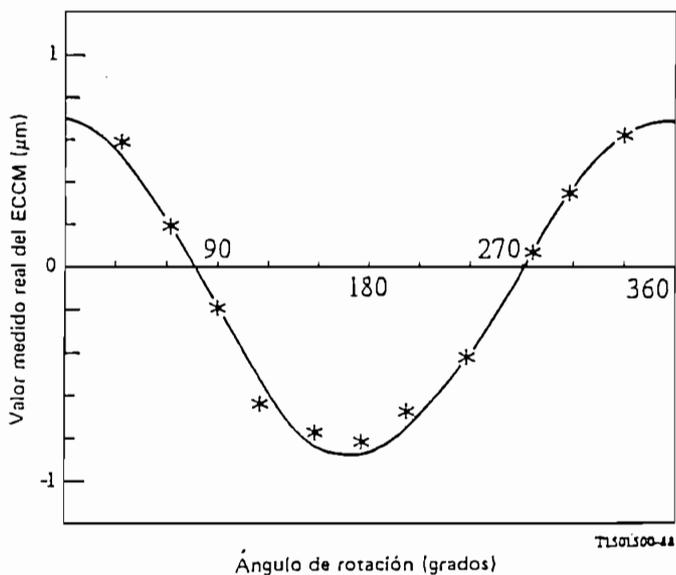


FIGURA B-3/G.652
Valor medido del ECCM en función del ángulo de rotación

B.2.3.3.3 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba;
- b) identificación de la fibra;
- c) características espectrales de la fuente;
- d) indicación de repetibilidad y exactitud;
- e) representación del ECCM en función del ángulo de rotación;
- f) ECCM, diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

B.2.4 *Método de prueba de referencia: técnica de imagen del campo próximo transmitido*

B.2.4.1 *Generalidades*

La técnica de imagen del campo próximo transmitido se utilizará para la medición de las características geométricas de las fibras ópticas monomodo. Dichas mediciones se realizan en forma consecuente con las definiciones pertinentes.

La medición se basa en el análisis de la imagen (o imágenes) ampliada del extremo de salida de la fibra a prueba.

B.2.4.2 *Aparato de prueba*

La figura B-4/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.4.2.1 *Fuente luminosa*

La fuente luminosa para iluminar el núcleo será ajustable en intensidad y estable en posición de intensidad durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Si es necesario, puede utilizarse una segunda fuente luminosa de características similares para iluminar el revestimiento. Las características espectrales de la segunda fuente luminosa no deben causar desenfoco de la imagen.

B.2.4.2.2 *Condiciones de inyección*

El dispositivo óptico de inyección, que se dispondrá de modo que cubra completamente la fibra, enfocará el haz de luz sobre el extremo de entrada plano de la fibra.

B.2.4.2.3 *Supresor de modos de revestimiento*

Se utilizará un supresor de modos de revestimiento adecuado para eliminar la potencia óptica que se propaga por el revestimiento. Cuando se miden solamente las características geométricas del revestimiento, el supresor de modos de revestimiento no estará presente.

B.2.4.2.4 *Espécimen*

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Los extremos de la fibra están limpios y lisos, y perpendiculares al eje de la fibra.

B.2.4.2.5 *Dispositivo óptico de ampliación*

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo próximo de salida del espécimen, y lo enfoca sobre el plano del detector de exploración. La apertura numérica, y por ende el poder de resolución del dispositivo óptico, será compatible con la exactitud de medición requerida y no inferior a 0,3. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada, y se registrará.

En los dispositivos ópticos de ampliación podrían utilizarse técnicas de recorte de imágenes para conseguir mediciones exactas.

B.2.4.2.6 *Detección*

Se examinará y/o analizará la imagen de la fibra. Por ejemplo, podrá utilizarse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) recorte de imágenes¹⁾;
- b) análisis de escala de grises de una imagen electrónicamente registrada.

B.2.4.2.7 *Recogida de datos*

Los datos pueden registrarse, procesarse y presentarse en forma adecuada, con arreglo a la técnica de exploración y los requisitos de especificación.

B.2.4.3 *Procedimiento*

B.2.4.3.1 *Calibración del equipo*

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la imagen de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

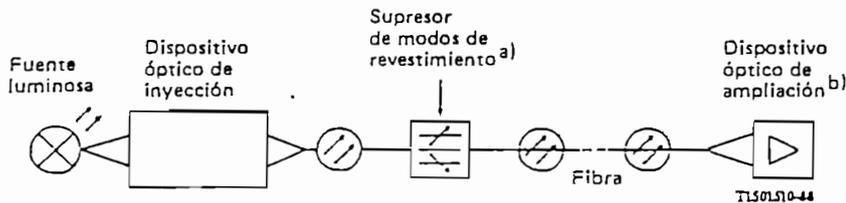
B.2.4.3.2 *Medición*

El extremo de inyección de la fibra se alineará con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alineará con el eje óptico del dispositivo óptico de ampliación. Para las mediciones de campo próximo, la imagen (o imágenes) enfocada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector de acuerdo con los requisitos de especificación.

Deben minimizarse los errores de desenfoque, a fin de reducir los errores de dimensión en las mediciones. Después se calculan los parámetros geométricos deseados.

B.2.4.4 *Presentación de los resultados*

- a) configuración de prueba, con indicación de la técnica utilizada;
- b) condiciones de inyección;
- c) características espectrales de la fuente;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) ampliación del dispositivo óptico;
- f) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario);
- g) indicación de exactitud y repetibilidad;
- h) parámetros dimensionales resultantes, como diámetro del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.



a) Cuando sea necesario.

b) Incluye dispositivo óptico de recorte de imágenes, cuando es necesario.

FIGURA B-4/G.652

¹⁾ La validez de la técnica de recorte de imágenes está en estudio, y necesita ser confirmada.

B.3 — Sección III — Método de prueba para la longitud de onda de corte

B.3.1 Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte (λ_c) de la fibra con recubrimiento primario: técnica de la potencia transmitida

B.3.1.1 Objetivo

La medición de la longitud de onda de corte de fibras monomodo tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

B.3.1.2 Técnica de la potencia transmitida

Este método utiliza la variación con la longitud de onda de la potencia transmitida de un tramo corto de la fibra que se prueba, en condiciones definidas, comparada con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esta potencia de referencia:

- a) la fibra de prueba con un bucle de radio más pequeño, o
- b) un tramo corto (1 a 2 m) de fibra multimodo.

B.3.1.2.1 Aparato de prueba

B.3.1.2.1.1 Fuente luminosa

Se utilizará una fuente luminosa de anchura espectral a amplitud mitad que no exceda de 10 nm, estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicarse el procedimiento de medición completo.

B.3.1.2.1.2 Modulación

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. El sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.3.1.2.1.3 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección deben usarse de tal forma que exciten de una manera prácticamente uniforme los modos LP_{01} y LP_{11} . Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra multimodo, o
- b) la inyección con una mancha luminosa suficientemente ancha (dispositivo óptico de gran apertura numérica).

B.3.1.2.1.4 Supresor de modos de revestimiento

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación; como resultado, los modos propagados por el revestimiento son suprimidos de la fibra. Se tendrá cuidado de evitar que se afecte a la propagación del modo LP_{11} .

B.3.1.2.1.5 Detector óptico

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. El detector debe ser uniforme y tener sensibilidad lineal.

B.3.1.2.2 Procedimiento

B.3.1.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un largo de fibra de 2 m. La fibra se inserta en el equipo de prueba y se flexiona para formar un bucle poco apretado. El bucle dará la vuelta completa a un círculo de 140 mm de radio. El resto de la fibra estará prácticamente libre de tensiones externas. Aunque se admiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio, no deben introducir cambios significativos en el resultado de la medición. Se registrará la potencia de salida $P_1(\lambda)$ en función de λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Nota — La presencia de un recubrimiento primario por lo general no afecta a la longitud de onda de corte. Por el contrario, la presencia de un recubrimiento secundario puede hacer que la longitud de onda de corte sea sensiblemente más corta que la de la fibra que sólo tiene un recubrimiento primario.

B.3.1.2.2.2 Transmisión a través de la muestra de referencia

Puede utilizarse el método a) o el b).

- a) utilizando la muestra de prueba, y manteniendo fijas las condiciones de inyección, se mide una potencia de salida $P_2(\lambda)$ en la misma gama de longitudes de onda con un bucle al menos de radio suficientemente pequeño en la muestra de prueba para filtrar el modo LP_{11} . Un valor típico del radio para este bucle es 30 mm;
- b) con un tramo corto (1-2 m) de fibra multimodo, se mide una potencia de salida $P_3(\lambda)$ en la misma gama de longitudes de onda.

Nota — La presencia de modos de fuga puede producir rizado en el espectro de transmisión de la fibra multimodo de referencia, lo que afecta al resultado de la medición. A fin de reducir este efecto, la inyección de la luz puede limitarse de modo que sólo comprende el 70% del diámetro del núcleo y la apertura numérica de la fibra multimodo; otra posibilidad consiste en utilizar un filtro de modo adecuado.

B.3.1.2.2.3 Cálculos

La relación logarítmica entre las potencias transmitidas $P_1(\lambda)$ y $P_i(\lambda)$ se calcula por la fórmula:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)]$$

donde

$i = 2$ ó 3 para el método a) o b) respectivamente.

Nota 1 — En el método a), el pequeño bucle forma un filtro de modo que elimina todos los modos, con excepción del fundamental, que se propagan a longitudes de onda superiores a una longitud de onda situada a unas cuantas decenas de nm por debajo de la longitud de onda de corte λ_c . A longitudes de onda de más de unas centenas de nm por encima de λ_c , el bucle puede producir una gran atenuación, del modo fundamental. $R(\lambda)$ es igual a la relación logarítmica entre la potencia total que emerge de la muestra, incluida la del modo LP_{11} , y la potencia del modo fundamental. Cuando los modos son excitados uniformemente de acuerdo con el § B.1.2.1.3, $R(\lambda)$ da también la atenuación del modo LP_{11} , $A(\lambda)$ en dB, en la muestra que se prueba:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda)/P_2(\lambda) - 1)/2]$$

B.3.1.2.2.4 Determinación de la longitud de onda de corte

Si se utiliza el método a), λ_c se determina como la mayor longitud de onda a la cual $R(\lambda)$ es igual a 0,1 dB (véase la figura B-5/G.652).

Si se utiliza el método b), λ_c se determina por la intersección de la curva de $R(\lambda)$ y la recta (2) desplazada 0,1 dB y paralela a la recta (1) ajustada a la parte de longitud de onda grande de $R(\lambda)$ (véase la figura B-6/G.652).

Nota — Según la definición, la atenuación del modo LP_{11} en la muestra sometida a prueba es 19,3 dB a la longitud de onda de corte.

B.3.1.2.2.5 Presentación de los resultados

- a) configuración de prueba;
- b) condición de inyección;
- c) tipo de muestra de referencia;
- d) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) gama de longitudes de onda de medición;
- g) longitud de onda de corte;
- h) representación de $R(\lambda)$ (si es necesario).

B.3.2 Método de prueba alternativo para λ_c : técnica del mandril dividido

B.3.2.1 Objetivo en B.3.2.2.1.5 Detector óptico (igual que B.3.1.1 a B.3.1.2.1.5)

B.3.2.2.2 Procedimiento

B.3.2.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

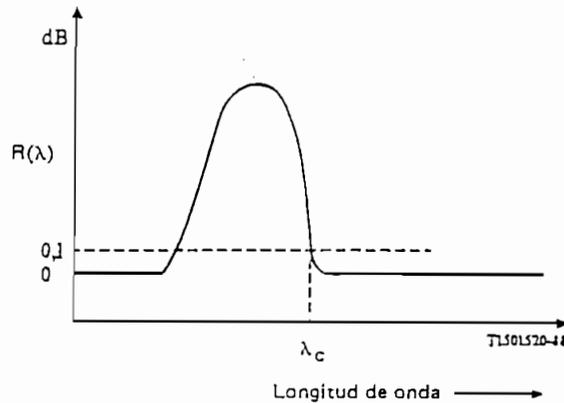


FIGURA B-5/G.652

Representación típica de la longitud de onda de corte utilizando una referencia monomodo

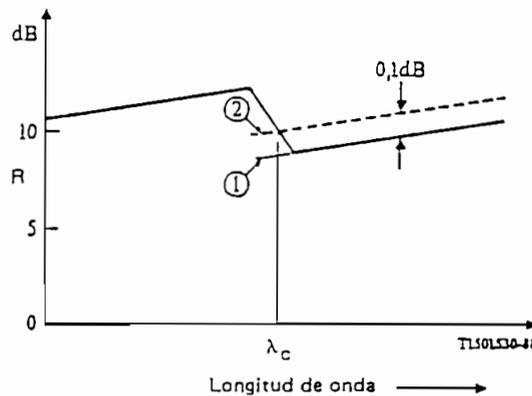


FIGURA B-6/G.652

Representación típica de la longitud de onda de corte utilizando una referencia multimodo

La medición se efectuará con un largo de fibra de 2 m. La fibra se inserta en el equipo de prueba y se curva para formar un bucle poco apretado. El bucle contendrá una vuelta completa (360 grados) compuesta por dos arcos (180 grados cada uno) de 140 mm de radio unidos por tangentes. El resto de la fibra estará prácticamente libre de tensiones externas. Aunque se admiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio, no deben introducir cambios significativos en el resultado de la medición. Se registrará la potencia de salida, $P_1(\lambda)$, en función de λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Como se ve en la figura B-7/G.652, el mandril semicircular inferior se desplaza para eliminar cualquier holgura del bucle de fibra, sin que haya que desplazar el dispositivo óptico de inyección o recepción y sin aplicar a la muestra de fibra ninguna tensión mecánica significativa.

B.3.2.2.2.2 a B.3.2.2.2.5 (igual que B.3.1.2.2.2 a B.3.1.2.2.5)

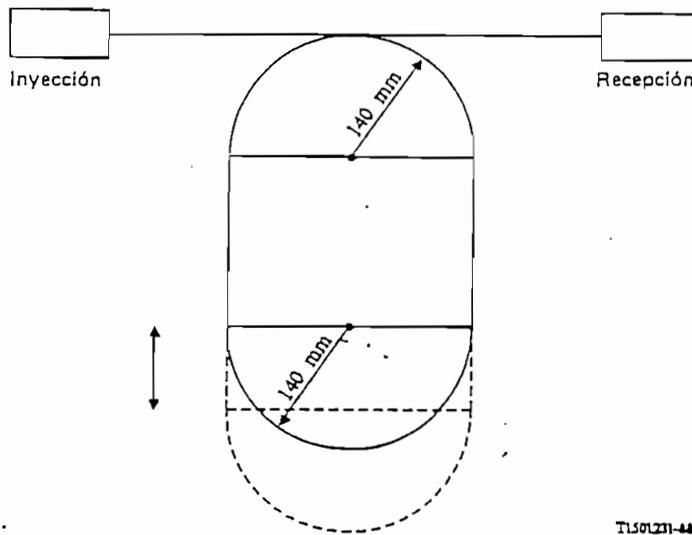


FIGURA B-7/G.652

**Instalación de la fibra:
Longitud de onda de corte por la técnica del mandril dividido**

B.3.3 *Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte de la fibra cableada (λ_{cc}): técnica de la potencia transmitida*

B.3.3.1 *Objetivo*

Esta medición de la longitud de onda de corte, que se efectúa en fibras monomodo cableadas en condiciones de instalación que simulan las longitudes de cable mínimas de la planta externa, tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

B.3.3.2 *Técnica de la potencia transmitida*

Este método utiliza la variación con la longitud de onda de la potencia transmitida del cable de fibra sometido a prueba, en condiciones definidas, por comparación con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esa potencia de referencia:

- a) la fibra cableada de prueba con un bucle de radio más pequeño;
- b) un tramo corto (1 a 2 metros) de fibra multimodo.

B.3.3.2.1 *Aparato de prueba*

B.3.3.2.1.1 *Fuente luminosa (igual que B.3.1.2.1.1)*

B.3.3.2.1.2 *Modulación (igual que B.3.1.2.1.2)*

B.3.3.2.1.3 *Condiciones de inyección (igual que B.3.1.2.1.3)*

B.3.3.2.1.4 *Supresor de modos de revestimiento (igual que B.3.1.2.1.4)*

B.3.3.2.1.5 *Detector óptico (igual que B.3.1.2.1.5)*

B.3.3.2.2 Procedimiento

B.3.3.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un tramo de fibra monomodo en cable. Se preparará un tramo de cable de 22 m, dejando expuesto en cada extremo 1 m de fibra no cableada, y los 20 m restantes de cable se tenderán sin ninguna curvatura que pueda afectar el valor de la medición. Para simular los efectos de un organizador de empalmes, se hará un bucle de XX mm de radio en cada tramo de fibra no cableada (véase la figura B-8/G.652). Aunque se admiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio en la fibra o el cable, no deben introducir cambios significativos en las mediciones. Se registrará la potencia de salida $P_i(\lambda)$ en función de λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Nota — El valor de XX está en estudio. Algunas Administraciones indicaron que es apropiado un valor de 45 mm. Estos bucles tienen por objeto simular las condiciones de instalación, según la práctica de una determinada Administración. Otra posibilidad es eliminar los bucles, si esa es la práctica de la Administración.

B.3.3.2.2.2 Transmisión por la muestra de referencia (igual que B.3.1.2.2.2)

B.3.3.2.2.3 Cálculos

La relación logarítmica entre las potencias transmitidas $P_i(\lambda)$ y $P_r(\lambda)$ se calcula por la expresión

$$R(\lambda) = 10 \log [P_i(\lambda) / P_r(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

donde $i = 2$ ó 3 para el método a) o b) respectivamente.

B.3.3.2.2.4 Determinación de la longitud de onda de corte de la fibra cableada

Si se utiliza el método a), λ_{cc} se determina como la longitud de onda más grande a la que $R(\lambda)$ es igual a 0,1 dB (véase la figura B-5/G.652). Si se utiliza el método b), λ_{cc} viene determinada por la intersección de una representación gráfica de $R(\lambda)$ y una línea recta (2) desplazada 0,1 dB y paralela a la línea recta (1) ajustada a la porción de longitud de onda larga de $R(\lambda)$ (véase la figura B-6/G.652).

B.3.3.2.2.5 Presentación de los resultados

- configuración de prueba;
- condición de inyección;
- tipo de muestra de referencia;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- identificación de la fibra y del cable;
- gama de longitudes de onda de medición;
- longitud de onda de corte de la fibra cableada;
- representación gráfica de $R(\lambda)$ (si es necesario).

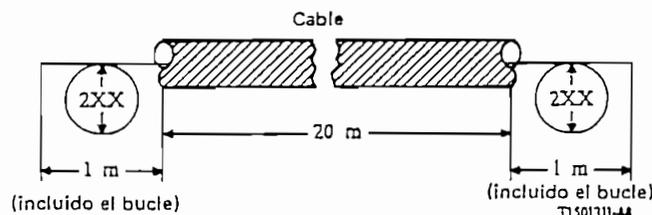


FIGURA B-8/G.652

Condición de instalación para la medición de la longitud de onda de corte de una fibra cableada

B.4 — Sección IV — Métodos de prueba para las mediciones de atenuación

B.4.1 Inyección

B.4.1.1 Objetivos

Las pruebas de atenuación están destinadas a proporcionar un medio por el cual pueda asignarse un cierto valor de atenuación a un largo de fibra, de modo que los valores de atenuación individuales puedan sumarse para determinar la atenuación total de un largo concatenado.

B.4.1.2 Definición

La atenuación $A(\lambda)$ a una longitud de onda λ entre dos secciones transversales de una fibra, separadas por una distancia L , se define como sigue:

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

donde $P_1(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 1, y $P_2(\lambda)$ la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 2 a la longitud de onda λ .

Para una fibra uniforme, es posible definir una atenuación por unidad de longitud o un coeficiente de atenuación:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{dB/unidad de longitud}) \quad (2)$$

que es independiente de la longitud de la fibra.

Nota — Los valores de atenuación especificados para largos de fabricación deben medirse a temperatura ambiente (es decir, a un único valor de la gama de 10 a 35 °C).

B.4.2 Método de prueba de referencia: técnica de la fibra cortada

La técnica de la fibra cortada es una aplicación directa de esta definición, en la cual los niveles de potencia P_1 y P_2 se miden en dos puntos de la fibra sin modificar las condiciones de entrada. P_2 es la potencia que sale del extremo lejano de la fibra y P_1 la potencia que sale de un punto próximo a la entrada después del punto de corte de la fibra.

B.4.2.1 Aparato de prueba

Las mediciones pueden efectuarse a una o más longitudes de onda puntuales, o bien puede requerirse una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. La figura B-9/G.652 presenta como ejemplos diagramas de equipos de prueba adecuados.

B.4.2.1.1 Fuente óptica

Se utilizará una fuente de radiación apropiada, como una lámpara, un láser o un diodo fotoemisor. La elección de la fuente depende del tipo de medición. La fuente ha de ser estable en posición, intensidad y la longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. La anchura espectral a amplitud mitad se especificará de modo que la anchura de raya sea estrecha en relación con cualquiera de las características de atenuación espectral de la fibra.

B.4.2.1.2 Modulación

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente luminosa. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.4.2.1.3 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental. Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra;
- b) la inyección con un sistema óptico apropiado.

B.4.2.1.4 Filtro de modos

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior por el largo de corte. A tal fin puede que haga falta introducir una curvatura para suprimir los modos de orden superior.

B.4.2.1.5 *Supresor de modos de revestimiento*

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación; como resultado, los modos de revestimiento son suprimidos de la fibra.

B.4.2.1.6 *Detector óptico*

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. El detector debe ser uniforme y tener una característica de sensibilidad lineal.

B.4.2.2 *Procedimiento de medición*

B.4.2.2.1 *Preparación de la fibra a probar*

Los extremos de la fibra estarán muy limpios y lisos, y serán perpendiculares al eje de la fibra. Las mediciones en fibras que no forman parte de cables deberán efectuarse con la fibra suelta en el tambor, para que la superficie de éste no produzca efectos de microflexión.

B.4.2.2.2 *Procedimiento*

- 1) La fibra a probar se coloca en la configuración de prueba. Se registra la potencia de salida P_2 .
- 2) Manteniendo fijas las condiciones de inyección, se corta la fibra a la longitud de corte escogida (por ejemplo, a 2 m del punto de inyección). Si es necesario utilizar un supresor de modos de revestimiento, se reajusta este dispositivo y se registra la potencia de salida P_1 del tramo de fibra cortada.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido P_1 y P_2 puede calcularse a partir de la definición, utilizando los valores hallados de P_1 y P_2 .

B.4.2.2.3 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda y anchura espectral amplitud mitad;
- b) identificación de la fibra;
- c) longitud de la muestra;
- d) atenuación de la muestra, en dB;
- e) coeficiente de atenuación, en dB/km;
- f) indicación de exactitud y repetibilidad;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

B.4.3 *Primer método de prueba alternativo: técnica del retroesparcimiento*

Nota — Este método de prueba describe un procedimiento para medir la atenuación de una muestra homogénea de cable de fibra óptica monomodo. La técnica puede aplicarse para comprobar la continuidad óptica, defectos físicos, empalmes, luz retroesparcida de los cables de fibra óptica y la longitud de la fibra.

B.4.3.1 *Condiciones de inyección*

El haz de inyección incidirá coaxialmente sobre el extremo de inyección de la fibra. Pueden utilizarse diversos dispositivos, tales como un adaptador de índices para reducir las reflexiones de Fresnel. Se minimizará la pérdida por acoplamiento.

B.4.3.2 *Equipo y procedimiento*

B.4.3.2.1 *Consideraciones generales*

El nivel de señal de la señal óptica retroesparcida será normalmente pequeño y próximo al nivel de ruido. A fin de mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica suele por tanto utilizarse una fuente luminosa de alta potencia en relación con el procesamiento de la señal detectada. Además, para una resolución espacial exacta puede requerirse el ajuste de la anchura de los impulsos a fin de obtener un compromiso entre la resolución y la energía de los impulsos. Se tendrá especial cuidado de minimizar las reflexiones de Fresnel.

Asimismo, se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior.

En la figura B-10a/G.652 se muestra un ejemplo del equipo.

B.4.3.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente óptica de alta potencia de una longitud de onda adecuada. Deberá registrarse la longitud de onda de la fuente. La anchura de los impulsos y la frecuencia de repetición deben ser consecuentes con la resolución deseada y la longitud de la fibra. En la parte de la fibra que se prueba no deberán producirse efectos ópticos no lineales.

B.4.3.2.3 Dispositivo de acoplamiento

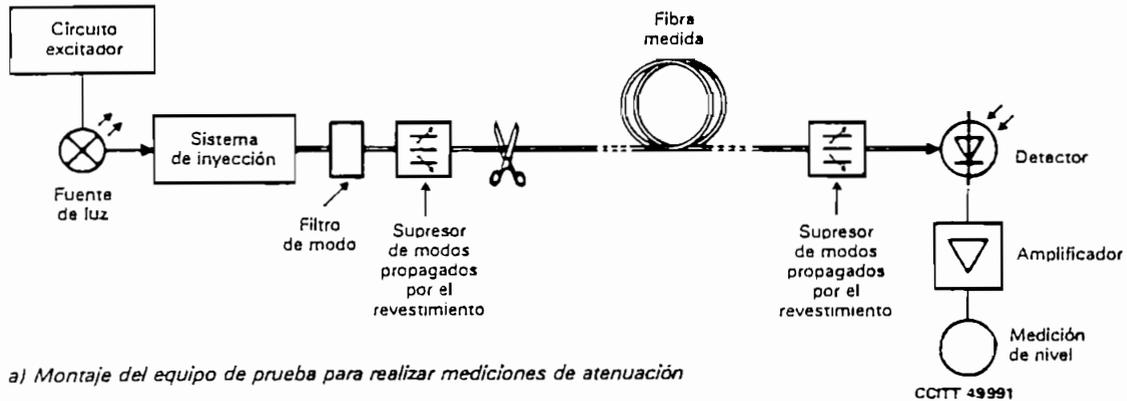
El dispositivo de acoplamiento es necesario para acoplar la radiación de la fuente a la fibra y la radiación retroesparcida al detector, a la vez que se evita un acoplamiento directo de la fuente con el detector. Pueden utilizarse varios dispositivos, pero deben evitarse los dispositivos basados en efectos de polarización.

B.4.3.2.4 Detección óptica

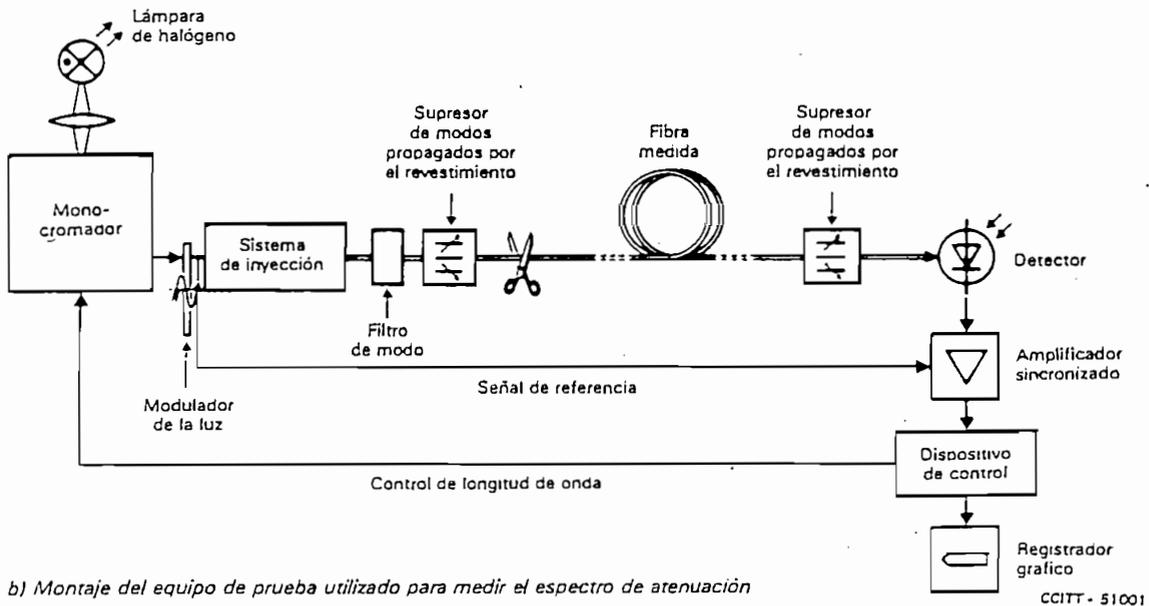
Se utilizará un detector a fin de interceptar la máxima potencia retroesparcida posible. La respuesta del detector será compatible con los niveles y longitudes de onda de la señal detectada. Para las mediciones de atenuación, la respuesta del detector será prácticamente lineal.

Se requiere el procesamiento de la señal para mejorar la relación señal/ruido, y es conveniente disponer de una respuesta logarítmica en el sistema de detección.

Un amplificador apropiado seguirá al detector óptico, de modo que el nivel de señal sea el adecuado para el procesamiento de la misma. La anchura de banda del amplificador se escogerá como un compromiso entre la resolución temporal y la reducción del ruido.



a) Montaje del equipo de prueba para realizar mediciones de atenuación



b) Montaje del equipo de prueba utilizado para medir el espectro de atenuación

FIGURA B-9/G.652
Técnica de la fibra cortada

B.4.3.2.5 *Supresor de modos de revestimiento*

Véase el § B.2.1.5.

B.4.3.2.6 *Procedimiento*

- 1) La fibra a prueba se alinea con el dispositivo de acoplamiento.
- 2) Se analiza la potencia retroesparcida mediante un procesador de señales y se registra en una escala logarítmica. La figura B-10b/G.652 muestra una curva típica así.
- 3) La atenuación entre dos puntos A y B de la curva correspondiente a dos secciones transversales de la fibra es:

$$A(\lambda)_{A-B} = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad (\text{dB})$$

donde V_A y V_B son los niveles de potencia correspondientes dados en escala logarítmica.

Nota — Debe prestarse atención a las condiciones de esparcimiento en los puntos A y B cuando se calcula la atenuación de esta manera.

- 4) Si así se requiere, pueden efectuarse mediciones bidireccionales, junto con el cálculo numérico, para mejorar la calidad del resultado y posiblemente poder separar la atenuación del factor de retroesparcimiento.

B.4.3.2.7 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) tipos y características de medición;
- b) técnicas de inyección;
- c) configuración de prueba;
- d) humedad relativa y temperatura de la muestra (cuando es necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) longitud de la muestra,
- g) tiempo de subida, anchura y frecuencia de repetición del impulso;
- h) clase de procesamiento de señales utilizado;
- i) la curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra y, en ciertas condiciones, el coeficiente de atenuación en dB/km.

Nota — El análisis completo de la curva registrada (figura B-10b/G.652) muestra que, aparte de la medición de atenuación, pueden supervisarse muchos fenómenos utilizando la técnica del retroesparcimiento:

- a) la reflexión originada por el dispositivo de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- b) zona de pendiente constante;
- c) discontinuidad debida a defecto local, empalme o acoplamiento;
- d) reflexión debida a defecto dieléctrico;
- e) reflexión en el extremo de la fibra.

B.4.4 *Segundo método de prueba alternativo: técnica de la pérdida de inserción*

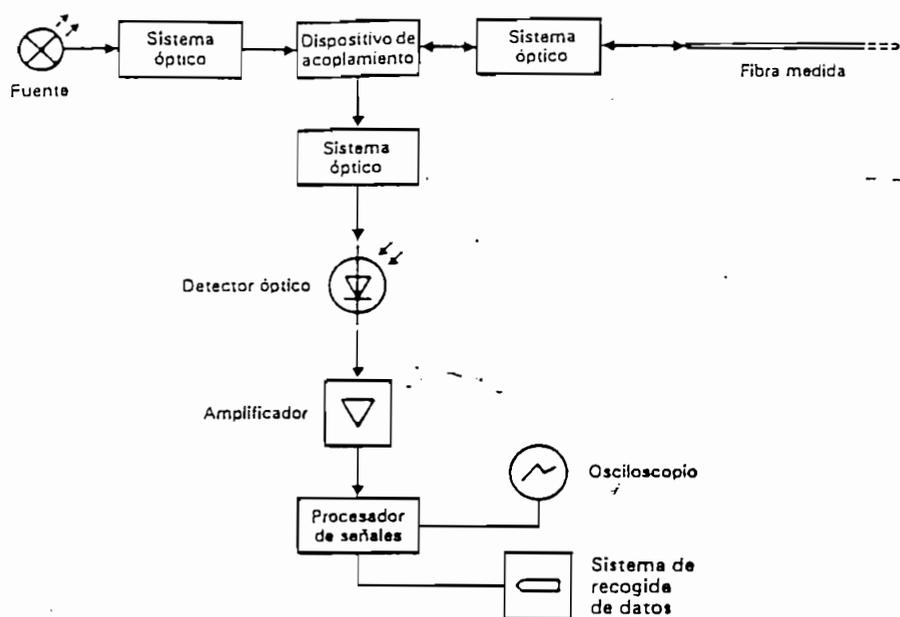
En estudio.

B.5 — Sección V — *Métodos de prueba para la medición del coeficiente de dispersión cromática*

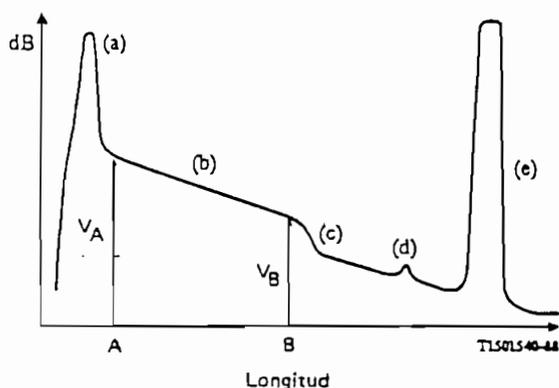
B.5.1 *Método de prueba de referencia para la medición de la dispersión cromática*

B.5.1.1 *Objetivo*

El coeficiente de dispersión cromática de la fibra se obtiene de la medición del retardo de grupo relativo experimentado por las diversas longitudes de onda durante la propagación a través de un largo de fibra conocido.



a) Esquema del aparato



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

FIGURA B-10/G.652

Técnica de retroesparcimiento

El retardo de grupo puede medirse en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, de acuerdo con el tipo de modulación de la fuente.

En el primer caso, se mide el retardo experimentado por los impulsos en diversas longitudes de onda; en el segundo caso, se registra y se procesa el desplazamiento de fase de una señal moduladora sinusoidal para obtener el retardo de tiempo.

La dispersión cromática puede medirse a una longitud de onda fija o en una gama de longitudes de onda.

B.5.1.2 *Aparato de prueba*

La figura B-11/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.5.1.2.1 *Fuente*

La fuente será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un período de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Pueden utilizarse diodos láser, diodos fotoemisores o fuentes de banda ancha (por ejemplo, un láser YAG al Nd con una fibra Raman, según la gama de longitudes de onda de la medición).

En todo caso, la señal moduladora deberá ser tal que garantice un tiempo de resolución suficiente en la medición del retardo de grupo.

B.5.1.2.2 *Selección de longitud de onda*

Se utiliza un selector de longitud de onda para seleccionar la longitud de onda a la cual ha de medirse el retardo de grupo. Puede utilizarse un conmutador óptico, monocromador, dispositivos dispersivos, filtros ópticos, acoplador acústico, conectores, etc., según el tipo de las fuentes de luz y el montaje de medición. La selección puede efectuarse conmutando señales eléctricas de excitación de las fuentes de luz para diferentes longitudes de onda. El selector de longitud de onda puede utilizarse en el extremo de entrada o en el extremo de salida de la fibra medida.

B.5.1.2.3 *Detector*

La luz que sale de la fibra medida, de la fibra de referencia, o del divisor óptico, u otro dispositivo equivalente, se acopla a un fotodetector cuya relación señal a ruido y resolución temporal son adecuadas para la medición. El detector va seguido de un amplificador de bajo ruido, si es necesario.

B.5.1.2.4 *Canal de referencia*

El canal de referencia puede consistir en una línea de señales eléctricas o en una línea de señales ópticas. En este canal puede insertarse un generador de retardo de tiempo. En ciertos casos puede utilizarse la propia fibra probada como línea del canal de referencia.

B.5.1.2.5 *Detector de retardo*

El detector de retardo medirá el retardo de tiempo o el desplazamiento de fase entre la señal de canal. En el caso de modulación sinusoidal, podrá utilizarse un voltímetro vectorial. En el caso de modulación por impulsos, podrá utilizarse un osciloscopio de alta velocidad o un osciloscopio de muestreo.

B.5.1.2.6 *Procesador de señales*

Puede añadirse un procesador de señales para reducir el ruido y/o la fluctuación de fase de la forma de onda medida. En caso necesario, puede utilizarse un computador digital para control del equipo, recogida de datos y evaluación numérica de éstos.

B.5.1.3 *Procedimiento*

La fibra a prueba se acopla adecuadamente a la fuente y al detector mediante un selector de longitud de onda, un divisor óptico, etc. Si es necesario, puede realizarse una calibración del retardo cromático de la fuente. Debe lograrse un compromiso adecuado entre la resolución de longitud de onda y el nivel de la señal. A menos que la fibra sometida a prueba sea utilizada también como línea del canal de referencia, la temperatura de la fibra debe ser suficientemente estable durante la medición.

El retardo de tiempo o el desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de trabajo deben medirse con el detector de retardo. Se utiliza un procesamiento de datos apropiado al tipo de modulación a fin de obtener el coeficiente de dispersión cromática en la longitud de onda de trabajo. En caso necesario, puede realizarse una exploración espectral del retardo de grupo en función de la longitud de onda: puede completarse una curva de ajuste a partir de los valores medidos.

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda deben ajustarse a la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

donde τ_0 es el retardo relativo mínimo a la longitud de onda de dispersión nula λ_0 . El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse diferenciando la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

donde S_0 es la pendiente de dispersión nula (uniforme), es decir, el valor de la pendiente de dispersión $S(\lambda) = dD/d\lambda$ a la longitud de onda λ_0 .

Nota 1 — Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No se ha previsto utilizarlas en la región de 1300 nm.

Nota 2 — Como otra posibilidad, el coeficiente de dispersión cromática puede medirse directamente, por ejemplo, por un método de desplazamiento de fase diferencial. En este caso, se ajustará directamente una línea recta al coeficiente de dispersión para determinar λ_0 y S_0 .

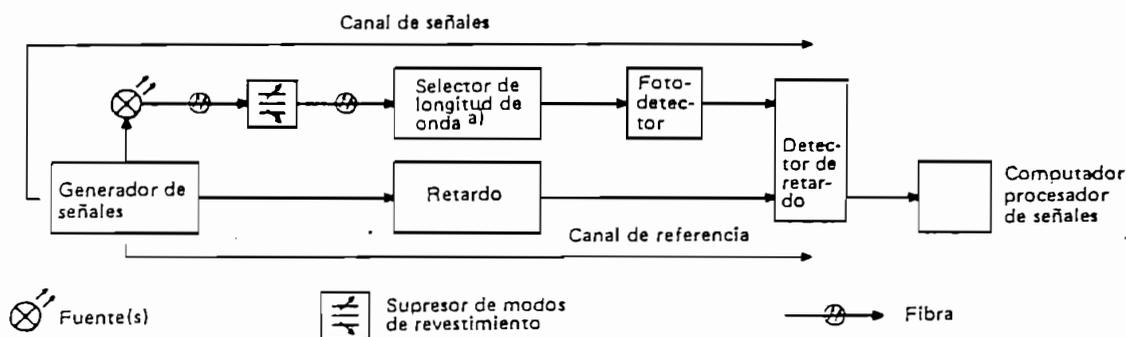
B.5.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- configuración de prueba;
- tipo de modulación utilizada;
- características de la fuente;
- identificación y longitud de la fibra;
- características del selector de longitud de onda (si existe);
- tipo de fotodetector;
- características del detector de retardo;
- valores de la longitud de onda de dispersión nula y la pendiente de dispersión nula.

Si se utiliza la técnica del dominio de la frecuencia, el retardo de grupo t se deducirá del desplazamiento de fase correspondiente mediante la relación $t = \varphi/(2\pi f)$, siendo f la frecuencia de modulación;

- procedimientos de ajuste de los datos de retardo relativo con la gama de longitudes de onda utilizada;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).



T1500010-85

^{a)} Cuando sea necesario.

FIGURA B-11/G.652

Montaje típico del aparato de prueba

B.5.2 *Método de prueba alternativo para la medición del coeficiente de dispersión cromática: método de la prueba interferométrica*

B.5.2.1 *Objetivo*

El método de la prueba interferométrica permite medir la dispersión cromática utilizando un tramo corto de fibra (de varios metros). Este método ofrece la posibilidad de medir la homogeneidad longitudinal de la dispersión cromática de las fibras ópticas. Permite además medir el efecto de influencias generales o locales, tales como los cambios de temperatura y las pérdidas por microflexión, sobre la dispersión cromática.

Según el principio de medición interferométrica, el retardo dependiente de la longitud de onda entre la muestra probada y el trayecto de referencia se mide con un interferómetro Mach-Zehnder. El trayecto de referencia puede hallarse en un trayecto aéreo o en una fibra monomodo con un retardo de grupo espectral conocido.

Debe señalarse que la extrapolación de los valores de dispersión cromática obtenidos mediante la prueba interferométrica con fibras de pocos metros de longitud, a largas secciones de fibras, presupone la homogeneidad longitudinal de la fibra. Esta hipótesis puede no ser aplicable en todos los casos.

B.5.2.2 *Aparato de prueba*

Las figuras B-12/G.652 y B-13/G.652 muestran diagramas esquemáticos del aparato de prueba en los cuales el trayecto de referencia está constituido por una fibra óptica y un trayecto aéreo, respectivamente.

B.5.2.2.1 *Fuente óptica*

La fuente será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. La fuente debe ser adecuada, por ejemplo, un láser YAG con fibra Raman o una lámpara y una fuente óptica de diodo fotoemisor, etc. Para la aplicación de técnicas de amplificación sincronizada, basta con una fuente luminosa para modulación a baja frecuencia (50 a 500 Hz).

B.5.2.2.2 *Selector de longitud de onda*

Se utiliza un selector de longitud de onda para seleccionar la longitud de onda a la cual se mide el retardo del grupo. Puede utilizarse un monocromador, un filtro de interferencia óptica u otro selector de longitud de onda, según el tipo de fuentes ópticas y los sistemas de medición. El selector de longitud de onda puede utilizarse en el extremo de entrada o en el de salida de la fibra probada.

La anchura espectral de las fuentes ópticas debe ser limitada por la exactitud de medición de la dispersión, y es de unos 2 a 10 nm.

B.5.2.2.3 *Detector óptico*

El detector óptico debe tener suficiente sensibilidad en la gama de longitudes de onda a la que debe determinarse la dispersión cromática. Si es necesario, podría mejorarse la señal recibida, por ejemplo con un circuito de transimpedancia.

B.5.2.2.4 *Equipo de prueba*

Para registrar los diagramas de interferencia puede utilizarse un amplificador sincronizado. Para equilibrar la longitud óptica de los dos trayectos del interferómetro se utiliza un dispositivo de posicionamiento lineal en el trayecto de referencia. En cuanto al posicionamiento del dispositivo, es importante asegurarse de su exactitud, uniformidad y estabilidad de movimiento lineal. La variación de la longitud debe hallarse en la gama de 20 a 100 mm, con una exactitud de unos 2 μm .

B.5.2.2.5 *Espécimen*

Como espécimen para la prueba pueden utilizarse fibras monomodo no cableadas y cableadas. La longitud del espécimen debe hallarse en la gama de 1 a 10 m, con una exactitud de ± 1 mm. La preparación de las caras extremas de las fibras debe realizarse con cierto cuidado.

B.5.2.2.6 *Procesamiento de los datos*

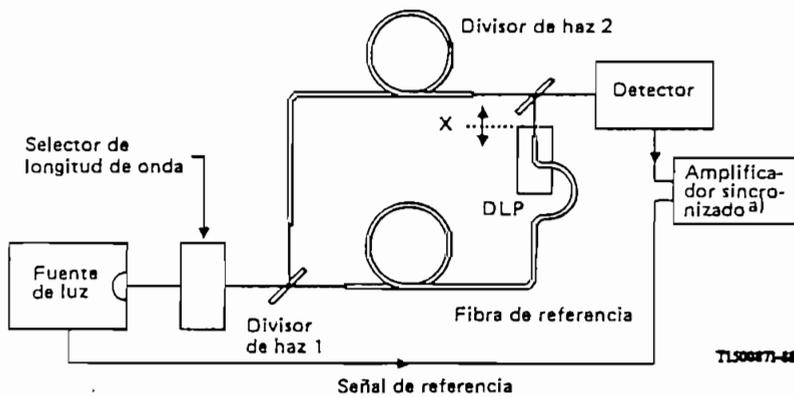
Para el análisis de los diagramas de interferencia debe utilizarse un computador con soporte lógico adecuado.

B.5.2.3 Procedimiento de prueba

- 1) La fibra probada se dispone en el montaje de medición (figuras B-12, B-13/G.652). El posicionamiento de las caras extremas de la fibra se efectúa con dispositivos de microposicionamiento tridimensional, optimizando la potencia óptica recibida por el detector. No son posibles errores debidos a modos de revestimiento.
- 2) La determinación del retardo de grupo se efectúa equilibrando las longitudes ópticas de los dos trayectos del interferómetro con un dispositivo de posicionamiento lineal en el trayecto de referencia, para diferentes longitudes de onda. La diferencia entre la posición x_i del máximo del diagrama de interferencia para la longitud de onda λ_i y la posición x_0 (figura B-14/G.652) determina la diferencia de retardo de grupo $\Delta t_g(\lambda_i)$ entre el trayecto de referencia y el trayecto de prueba, por la siguiente expresión:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{c_0}$$

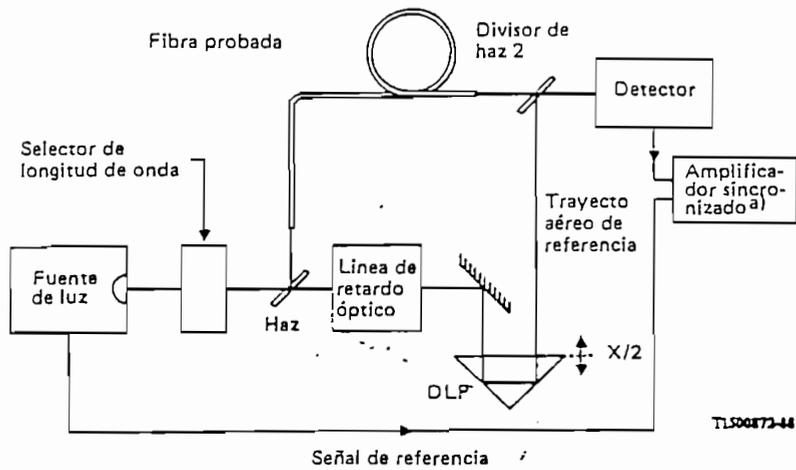
donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío. El retardo de grupo de la muestra medida se calcula sumando el valor $\Delta t_g(\lambda_i)$ y el retardo de grupo espectral del trayecto de referencia. Dividiendo esta suma por el largo de fibra probada se obtiene el retardo de grupo por unidad de longitud $\tau(\lambda)$ de la fibra probada.



DLP Dispositivo de posicionamiento lineal
 X Distancia de posicionamiento

a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-12/G.652
 Diagrama esquemático del montaje de medición
 con la fibra de referencia



DLP Dispositivo de posicionamiento lineal

X Distancia de posicionamiento

a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-13/G.652

Diagrama esquemático del montaje de medición con la referencia de trayecto aéreo

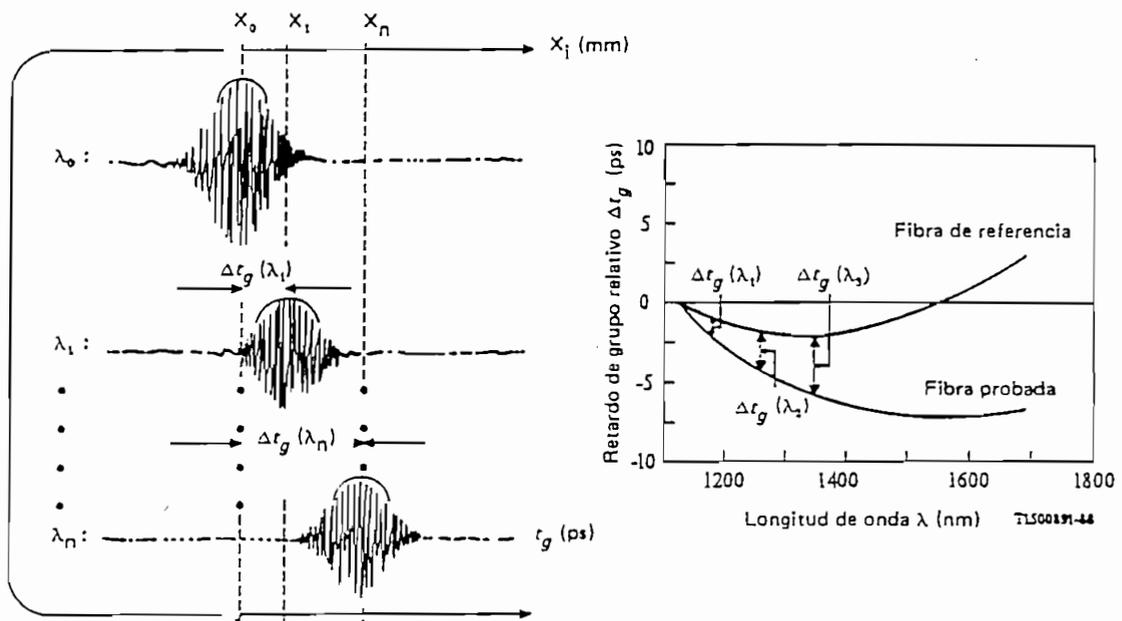


FIGURA B-14/G.652

Determinación del retardo de grupo espectral

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda deben ajustarse por la expresión cuadrática:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

onde τ_0 es el retardo relativo mínimo a la longitud de onda de dispersión nula λ_0 . El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse diferenciando la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

onde S_0 es la pendiente de dispersión nula (uniforme), es decir, el valor de la pendiente de dispersión cromática $D(\lambda) = dD/d\lambda$ a la longitud de onda λ_0 .

Nota — Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No se ha revisado utilizarlas con valores en la región de 1300 nm.

5.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba;
- b) características de la fuente;
- c) identificación y longitud de la fibra;
- d) características del selector de longitud de onda (si existe);
- e) tipo del fotodetector;
- f) valores de la longitud de onda de dispersión nula y la pendiente de dispersión nula;
- g) procedimiento de ajuste para los datos del retardo relativo, con indicación de la gama de longitudes de onda utilizada;
- h) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

Recomendación G.653

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO CON DISPERSIÓN DESPLAZADA

(Melbourne, 1988)

El CCITT,

considerando

(a) que los cables de fibra óptica con dispersión desplazada serán utilizados en las redes de telecomunicaciones;

(b) que para las aplicaciones potenciales previstas podrán necesitarse varios tipos de fibras monomodo de características diferentes; estas diferencias pueden manifestarse en las longitudes de ondas de trabajo, las características geométricas y ópticas y las características de atenuación, dispersión y otras características de transmisión,

recomienda

una fibra monomodo con dispersión desplazada, con una longitud de onda de dispersión nula en la región de longitudes de onda de 1550 nm y que está optimizada para uso a longitudes de onda en torno a 1550 nm. Esta fibra puede utilizarse también a longitudes de onda en torno a 1300 nm, con las restricciones indicadas en esta recomendación.

3. Outline of LD-Type OTDR

This tester is intended for fault-point locating of graded-index (GI)-type optical fibers or single-mode (SM)-type optical fibers, as well as for measurement and testing of optical loss and splicing loss in the 1.3- μm or 1.55- μm band.

The tester is composed of the processing and light-source units.

The light-source unit is available in three variations, one for 1.3- μm GI-type optical fibers, 1.3- μm SM-type optical fibers, and 1.3/1.55- μm SM-type optical fibers.

On the display screen, results of calculations by marker setting and measuring conditions are displayed together with the measured waveform. Measured waveforms can be stored in the built-in flexible disk unit. In addition to this, the tester is provided with a printout function, that allows making hardcopies on an external video-plotter.

3.1 Explanation of Operation Panel

The indications and the functions of the operation panel are explained here. Figure 3.1 shows the front panel and Table 3.1 the indications and functions.

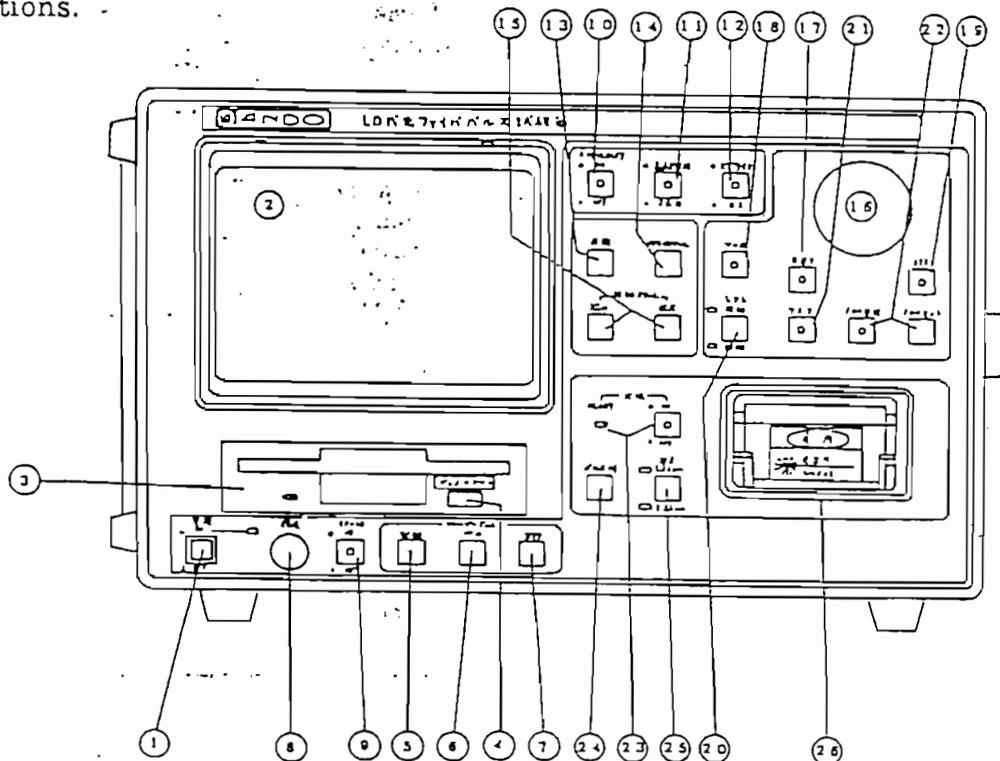


Fig. 3.1 Indications and Functions of Controls on Front Operation Panel

Table 3.1 Explanation of Front Operation Panel (1 of 6)

Number	Indication	Function
1	Power  ON  OFF	A switch for power-on/off. Pressing this switch lights the LED on the right to indicate that the power is on.
2	(Display screen)	Displays a measured waveform, scale, measuring condition, and measurement results, etc.
3	(FDD)	A flexible disk drive to store measured waveforms
4	DISK-OUT	A button to eject the flexible disk
5	RECORDING	A switch to record waveforms on the flexible disk. Press this switch, and select a file number. Then press the [EXECUTE] switch to record a waveform.
6	READOUT	Displays waveforms recorded on the flexible disk on the display screen. Press this switch, and select a file number. Then, press the [EXECUTE] switch to display a waveform on the display screen.
7	EXECUTE	A switch to execute recording and reading-out.
8	BRIGHTNESS	A knob to adjust the brightness of the display screen
9	GP-IB  ON  OFF	The lamp is lighted (ON) while being controlled by the external controller. When the lamp is not lighted (OFF), the controls on the panel become operable. NOTE: In the local lockout mode, the lamp can not be turned OFF.
10	AVERAGING  ON  OFF	If a waveform includes much noise, accurate measurement is impossible. To eliminate the noise, averaging is implemented. A key to turn on/off the averaging function. While it is ON, the indication lamp is lighted. (1) ON Averaging is started, and noise components of the waveform are reduced as it goes allowing easy waveform observation. (2) OFF Update the waveform successively. NOTE: When the light source is OFF, this function is unavailable.

Table 3.1 Explanation of Front Operation Panel (2 of 6)

Number	Indication	Function
11	 MINIMUM MEAN-SQUARE ERROR METHOD  TWO-POINT APPROXIMATION <p>These two ways are available for measuring splicing loss and fiber loss.</p>	<p>A switch to select either the minimum mean-square error method or two-point approximation method for linear approximation.</p> <p>Every button pressing causes an alternate changeover from one to the other.</p> <p>The lamp lighted indicates that the minimum mean-square error method is used, and the lamp unlighted the two-point approximation method.</p>
12	 SPLICE  LOSS	<p>A switch to select either SPLICE (splicing loss) measurement or LOSS (optical-fiber transmission loss) measurement.</p> <p>Every button pressing causes an alternate changeover from one to the other.</p> <p>The lamp lighted indicates the SPLICE measurement, and the lamp unlighted the LOSS measurement.</p> <p>The measurement by the minimum mean-square error method is superior in precision to the one by the two-point approximation method.</p>
13	DISTANCE	<p>A switch to change the measuring distance range. Every button pressing changes the range as shown below:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>→ 10 km → 20 km → 40 km → 90 km →</p> </div>
14	VERTICAL AXIS SCALE	<p>A switch to select the vertical axis scale. Every button pressing changes the scale as shown below:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>← 0.25 dB/div - 0.5 dB/div - 1 dB/div - 2.5 dB/div - 4 dB/div →</p> </div>

Table 3.1: Explanation of Front Operation Panel (3 of 6)

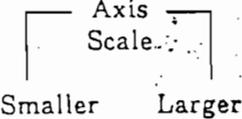
Number	Indication	Function																												
15	<p>Horizontal Axis Scale</p>  <p>Smaller Larger</p>	<p>A switch to select the horizontal distance scale of the display screen.</p> <p>During averaging or still-waveform displaying, it works as a zooming function.</p> <p>① Horizontal scale The horizontal scale can be selected as shown below by distance range setting:</p> <table border="1" data-bbox="650 722 1338 1024"> <thead> <tr> <th>Distance range,</th> <th>Scale (/div.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 km</td> <td>25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km</td> </tr> <tr> <td>20 km</td> <td>25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km</td> </tr> <tr> <td>40 km</td> <td>25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km, 4 km</td> </tr> <tr> <td>90 km</td> <td>25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km, 4 km, 8 km</td> </tr> </tbody> </table> <p>② Zoom The zooming function allows to enlarge the horizontal axis as shown in the table below:</p> <table border="1" data-bbox="650 1153 1338 1487"> <thead> <tr> <th>Horizontal axis scale (/div.)</th> <th>Zoom (Magnification)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25 m</td> <td>×1</td> </tr> <tr> <td>100 m</td> <td>×1, ×4</td> </tr> <tr> <td>250 m</td> <td>×1, ×2.5, ×10</td> </tr> <tr> <td>500 m</td> <td>×1, ×2, ×5, ×20</td> </tr> <tr> <td>1 km</td> <td>×1, ×2, ×5, ×10</td> </tr> <tr> <td>2 km</td> <td>×1, ×2, ×5, ×10</td> </tr> <tr> <td>4 km</td> <td>×1, ×2, ×5, ×10</td> </tr> <tr> <td>8 km</td> <td>×1, ×2, ×5, ×10</td> </tr> </tbody> </table>	Distance range,	Scale (/div.)	10 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km	20 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km	40 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km, 4 km	90 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km, 4 km, 8 km	Horizontal axis scale (/div.)	Zoom (Magnification)	25 m	×1	100 m	×1, ×4	250 m	×1, ×2.5, ×10	500 m	×1, ×2, ×5, ×20	1 km	×1, ×2, ×5, ×10	2 km	×1, ×2, ×5, ×10	4 km	×1, ×2, ×5, ×10	8 km	×1, ×2, ×5, ×10
Distance range,	Scale (/div.)																													
10 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km																													
20 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km																													
40 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km, 4 km																													
90 km	25 m, 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 2 km, 4 km, 8 km																													
Horizontal axis scale (/div.)	Zoom (Magnification)																													
25 m	×1																													
100 m	×1, ×4																													
250 m	×1, ×2.5, ×10																													
500 m	×1, ×2, ×5, ×20																													
1 km	×1, ×2, ×5, ×10																													
2 km	×1, ×2, ×5, ×10																													
4 km	×1, ×2, ×5, ×10																													
8 km	×1, ×2, ×5, ×10																													
16	Rotary encoder knob	<p>Used for the data change, shift, and setup of the functions shown below:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marker • Masking • ATT • Shift (horizontal axis, and vertical axis) • FUN selection • Floppy disk (recording, and reading-out) 																												
17	FAST FORWARD	<p>This switch is turned on to quickly execute the marker and masking marker moving, and the horizontal and vertical axis shifting. When the switch is on, the indication lamp goes on.</p>																												

Table 3.1 Explanation of Front Operation Panel (4 of 6)

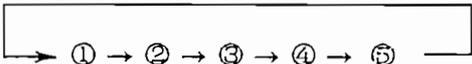
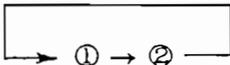
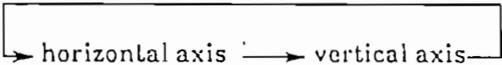
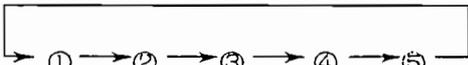
Number	Indication	Function
18	MARKER	<p>To mark measuring point of the minimum mean-square error method or two-point approximation method. While the indication lamp is lighted, every pressing of the key sets the cursor set on one of the markers in the order shown below: Indication lamp goes on when the switch is turned on.</p> <p>(1) In the case of the SPLICE (splicing loss) measurement</p>  <p>(2) In the case of the LOSS (transmission loss) measurement</p> 
19	ATT	<p>Excessively strong Fresnel reflection or backward scattering light saturates the built-in amplifier hampering correct measurement. To prevent this, ATT is used to reduce them to a proper level.</p> <p>For attenuator setting. The attenuator can be set by turning on this switch and turning the cursor.</p> <p>Anti-clockwise ← cursor → clockwise 0.0 dB 1.25 dB ···· 21.25 dB 22.5 dB (1.25 dB steps)</p>
20	SHIFT Horizontal axis Vertical axis	<p>To shift the waveform position upwards/downwards, or right/left on the display screen with the cursor. Every pressing of the key changes the shift directions as shown below:</p> 
21	Masking	<p>Waveform distortion caused by a large Fresnel reflection hampers correct measurements. Masking is used to attenuate Fresnel reflections. Masks can be set up at maximum five locations. While the LED lamp is lighted, every pressing of the key changes the selected masking point location to be adjusted by rotating the rotary encoder knob in the order shown below:</p> 

Table 3.1 Explanation of Front Operation Panel (5 of 6)

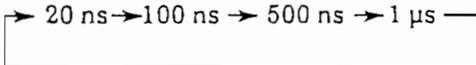
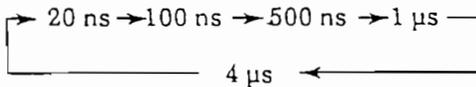
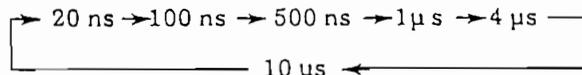
Number	Indication	Function
22	FUN SELECTION FUN SETTING	Switches for function selection and setting. The function is selected as shown below by pressing the FUN SELECTION switch. 1. Fiber constant → 2. Disk initialization → 3. Print-out → 4. Masking clear → Normal display
23	LIGHT SOURCE READY  ON  OFF	When the measurement-ready conditions are reached, i.e., the optical fiber has been connected to the light input/output terminal, and the light source temperature has become constant, the [READY] lamp goes on. Only when the [READY] lamp is on, the light source can be turned on. When the light source is on, the lamp in the switch lights.
24	PULSE WIDTH	A switch for selecting the pulse width of laser light emitted from the input/output terminal. Every pressing of the switch changes the width in the sequence shown below: <ul style="list-style-type: none"> • In the case of a 10-km measuring distance range  • In the case of a 20-km or 40-km measuring distance range  • In the case of a 90-km measuring distance range 

Table 3.1 Explanation of Front Operation Panel (6 of 6)

Number	Indication	Function
25	WAVELENGTH 1.31 μm 1.55 μm	A key to select wavelength. When the light source unit is [1.3/1.55 SM], every pressing of the key switches the wavelength alternately from 1.31 μm to 1.55 μm , and vice versa, and the corresponding setting lamp goes on. The light source unit [1.3 SM] and the light source unit [1.3 GI] can not be controlled by the key.
26	Light input/output terminal	Open the protection shutter upwards to use the light input/output terminal. A safeguard allows the light source to give light through the terminal only when the optical fiber is connected to the terminal.

Figure 3.2 shows the rear panel. Table 3.2 shows indications and functions of various controls and terminals on the panel.

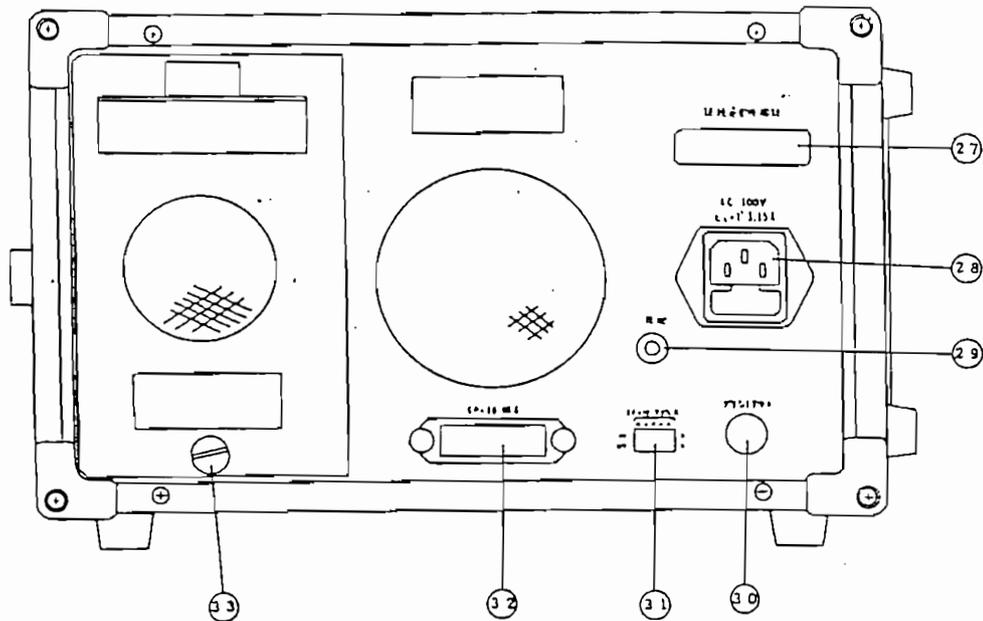


Fig. 3.2 Indications and Functions of Controls and Terminals on Rear Operation Panel

Table 3.2 Explanation of Rear Operation Panel

Number	Indication	Explanation of Function
27	Time meter	Indicates the total operating time of this tester.
28	AC 100V Fuse 3.15A	AC mains-power inlet with a fuse built-in. Use a fuse of specified rating.
29	GROUND	The terminal for grounding.
30	PRINTOUT	For connecting a VIDEO PLOTTER.
31	GP-IB ADDRESS	Used to set an address when the tester is GP-IB controlled by an external controller.
32	GP-IB TERMINAL	Used to connect a cable when the tester is GP-IB controlled by an external controller.
33	Unit locking knob	Used to fix a unit to the tester. After mounting the unit to the tester, fix it firmly with this knob.

3.2 Explanation of Display Screen

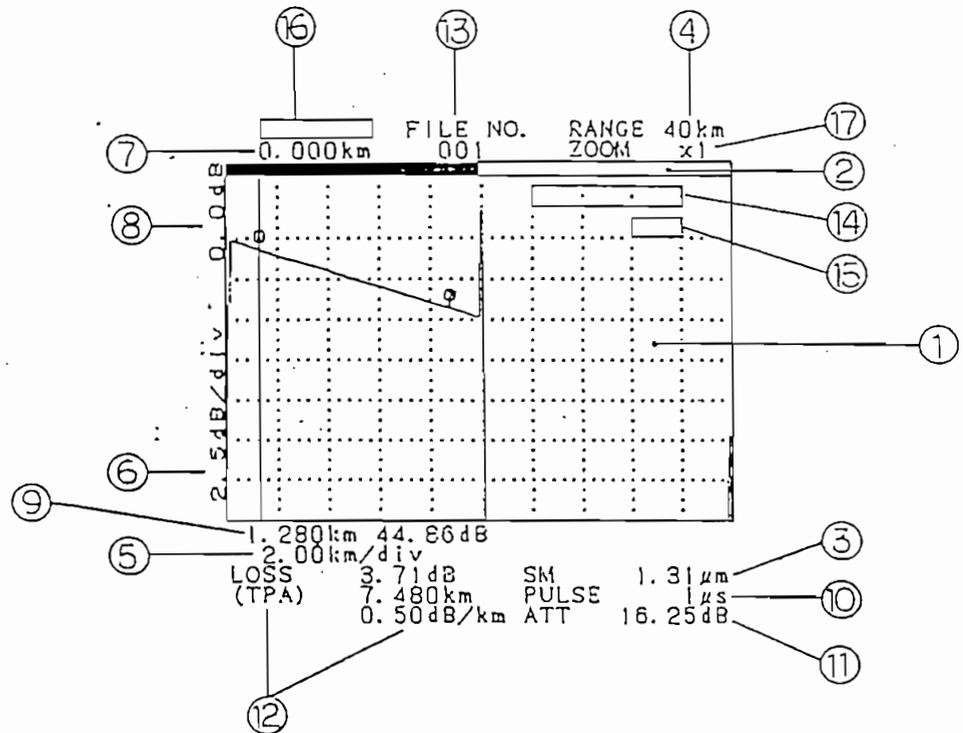


Fig. 3.3 Explanation of Display Screen

Display screen is explained below referring to the numbers indicated in Figure 3.3.

- ① Waveforms, the cursor, markers, scales, etc., are displayed.
- ② The data acquisition and display sections in a distance range are indicated.
- ③ The wavelength and type of the optical fiber are indicated.
- ④ The distance range is indicated.
- ⑤ The horizontal axis scale is indicated.
- ⑥ The vertical axis scale is indicated.
- ⑦ The distance corresponding to the left edge of the display screen is indicated.
- ⑧ The vertical-axis shift value of the display screen is indicated.
- ⑨ Distance corresponding to the cursor position, and the received light level are indicated.
- ⑩ The pulse width is indicated.
- ⑪ The light return loss is indicated.
- ⑫ The results of splice-loss and transmission-loss measurements, and the approximation method are indicated.
- ⑬ The recording number of the flexible disk is indicated.
- ⑭ A message is displayed while the flexible disk is used.

ANEXO 3

EQUIPOS DE MEDICION

MEGOHMETRO

GENERADOR DE SEÑAL Y MEDIDOR DE NIVEL

MEDIDOR DE TIERRAS

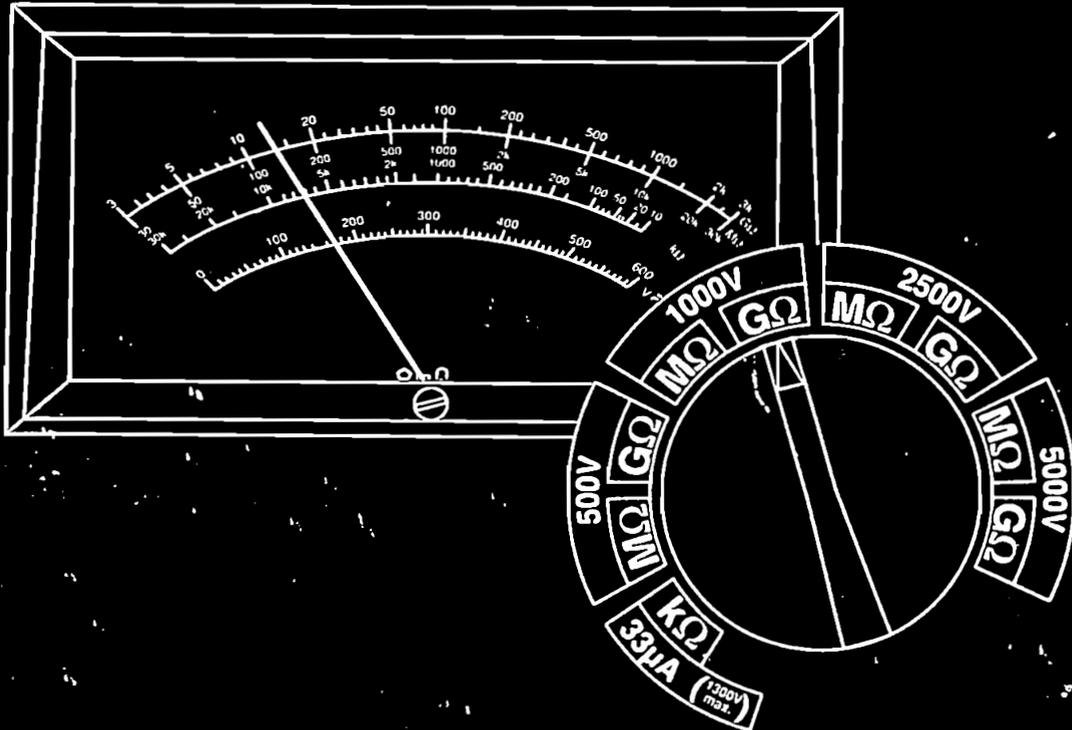
DYNATEL

M186.100
M1396.07

5000 V Megohmmeter Model 5000

5000 V Megohmmeter Model 5100

USER MANUAL



AEMC
INSTRUMENTS

Model 5000

Receiving Your Shipment

Upon receiving your shipment, check that the contents agree with the packing slip. Notify your distributor at once of any shortages. If the equipment appears to be damaged, file a claim immediately with your carrier, and notify your distributor at once, giving a detailed description of the damages. Save the damaged packing container to substantiate your claims.

Packaging

The Megohmmeter Model 5000 (Cat. #186.100) is shipped with eight 1.5 V "AA" batteries, two color-coded safety leads with insulated alligator clips, a separate shielded lead, a separate insulated alligator clip, test probe, one spare fuse, carrying case and instruction manual.

Description

AEMC Model 5000 (Cat. #186.100) is a portable, multi-range, high-sensitivity megohmmeter capable of measuring a wide range of insulation resistances from 10 kilohms to 3000 gigohms (3,000,000 megohms). The Model 5000 has four test voltages of 500, 1000, 2500, and 5000 volts. Each test voltage setting has two overlapping resistance ranges of 30 M Ω to 30,000 M Ω and 3 G Ω to 3000 G Ω on a long (9.4") dial.

In addition, the Model 5000 has a unique low insulation test range of 10 to 30,000 k Ω with a constant current of 33 μ A (maximum voltage of 1300 V DC), which is useful for testing old or flooded installations. A voltmeter (safety check) with a range of 0 to 600 volts is standard.

The Model 5000 may be powered by either AC or DC. DC power is supplied by eight 1.5 V alkaline "AA" batteries. As an option, an AC line supply module and cord for 110/220 V AC at 47 to 400 Hz can be inserted in the battery compartment.

An audible signal consisting of approximately ten beeps per minute is present when the megohmmeter is ON, and serves as a time base for tests of long duration. A green neon lamp, when ON, indicates that the batteries are good when the push-to-measure button is depressed. It also serves as a warning lamp when the instrument is in use, indicating that the selected test voltage is present at the terminals.

Accessories & Replacements

AC power supply module with line cord and plug for switch-selectable 110/220 V AC at 47 to 400 Hz, Cat. #100.142.

Protective rubber case with handle, safety yellow, Cat. #2980.02.

Ruggedized plastic carrying case with molded inserts, 19 x 14 x 7", Cat. # 2118.07.

Fuse, set of five, 0.1 A slow blow for AC supply module, Cat. # 100.438.

Fuse, set of one, 0.3 A, for Model 5000, Cat. #100.429.

One shielded lead, Cat. #100.439.

One test probe and one insulated alligator clip (to go with shielded lead), Cat. # 100.404.

Set of leads: one shielded lead, pair of safety leads, alligator clip, and test probe, Cat. #100.482.

GE
Au
Pc
Ei
35
P
C
I
I

Specifications

INSULATION TESTS

DC Test Voltages:

500, 1000, 2500, 5000 V

Megohm Ranges:

For each test voltage two direct reading ranges:

30 to 30,000 M Ω

3 to 3000 G Ω (3000 to 3,000,000 M Ω)

Short Circuit Current: 3 mA (max)

Accuracy: 5% of reading typical

Charging Time:

M Ω range: 0.3 seconds/ μ F

G Ω range: 3 seconds/ μ F

Discharging Time:

Automatic discharge when test button is released; 0.1 seconds/ μ F

Scale:

Two large overlapping scales: 4.7" (119 mm) for each range

Test Voltage Generation:

Solid state circuitry generating rated test voltage across the full range

RESISTANCE TESTS

Test Current: Constant 33 μ A DC

Kilohm Range: 10 to 30,000 k Ω (30 M Ω)

Maximum Test Voltage: 1300 V DC

Accuracy: 5% of reading typical

VOLTAGE TESTS (SAFETY CHECK)

Voltage Range: 0 to 600 V AC/DC

Accuracy: 3% of full scale



GENERAL SPECIFICATIONS

Audible Test Signal: Ten beeps per minute approx.

Power Supply:

Eight 1.5 V "AA" alkaline batteries (NEDA 15A). Typical battery life: 350 one-minute tests; power consumed only when test button is depressed; built-in battery check by green neon light

Option:

110/220 V selectable, 47 to 400 Hz AC supply module

Dielectric Test: 4000 V AC, 60 Hz, 1 minute

Fuse Protection:

0.3 A high interrupting capacity fuse between line and guard terminals

Meter Movement: Rugged taut band suspension

Dimensions: 7.7 x 5.2 x 3.75" (196 x 132 x 95 mm)

Weight: 2.2 lbs (1 kg)

Temperature Range: 23° to 122°F (-5° to +50°C)

Case: High impact gray polycarbonate

Terminals:

Color-coded safety terminals; guard terminal minimizes surface leakage errors

Control & Connector Identification

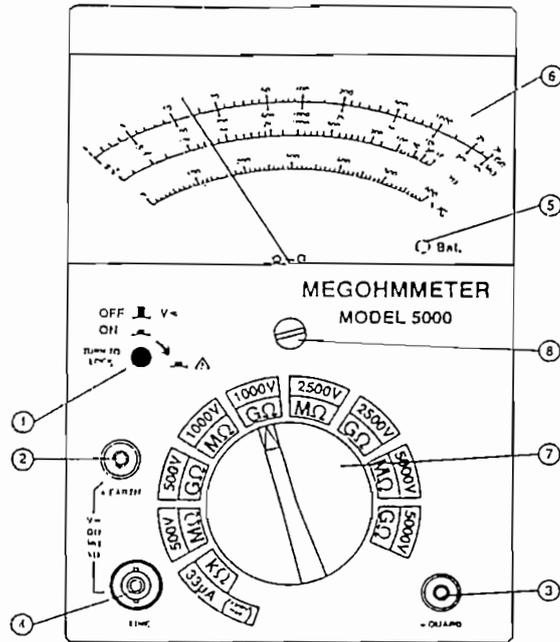


Figure 1

- (1) Pushbutton ON/OFF
Lock "ON" by turning button a quarter turn to the right.
OFF Position: Voltmeter position
ON Position: Test position with voltage present at outputs
- (2) EARTH terminal (green):
Connects to ground for insulation testing.
- (3) GUARD terminal (blue):
Used to minimize the effect of leakage current.

- (4) LINE terminal (black):
Connects to the equipment to be tested.
- (5) Battery Power Indicator:
Green lamp ON indicates batteries are good when push-to-measure button is depressed. An audible "beep" is also emitted approx. every 6 seconds.
- (6) Analog Measurement Scale
- (7) Selection Switch
- (8) Zero Adjust

Battery Replacement

The Model 5000 is powered by eight 1.5 V "AA" batteries. To replace the batteries, disconnect the instrument from any circuits, verify the PUSH-TO-TEST button is in the OFF position and proceed as follows .

- Unscrew the four standard screws on the four corners of the battery pack and remove the battery pack.
- Replace the batteries, observing the proper polarities.
- Replace the battery case, taking care not to pinch the connecting wire, and tighten the four screws.

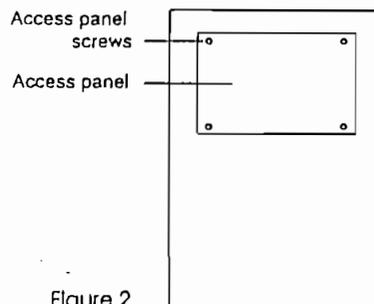
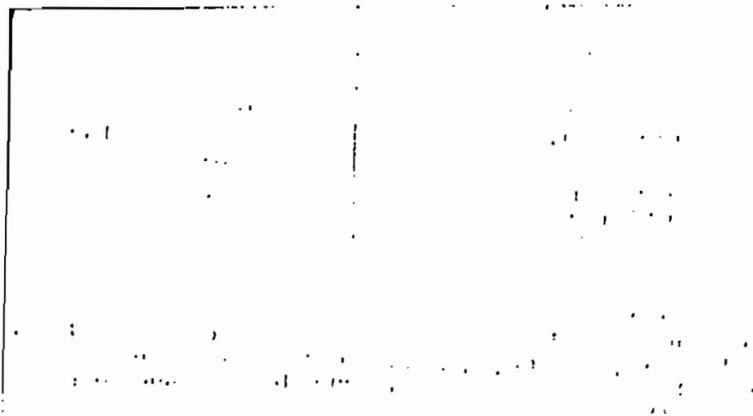


Figure 2

AC Supply Module

The optional AC supply module (Cat. #100.142) provides power to the Model 5000 at 110 or 220 V AC. The AC power supply module is designed to plug into the back portion of the instrument, directly replacing the batteries. The module is protected by a 0.1 A slow blow fuse. Note: Cat. #100.142 is supplied with 110 V US plug.

- Unscrew the four screws on the corners of the back panel battery pack.
- Disconnect and remove the battery pack.
- Connect the AC supply module to the power supply connector.
- Place the AC supply module into the back of the instrument and tighten the four corner screws, making sure not to pinch the wires of the power supply connector.
- With the tip of a screwdriver, select the proper voltage with the 110/220 supply switch on the back panel of the AC supply module
- Plug AC supply cord into the appropriate voltage receptacle.



Model 5100

Receiving Your Shipment

Upon receiving your shipment, check that the contents agree with the packing slip. Notify your distributor at once of any shortages. If the equipment appears to be damaged, file a claim immediately with your carrier, and notify your distributor at once, giving a detailed description of the damages. Save the damaged packing container to substantiate your claims.

Packaging

The Megohmmeter Model 5100 (Cat. #1396.07) is shipped with set of three leads, hex key, 12 V NiCad battery, 110 V AC US line cord and instruction manual.

Description

LEMCO Model 5100 (Catalog #1396.07) is a portable, multi-range, high-sensitivity megohmmeter capable of measuring a wide range of insulation resistances from 10 kilohms to 3000 gigohms. The Model 5100 has four test voltages of 500, 1000, 2500, and 5000 volts. Each test voltage setting has two overlapping resistance ranges of 30 M Ω to 30,000 M Ω and 3 G Ω to 3000 G Ω (3,000,000 M Ω).

In addition, the Model 5100 has a unique low insulation test range of 10 to 30,000 k Ω with a constant current of 33 μ A (maximum voltage of 1300 V DC), which is useful for testing old or flooded installations. A voltmeter (safety check) with a range of 0 to 600 volts is standard.

The Model 5100 features a digital clock timer that indicates time and date. The timer allows accurate testing on time-based test applications. The timer may be programmed in one of two modes: to indicate the elapsed time of applied test voltage or the time elapsed since the test voltage has been stopped (discharge time).



An audible signal consisting of approximately ten beeps per minute is present when the test voltage has been applied, and also serves as a time base for tests of long duration.

The Model 5100 may be powered by either AC or DC. DC power is supplied by a 12 V rechargeable nickel-cadmium battery. AC supply voltage may be either 110 V or 220 V via the removable line cord, which plugs directly into the front of the instrument. Neon lamps on the front panel indicate battery status; a green light indicates battery charge/AC supply, while a red light indicates the battery charge status.

The rugged field case in safety yellow is weatherproof and rainproof when closed. The instrument cover is also removable. The Model 5100 is specifically designed for field, utility, and industrial use.

Accessories & Replacements

Shielded lead, 5-ft, Cat. #2950.10.

Color-coded safety leads, set of two, 5-ft, Cat. #2950.09.

Shielded lead, 25-ft, Cat. #2118.26.

Safety leads, set of two 25-ft with alligator clips, Cat. #2118.27.

Fuse, set of five, 3.15 A, Cat. # 1007.26.

Rechargeable 12 V NiCad battery, Cat. #2960.10.

Specifications

INSULATION TESTS

DC Test Voltages:

500, 1000, 2500, 5000 V

Megohm Ranges:

For each test voltage two direct reading ranges:

30 to 30,000 M Ω

3 to 3000 G Ω (3000 to 3,000,000 M Ω)

Short Circuit Current: 6 mA

Accuracy: 5% of reading typical

Charging Time: 0.5 to 5 sec/ μ F typical

Discharging Time:

Automatic discharge when test button is released; 0.1 seconds/ μ F

Discharge voltage displayed on meter

Test Voltage Generation:

Solid state circuitry generating rated test voltage across the full range

RESISTANCE TESTS

Kilohm Range:

10 to 30,000 k Ω (30 M Ω)

Test Current: Constant 33 μ A DC

Maximum Test Voltage: 1300 V DC

Accuracy: 5% of reading typical

VOLTAGE TESTS (SAFETY CHECK)

Voltage Range: 0 to 600 V AC/DC

Accuracy: 3% of full scale

GENERAL SPECIFICATIONS

Audible Test Signal:

Ten beeps per minute approx. (signal may be disabled)

Power Supply:

Rechargeable 12 V NiCad battery

Typical life: 500 to 2500 1-min tests (depending on test voltage)

Recharging time: 14 hrs (max) for full charge

Fuse protection: 3.15 A fast blow

Low battery indicators

AC Supply: 110/220 V, 47 to 450 Hz AC \pm 20%

Dielectric Test: 4000 V AC, 60 Hz, 1 minute

Overload: 600 V rms between one terminal and the other two

Meter Movement/Display:

Rugged taut band suspension;

4.4 x 2.2" (112 x 55 mm) meter with 4 scales

Clock/Timer:

Test voltage ON activates timer automatically

Dimensions: 9.8 x 10.2 x 15.4" (250 x 260 x 390 mm)

Weight: 14.8 lbs (6.7 kg)

Temperature Range: 14° to 131°F (5° to 55°C)

Field Case:

High impact, fiberglass charged polycarbonate (fire resistant UL94);
sealed and weatherproofed; rainproof when closed

Terminals:

Color-coded safety terminals; guard terminal minimizes surface
leakage errors

Safety Standards:

4000 V dielectric test

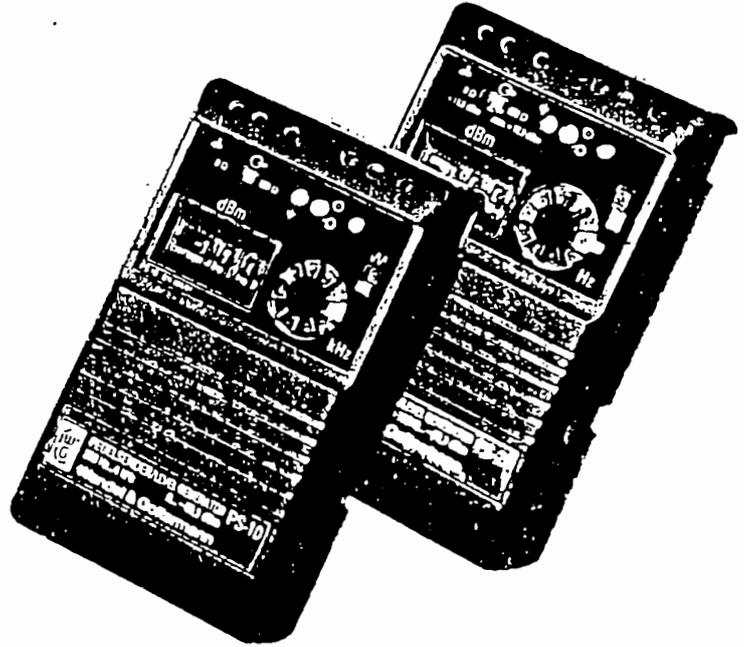
Double insulation

IEC 348



PS-10, PS-20 Generadores de Nivel de Señal

Rango de frecuencia de 200 Hz a 4 kHz ó 20 Hz a 20 kHz



- Fuente de señales para los rangos de frecuencia de calidad de voz telefónica y programas de sonido
- Barrido en el rango de frecuencia vocal (únicamente modelo PS-10)
- Ajustes de nivel en pasos reducidos
- Baterías internas (secas o recargables) o adaptador/cargador de c.a.
- Monitor de batería y luz de advertencia
- Caja de material resistente, a prueba de golpes
- A pedido, caja de transporte o estuche de cuero para acarreo
- Medidores de nivel tipo digital complementarios PM-20, PM-40 y PMP-20

Aplicaciones

Los Generadores de Nivel de Señal, modelos PS-10 y PS-20, han sido diseñados como fuentes de señales para efectuar mediciones en equipos de transmisión que trabajan a las frecuencias telefónicas y de programa de sonido. Son usados principalmente por las administraciones de correos, ferrocarriles, compañías petroleras, fabricantes de sistemas, empresas públicas de energía y empresas radiodifusoras.

Debido a su peso liviano, forma compacta e independencia de otras fuentes de energía, estos instrumentos tienen una capacidad de manejo especial que los hace aptos para el servicio de campo, en lugares donde es necesario llevar los instrumentos de medición para las tareas de mantenimiento y operación de equipos de comunicación de audio.

Los Generadores de Nivel de Señal pueden funcionar alimentados por un adaptador/cargador de c.a. en lugares fijos, como por ejemplo en laboratorios o departamento de prueba en las fábricas.

El tamaño del PS-10 y PS-20 es semejante al de una calculadora de bolsillo, y pueden usarse con los Medidores de Nivel Digitales PM-20, PM-40 y PMP-20, para formar Conjuntos de Medición de Audio completos.

Características

La frecuencia de emisión del PS-10 y PS-20 se selecciona de un juego de frecuencias fijas, con la posibilidad, en el PS-10, que esa frecuencia tenga barrido. El incremento mínimo en que puede variarse el nivel de transmisión es de 0.1 dB. El PS-20 tiene las características especiales de un nivel de transmisión de +16 dBm y la alta relación de armónicas de 60 dB. El PS-10 contiene un circuito interno de retención de bucle de c.d., para mantener el bucle de c.d. de la central. Un circuito de retención, en la forma de un adaptador enchufable, se puede adquirir para el PS-20. También está disponible un Estuche de Transporte del Equipo, modelo TPK-21, en el cual se pueden alojar hasta tres instrumentos de prueba pequeños, el adaptador/cargador de c.a. y baterías de repuesto. Las baterías dan energía para un funcionamiento de 80 horas. Un indicador LED parpadea cuando el voltaje de las baterías es demasiado bajo, para así evitar que se hagan mediciones incorrectas.

Frecuencias fijas, PS-10	10
PS-20	30
Nivel de transmisión máximo	
PS-10	0 dBm
PS-20 ($Z_{out} = 0$)	+16 dBm
Impedancia de salida	600 Ω , 0 Ω ($\leq 3 \Omega$)
Fuente de energía	baterías o línea de c. a.
Peso	aprox. 0,5 kg

Especificaciones de los Generados de Nivel

PS-10/PS-20

A menos que se indique lo contrario, las características de rendimiento especificadas son válidas bajo las condiciones de funcionamiento nominales.

Salida de medición

Balanceada, flotante,
a prueba de corto circuito conector CF de 3 polos
El PS-10 incluye un circuito interno de retención de bucle que mantiene retenido el bucle de c. d. de la central.

Impedancia de salida, seleccionable

PS-10 600 Ω en serie con C = 4,7 μF y 0 Ω (≅3 Ω)

PS-20 600 Ω y 0 Ω (≅3 Ω)

Corriente de retención tolerable (a $Z_{out} = 600 \Omega$)

PS-10 ≅60 mA (si $Z_{out} = 0 \Omega$ no se admite c. d.)

PS-20 no se admite voltaje de c. d. ni carga de corriente c.d.¹⁾

Voltaje permitido de repique de corta duración, 25 ó 50 Hz,

duración máxima 10 s, $Z_{origen} \cong 500 \Omega$,

valor r.m.s. ≅100 V

Relación de simetría de señal según Rec. O.121 del CCITT

a un nivel de salida ≅ -40 dB ≅40 dB

Voltaje de c.d. a tierra permitido ≅100 V

Frecuencia

Modelo	PS-10	PS-20
Rango de frecuencia	0,2 a 4 kHz	20 Hz a 20 kHz
Frecuencias fijas	0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,6; 2,4; 3,4; 4 kHz	20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 160, 200 Hz Factor de multipli- cación x1, x10, x100
Límites de error de la frecuencia de envío	a 800 Hz: ± 2 % otras: ± 3 %	f ≅ 10 kHz: ± 2 % otras: ± 3 %

¹⁾ 85 Hz en la Versión BN 902/02

Capacidad de Barrido (únicamente en el PS-10)

Rango de barrido 0,2 a 3,5 kHz

Razón de cambio con el tiempo exponencial

Rapidez de barrido barrido saliente 2 s, retorno 2 s

Nivel de Transmisión

Forma de onda de la señal senoidal

Rango de Nivel PS-10 | PS-20

$Z_{out} = Z_L = 600 \Omega$. . . -59,9 a 0,0 dBm | -59,9 a +10,0 dBm

$Z_{out} = 0$,

$Z_L \cong 600 \Omega$ -59,9 a 0,0 dBm | -59,9 a +16,0 dBm

Ajuste del nivel con conmutador de rueda dentada, en incrementos mínimos de 0,1 dB

Límites de error del nivel emitido

a $Z_{out} = Z_L = 600 \Omega$, o a $Z_{out} = 0$, $Z_L \cong 600 \Omega$

f = 700 a 1100 Hz ±0,15 dB

Variación con la frecuencia referida a 1 kHz

	0,02	0,2	0,3	4	20 kHz
PS-10	-	±0,15 dB	±0,1 dB	-	-
PS-20	±0,1 dB				

Error total ±0,25 dB

Pureza del espectro del voltaje de salida

A $Z_{out} = Z_L = 600 \Omega$ ó $Z_{out} = Z_L \cong 600 \Omega$

Relación de armónicas intrínsecas, a_n , y a_{n1} , PS-10	PS-20
f = 0,2 a 4 kHz ≅40 dB	≅60 dB
f = 40 Hz a 15 kHz -	≅60 dB
f = 20 Hz a 20 kHz -	≅55 dB

Supresión de señales espurias no armónicas

en toda la gama de frecuencias,

a niveles de salida ≅ -40 dBm ≅70 dB

≅ -59,9 dBm ≅50 dB

Especificaciones Generales

Fuente de energía

Con batería o por carga lenta usando la línea eléctrica de c.a.

Baterías secas (suministradas con

el equipo) dos 9V IEC 6F 22

Si se desea: baterías recargables

(2 unidades) VARTA Tr 7/8

Tiempo de operación con funcionamiento intermitente

a 23 °C y $Z_L \cong 600 \Omega$, $V_{s,w}$ ≅ 0 dBm | ≅ +16 dBm (PS-20)

Baterías secas Mallory Mn 1604 aprox. 80 h | aprox. 40 h
VARTA aprox. 35 h | aprox. 18 h

Baterías recargables

VARTA Tr 7/8 aprox. 15 h | aprox. 7 h

Tiempo de carga con el instrumento puesto OFF aprox. 40 h

Corte automático del suministro de batería

después de aprox. 4 min.

Supresión interferencia RFI/EMI Clase K

Temperatura ambiente permitida

Rango de utilización nominal 0 a +50 °C

Almacenamiento y transporte -40 a +70 °C

Dimensiones (a x alto x p) en mm 98 x 164 x 54

Información para Pedidos

Generador de Nivel de Señal PS-10 BN 904/01

Generador de Nivel de Señal PS-20 BN 902/01, BN 902/02²⁾

Accesorios (costo adicional)

Adaptador/cargador de CA con

Enchufe de alimentación de Estandar

Europeo BN 964/00.02

(193 a 242 V, 47,5 a 63 Hz)

Enchufe de alimentación tipo americano BN 964/00.03

(105 a 132 V, 47,5 a 63 Hz)

Enchufe de alimentación tipo inglés BN 964/00.04

(211 a 264 V, 47,5 a 63 Hz)

Enchufe de alimentación tipo australiano BN 964/00.05

(211 a 264 V, 47,5 a 63 Hz)

Baterías NiCad (se necesitan dos) BN 820/00.50

Correa de seguridad BN 820/00.52

Adaptador Enchufable con circuito de retención BN 902/00.01

(se usa únicamente con el modelo PS-20)

Caja de Transporte de Equipos TPK-21 BN 926/07

(aloja 3 instrumentos de medición pequeños)

Estuche de Cuero para PS-10 ó PS-20 BN 926/09

Estuche de Cuero para PS-10 ó PS-20

incluyendo el adaptador/cargador de c.a. BN 926/17

1) Es posible la carga de c.d. usando el Adaptador Enchufable BN 902/00.01

2) 85 Hz en vez de 75 Hz como frecuencia fija



PM-10 Medidor de Nivel Digital

para mediciones de nivel de banda ancha en el rango de frecuencias de 80 Hz a 20 kHz

- Mediciones de nivel en banda ancha para canales telefónicos y de programas de sonido
- Rango de nivel amplio desde -40 (-50) a +10 dBm
- Auto-calibración del rango
- La entrada de medición está protegida contra voltajes c.d. y voltajes de llamada
- Generador integrado de 820 Hz
- Batería NiCad o batería seca integrada
- Facilidad para monitoreo del estado de carga de la batería
- Caja pequeña, robusta, a prueba de golpes

Aplicaciones

El Medidor de Nivel Digital PM-10 fue diseñado para realizar mediciones operativas en equipos telefónicos y de frecuencia vocal. Este instrumento es muy útil para las Administraciones Telefónicas, compañías de ferrocarriles, compañías petroleras, y compañías de servicio público que suministran energía.

Los niveles de las señales pueden medirse sobre un rango amplio y el generador integrado significa que también pueden realizarse mediciones de bucle redondo, o mediciones en una vía que está transportando tráfico. El PM-10 es ideal para usarlo en el campo, como en labores de mantenimiento y búsqueda de problemas, ya que se trata de un aparato liviano con una construcción compacta y que puede funcionar con batería.

Características

Con el instrumento PM-10 pueden realizarse mediciones de nivel rápidamente, ya que el mismo tiene una facilidad de auto-ajuste del rango y una representación digital en pantalla grande, fácil de leer, que incluso da el signo correcto. La resolución de la indicación de nivel es 0,1 dB. Por medio de un conmutador se puede seleccionar uno de dos niveles fijos (-10 y -27 dBm)



producidos por los generadores internos. Ambas señales tienen una frecuencia de 820 Hz.

También pueden ordenarse versiones especiales, que tienen niveles y frecuencias diferentes de las mencionadas anteriormente. El medidor de nivel está alojado en una caja robusta que puede soportar fácilmente el tratamiento rudo exigido de un instrumento usado en la búsqueda de problemas.

El PM-10 puede ser alimentado por baterías secas normales o, si se requiere, baterías NiCad recargables. Dispone de un circuito automático de desconexión de batería que sirve para garantizar que las baterías secas se usen en la forma más eficiente posible. El PM-10 se apaga automáticamente cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto umbral, con el propósito de evitar que el operador realice mediciones incorrectas.

Mediciones de nivel	-50 a +10 dBm
Entrada, balanceada	600 Ω y aprox. 100 k Ω
Señal de transmisión,	
Frecuencia	820 Hz
Niveles	-10 ó -27 dBm
Salida, balanceada	600 Ω
Fuente de energía	batería seca ó NiCad

A menos que se indique lo contrario, las especificaciones son válidas para los rangos nominales de uso inmediatamente después del encendido del instrumento.

Entrada de medición

Balanceda, flotante conector CF de 3 polos
 Impedancia de entrada, seleccionable
 por conmutador (en serie con 10 μ F) 600 $\Omega \pm 0,5\%$
 o (en serie con 0,2 μ F) aprox. 100 k Ω || 100 pF
 Razón de balance de señal cumpliendo
 con Rec. O.121 del CCITT ≥ 46 dB
 Voltaje c.d. permisible a la entrada ≤ 100 V
 Voltaje de timbrado permisible, 25 ó 50 Hz,
 y voltaje c.d. superimpuesto, duración máxima
 10 s, valor pico $V_p \leq \pm 135$ V
 Voltaje c.d. permisible a tierra ≤ 100 V

Mediciones de nivel

Rango de frecuencias 80 Hz a 20 kHz
 Auto-ajuste de rango -50 a +10 dBm
 Indicación de nivel 3 dígitos y signo
 Resolución 0,1 dB
 Límites de error
 Límites de error en la indicación de nivel incluyendo la
 respuesta de frecuencia, errores digitales, y errores de
 acoplamiento sobre el rango de frecuencias de 200 Hz a 4 kHz
 Rango -40 a +10 dBm $\pm 0,25$ dB
 Rango -50 a -40 dBm $\pm 0,4$ dB
 Error adicional para los rangos de frecuencia de 80 Hz a 200 Hz
 y 4 kHz a 20 kHz aprox. $\pm 0,5$ dB

Generador Integrado

Salida balanceda, flotante
 Conector conector CF de 3 polos
 Impedancia de salida (en serie con 3,3 μ F) 600 $\Omega \pm 0,5\%$
 Razón de balance de señal a la frecuencia de transmisión,
 cumpliendo con Rec. O.121 del CCITT ≥ 46 dB
 Voltaje c.d. permisible a la salida ≤ 100 V
 Voltaje de timbrado permisible, 25 ó 50 Hz, y voltaje c.d.
 superimpuesto, duración máxima 10 s,
 valor pico $V_p \leq \pm 135$ V
 Voltaje c.d. permisible a tierra ≤ 100 V
 Frecuencia de transmisión 820 Hz ¹⁾ $\pm 1\%$
 Nivel de transmisión, seleccionable por
 conmutador -10 ó -27 dBm ¹⁾
 Límites de error $\pm 0,1$ dB
 Relaciones armónicas a_{α_2} , a_{α_3} , carga de 600 Ω ≥ 40 dB

Especificaciones Generales

Fuente de energía
 Batería seca ó NiCad recargable (a pedido),
 integrada 9 V IEC 6 F 22

Tipo recomendado de batería seca MALLORY MN 1604
 ó VARTA 438

Tipo recomendado de batería NiCad,
 recargable VARTA Tr 7/8

Cargador separado para la carga de la batería NiCad
 Rango nominal de uso del voltaje comercial 198 a 242 V
 Rango nominal de uso de la frecuencia comercial . . 45 a 60 Hz

Tiempo de funcionamiento, continuo
 batería seca, depende del tipo hasta 100 h
 NiCad aprox. 20 h
 El PM-10 desconecta automáticamente la fuente de energía
 después de aprox. 5 min.

Temperatura ambiente permisible
 Rango nominal de uso 0 a +50 °C
 Almacenamiento y transporte -20 a +60 °C

Rangos nominales de uso adicionales
 Voltaje de batería 6 a 9,5 V
 Frecuencia de recepción 200 Hz a 4 kHz
 Impedancia alta impedancia (puenteo)
 ó $Z_0 = 600 \Omega$

Modos operativos balanceado o coaxial
 Dimensiones (a x alt x p) en mm 90 x 160 x 42

Peso con batería 0,5 kg

Información para Pedidos

Medidor de Nivel Digital PM-10 BN 820/..
 $Z_0 = 600 \Omega$

Frecuencia de transmisión	Nivel de transmisión	Numero de pedido
820 Hz	-27 y -10 dBm	BN 820/01 ¹⁾
820 Hz	-27 y 0 dBm	BN 820/09
820 Hz	-10 y 0 dBm	BN 820/11
800 Hz	-27 y -10 dBm	BN 820/30
800 Hz	-27 y 0 dBm	BN 820/44
1010 Hz	-16 y 0 dBm	BN 820/55

¹⁾ Versión estandar

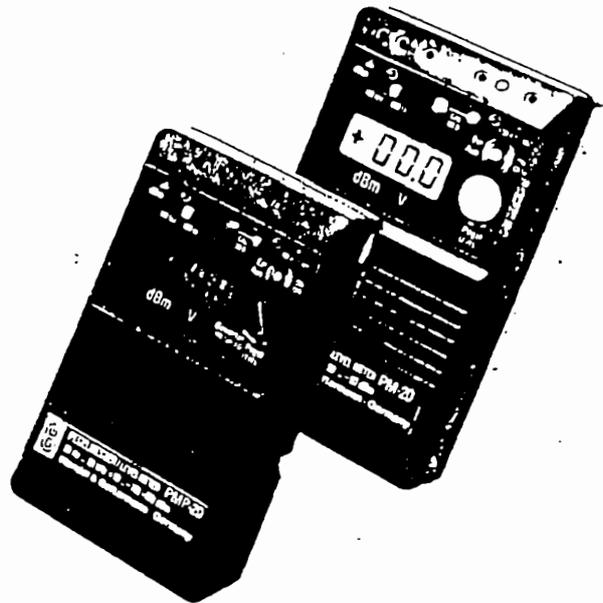
Accesorios (costo adicional):
 NiCad BN 820/00.50
 Cargador 521 BN 820/00.51
 Correa BN 820/00.52
 Estuche de cuero para PM-10 BN 926/09
 para PM-10 y cargador BN 926/17

1) Valores para versión estandar.



PM-20, PMP-20 Medidores Digitales de Nivel

para mediciones de nivel y ruido en el rango de frecuencias (15) 30 Hz a 20 kHz



- Mediciones de nivel en canales telefónicos y de programa de sonido
- Mediciones de ruido en canales telefónicos con filtro ponderado según Rec. P. 53 del CCITT (únicamente PMP-20)
- Detector r.m.s. verdadero
- Cambio automático del rango de medición
- Indicación digital del resultado con el signo correcto
- Mediciones de voltaje C.D. de 0 a 100 V
- Uso de batería seca o NiCad recargable interna
- Monitor de batería y luz de advertencia

Aplicaciones

Los Medidores Digitales de Nivel PM-20 y PMP-20 han sido diseñados para efectuar mediciones del funcionamiento de equipos de transmisión para telefonía y programas de sonido. Son particularmente útiles a las administraciones telefónicas y de correos, ferrocarriles, compañías petroleras, empresas de distribución eléctrica y empresas radiodifusoras. Ambos modelos pueden medir los niveles de señales y voltajes de c.d. El modelo PMP-20 sirve también para medir los niveles de ruido ponderado y no-ponderado en sistemas de transmisión. Por cuanto los instrumentos PM-20 y PMP-20 son livianos, robustos, y funcionan con sus propias fuentes internas de energía, son muy útiles especialmente para realizar labores de mantenimiento y localización de averías en el campo. Utilizando el Adaptador Enchufable (BN 876/00.01), que está disponible como un accesorio, se pueden hacer mediciones en ítems de prueba de 150 Ω y 300 Ω . El tamaño de los modelos PM-20 y PMP-20 es semejante al de una calculadora de bolsillo y, por lo tanto, son muy prácticos en su manejo. Combinando el PM-20 y PMP-20 con los Generadores de Nivel de Señal PS-10 y PS-20, se logra formar un Conjunto de medición de Nivel de Audio completo.

Características

Con el PM-20 y el PMP-20 se pueden ejecutar las mediciones fácil y rápidamente, por tener incluida la capacidad de cambio automático de rango y grandes dígitos de lectura, la cual muestra siempre el signo correcto. Con el instrumento PM-20 se pueden medir niveles tan altos como +30 dBm, magnitud que puede encontrarse, por ejemplo, en las consolas de los ingenieros de audio en los estudios de radio.

Una característica especial del modelo PMP-20 es que pondera una medición de ruido de acuerdo con la curva de respuesta de frecuencia indicada en la Recomendación P. 53 del CCITT. Un detector r.m.s. verdadero hace la ponderación correcta del ruido medido.

Permite el ajuste manual de la calibración para mediciones exactas de valores absolutos.

Ambos instrumentos se pueden emplear en líneas de abonados telefónicos con bucle de retención de c.d. El estuche de transporte de equipos TPK-21 acomoda hasta tres instrumentos de medición pequeños, incluyendo sus cargadores/adaptadores de c.a., y las baterías de reemplazo. Cuando los instrumentos funcionan con sus baterías, después de un tiempo prudencial interviene un circuito de corte automático a fin de prevenir el gasto inútil de energía. El PMP-20 y PM-20 funciona durante 70 horas con baterías secas (MALLORY MN 1604). Una luz de aviso se enciende cuando el voltaje de la batería es demasiado bajo, para así evitar mediciones incorrectas.

Rango del nivel, PM-20	-50 a +30 dBm
PMP-20	-70 a +10 dBm
Resolución de la lectura de nivel	0,1 dB
Impedancia de entrada	600 Ω , 100 k Ω
Carga de corriente cd permitida ($Z_L = 600 \Omega$)	≤ 60 mA
Fuente de alimentación	Pilas secas o batería recargable

Medición de Nivel	PM-20	PMP-20
Rango de frecuencia	15 Hz a 20 kHz	30 Hz a 20 kHz
Limitación de banda de frecuencia (límites de 3 dB)	8 Hz a 38 kHz	15 Hz a 38 kHz
Rango de medición de nivel (auto-cambio de rango)	-50 a +30 dBm ¹	-70 a +10 dBm
Lectura de nivel, con signo correcto, resolución	0,1 dB	

Límites de error

Los límites de error en la lectura de nivel, después de la calibración, incluyendo las variaciones con la frecuencia, error digital, error causado por el ruido intrínseco y el error provocado por reflexión cuando se acopla de manera que $Z_{origen} = Z_n = 600 \Omega$

PM-20:

Rango de frecuencia	Rango de nivel	Temperatura ambiente	Límites de error
700 Hz a 1100 Hz	-11 a +5 dBm -50 a +30 dBm	(23 ± 10) °C 0 a +50 °C	±0,15 dB ±0,2 dB
200 Hz a 4 kHz	-50 a +30 dBm	0 a +50 °C	±0,25 dB
40 Hz a 16 kHz			±0,35 dB
15 Hz a 20 kHz			±0,5 dB

PMP-20

Rango de frecuencia	Rango de nivel	Temperatura ambiente	Límites de error
700 Hz a 1100 Hz	-11 a +5 dBm -70 a +10 dBm	(23 ± 10) °C 0 a +50 °C	±0,15 dB ±0,2 dB
200 Hz a 4 kHz	-70 a +10 dBm	0 a +50 °C	±0,25 dB
40 Hz a 16 kHz			±0,35 dB
15 Hz a 20 kHz			±0,5 dB

Ruido intrínseco, PM-20 aprox. -75 dBm
PMP-20 -95 dBm

Medición de ruido (únicamente PMP-20)

Medición de ruido ponderado Variación del nivel con la frecuencia cumple Rec. P. 53A del CCITT
Detector rms verdadero

Rango de medición del nivel (nivel de entrada), con ruido blanco -85 a +10 dBm
con frecuencias discretas -85 a 0 dBm
Resolución 0,1 dB

Límites de error de la lectura de nivel a 800 Hz, después de la calibración, incluyendo el error digital, el error provocado por reflexión cuando se acopla a $Z_{origen} = Z_n = 600 \Omega$, y el error debido al ruido intrínseco, lectura de nivel comprendida entre -75 y +10 dBm ±0,5 dB

Medición del voltaje c.d.

Rango de medición 0 a ± 100 V
Límites de error de la lectura,
a (23 ± 10) °C ±0,5 % de la lectura ±0,1 V
de 0 a +50 °C ±1 % de la lectura ±0,1 V

Entradas de Medición

Entrada para medición de nivel y ruido (únicamente PMP-20) balanceada, flotante, conector CF de 3 polos

Impedancia de entrada, seleccionable 600 Ω ±0,5 % y 100 kΩ

Pérdida por retorno a 800 Hz, $Z_n = 600 \Omega$ ≥40 dB
Relación de simetría de la señal en modo «Medición de Nivel» según Rec. O.121 del CCITT (PM-20: $V_{in} < +6$ dBm, PMP-20: $f < 4$ kHz) ≥40 dB (sólo PMP-20) cumple con Rec. P53A del CCITT
Carga de corriente c.d. permitida a $Z_n = 600 \Omega$ ≤60 mA
Voltaje de c.d. aplicado permitido a $Z_n = 100 k\Omega$ ≤100 V
Voltajes de repique de corta duración permitidos a 25 Hz ó 50 Hz, duración máx. 10 s, $Z_{origen} \geq 500 \Omega$, valor r.m.s. ≤100 V voltaje de c.d. a tierra tolerable ±100 V
Entrada para medición de voltaje de c.d. flotante, 2 conectores tipo banana
Impedancia de entrada 1 MΩ
Voltaje de c.d. o c.a. permitido (50 Hz, valor r.m.s.) ≤100 V
Voltaje de c.d. o c.a. a tierra permitido ≤100 V

Especificaciones Generales

Fuente de Energía

Batería seca interna 9V IEC 6F 11
ó batería NiCad recargable a solicitud
Cargador separado (198 a 242 V, 45 a 60 Hz) para el PM-20 y PMP-20, BN 876/01
Supresión de Interferencia RFI/EMI grado de supresión, Clase K

Temperatura ambiente tolerable

Rango de utilización normal 0 a +50 °C
Almacenamiento y transporte -20 a +60 °C
Dimensiones (a x alt x p) en mm 98 x 164 x 54
Peso, incluyendo las baterías aprox. 0,5 kg.

Información para Pedidos

Medidor Digital de Nivel PM-20	BN 881/01
Medidor Digital de Nivel y Ruido PMP-20	BN 876/01
	BN 876/04 ²
Accesorios (costo adicional)	
Batería recargable NiCad	BN 820/00.50
Cargador	BN 820/00.51
(para PM-20 y PMP-20, BN 876/01)	
Adaptador/Cargador de C.A.	
(para PMP-20, BN 876/04) con	
Enchufe de alimentación de estándar europeo (193 a 242 V, 47,5 a 63 Hz)	BN 964/00.02
Enchufe de alimentación tipo americano (105 a 132 V, 47,5 a 63 Hz)	BN 964/00.03
Enchufe de alimentación tipo Inglés (211 a 264 V, 47,5 a 63 Hz)	BN 964/00.04
Enchufe de alimentación tipo australiano (211 a 264 V, 47,5 a 63 Hz)	BN 964/00.05
Correa de seguridad	BN 820/00.52
Adaptador Enchufable 150/300 Ω	BN 876/00.01
Estuche para Transporte de Equipos TPK-21 para 3 instrumentos de medición pequeños	BN 926/07
Estuche de cuero para transporte PM-20 ó PMP-20,	BN 926/09
PM-20 ó PMP-20 y cargador o adaptador/cargador de c.a.	BN 926/17

1) En el rango de frecuencias de 200 Hz a 4 kHz: -65 a +30 dBm
2) Igual a la versión BN 876/01 pero con conexión para el adaptador/cargador de c.a.



PM-40 Medidor Digital de Nivel

para mediciones de banda ancha en el rango de frecuencias 30 Hz a 120 kHz



- Mediciones de nivel de banda ancha en canales de voz y de programa de sonido, e igualmente a nivel de grupo básico
- Amplio rango de frecuencia y nivel
- Detector de r.m.s. verdadero
- Cambio automático de rango
- Selección de la impedancia de entrada
- Terminal de entrada de medición protegido contra voltajes c.d. y voltajes de repique
- Generador de 820 Hz incorporado
- Batería seca o NiCad interna
- Vigilancia de la condición de carga de la batería
- Caja externa robusta, a prueba de golpes

Aplicaciones

El Medidor Digital de Nivel modelo PM-40, ha sido diseñado para efectuar mediciones del funcionamiento de sistemas que usan canales de voz y programa de sonido. Particularmente es útil a las administraciones telefónicas y de correos, ferrocarriles, compañías petroleras, y empresas del servicio público de energía. Debido a la amplia gama de frecuencia del PM-40, se puede emplear en la medición de niveles de potencia de grupos básicos. La inclusión de un generador interno hace factible las mediciones en enlaces de transmisión fuera de servicio, o mediciones con bucle de retorno. Por cuanto el instrumento es liviano, robusto y no necesita una línea de c.a. comercial para funcionar, es ideal para el mantenimiento y localización de averías en el campo.

Características

Con el PM-40 se pueden realizar mediciones de niveles en forma rápida y sencilla, por tener incluida la facilidad de cambio automático de rango y grandes dígitos de lectura, la que siempre muestra el signo correcto. Se pueden elegir cuatro impedancias de entrada diferentes, de manera que la entrada de medición se puede acoplar a diversos puertos de prueba. Un detector r.m.s. y un circuito de calibración interno aseguran que las mediciones tengan una gran exactitud. Es imposible hacer mediciones incorrectas porque el PM-40 se desconecta automáticamente cuando el voltaje de la batería cae por debajo de cierto valor. La condición de carga de la batería también es vigilada. El PM-40 puede funcionar hasta unas 70 horas, dependiendo del tiempo de batería utilizado.

Rango de nivel	-60 a +10 dBm
Resolución de la lectura de nivel	0,1 dB
Exactitud de la medición a 800 Hz, (23 ± 10) °C	±0,2 dB
Impedancia de entrada, balanceada	75, 150, 600 Ω y alta impedancia
Señal emitida,	
Frecuencia	820 Hz
Nivel	-10 dBm
Salida, balanceada	600 Ω
Fuente de energía	batería seca o recargable

Si no dice lo contrario, los datos indicados son válidos bajo las condiciones operativas nominales en cuanto a las cantidades afectadas, inmediatamente después que se conecta el instrumento.

Terminal de entrada para medición

Balanceada, flotante Conector CF de 3 espigas
Impedancia de entrada, seleccionable 75, 150, 600 Ω
alta impedancia

Pérdida por retorno a 800 Hz
entrada terminada ≥ 40 dB

Relación de simetría de señal de acuerdo con

Rec. O.121 del CCITT, a 20 kHz ≥ 40 dB

Pérdida de fuga con terminación de alta

impedancia $\leq 0,1$ dB

Voltaje de c.d. permitido, $Z_{in} = 600 \Omega$ ≤ 50 V

Z_{in} alta impedancia ≤ 60 V

Voltaje a tierra permitido (0 a 50 Hz)

r.m.s. o C.D. ≤ 60 V

La entrada de medición está protegida contra voltajes de repique de corta duración.

Mediciones de nivel

Rango de frecuencia 30 Hz a 120 kHz

Rango de medición del nivel
(auto-cambio de gama) -60 a $+10$ dBm

Lectura de nivel, 3 dígitos incluyendo
signo correcto

Resolución 0,1 dB

Límites de error de la lectura de nivel
para el rango de nivel comprendido de -60 a $+10$ dBm

	(23 \pm 10) °C	0 a +50 °C
Error a 800 Hz, después de calibración	$\pm 0,2$ dB	$\pm 0,3$ dB
Respuesta en frecuencia, referido a 800 Hz en el rango de 30 Hz a 50 kHz	$\pm 0,2$ dB	$\pm 0,2 / -0,4$ dB
en el rango de 30 Hz a 120 kHz	$\pm 0,3$ dB	$\pm 0,3 / -0,5$ dB

Sección de transmisión integral

Salida balanceada, flotante

Conector conector CF de 3 espigas

Impedancia de salida 600 Ω

Pérdida por retorno ≥ 40 dB

Relación de simetría de señal
según O.121 del CCITT ≥ 40 dB

Frecuencia de transmisión 820 Hz ± 2 %

Nivel de transmisión -10 dBm

Límites de error $\pm 0,2$ dB

Relación de armónicas a_{k_1}, a_{k_2} , carga de 600 Ω ≥ 40 dB

Especificaciones Generales

Fuente de energía

Batería seca interna, reemplazable 9V IEC 6F 22
o batería recargable NiCad (a pedido)

Tipo de batería seca recomendado MALLORY MN 1604
ó VARTA 438

Tipo NiCad recargable recomendado VARTA Tr 7/8

Adaptador/cargador de c.a. separado para
batería NiCad

Tiempo de funcionamiento para trabajo
intermitente a $+23$ °C

Batería seca MALLORY MN 1604 aprox. 70 horas

Batería seca VARTA 438 aprox. 30 horas

Batería NiCad Varta Tr 7/8 aprox. 20 horas

El PM-40 se desconecta automáticamente
después de 4 minutos

Supresión de Interferencia RFI/EMI Clase K

Temperatura ambiente permitida

Rango de utilización nominal 0 a $+50$ °C

Almacenamiento y transporte -20 a $+60$ °C

Dimensiones (a x alto x p) en mm 98 x 164 x 54

Peso, incluyendo baterías aprox. 0,7 kg

Información para Pedidos

Medidor de Nivel Digital PM-40	BN 4508/01
Accesorios (costo adicional)	
Batería NiCad	BN 820/00.50
Adaptador/cargador de c.a. ¹⁾ con	
Enchufe de alimentación tipo Estandar	
Europeo	BN 964/00.02
(193 a 242 V, 47,5 a 63 Hz)	
Enchufe de alimentación tipo americano	BN 964/00.03
(105 a 132 V, 47,5 a 63 Hz)	
Enchufe de alimentación tipo inglés	BN 964/00.04
(211 a 264 V, 47,5 a 63 Hz)	
Enchufe de alimentación tipo australiano	BN 964/00.05
(211 a 264 V, 47,5 a 63 Hz)	
Correa de seguridad	BN 820/00.52
Estuche de cuero	
para el PM-40	BN 926/09
para el PM-40 y cargador	BN 926/11

1) El instrumento PM-40 no puede funcionar utilizando el adaptador de c.a. únicamente



PM-928 Medidor de Nivel

para mediciones de nivel en equipos de comunicaciones de datos Tipo ED 1000



- Mediciones de nivel en banda ancha sobre canales telefónicos, en el rango de frecuencias de 200 Hz a 6 kHz
- Filtros seleccionables por conmutador para mediciones de nivel separadas de las frecuencias de señal dobles utilizadas en el sistema de comunicaciones de datos ED 1000
- Mediciones de C.D. en circuitos telefónicos, desde 0 a 60 V
- Indicación digital de los resultados en pantalla, con el signo correcto
- Alimentación de energía con batería interna seca o NiCad recargable
- Caja robusta, a prueba de golpes, que puede sostenerse en la mano

Aplicaciones

El Medidor de Nivel en Banda Ancha PM-928 fue diseñado para realizar mediciones de nivel en equipos de comunicaciones de datos Tipo ED 1000. El Sistema ED 1000 se usa en redes configuradas para telegrafía y para líneas de datos con marcación, que transporten comunicaciones mediante señales binarias. Las señales c.d. son convertidas a señales de audio-frecuencia para su transmisión entre el lado del abonado y las centrales, así como en la dirección contraria. El equipo funciona con dos señales separadas moduladas en frecuencia (ida y regreso) transmitidas sobre dos hilos, pero con una señal enviada en cada dirección. Por lo tanto, esta técnica permite el funcionamiento totalmente duplex.

Además de la capacidad para realizar mediciones de nivel en banda ancha en el rango de frecuencias de 200 Hz a 6 kHz, los filtros seleccionables por conmutador (500 a 700 Hz ó 2,25 a

3,15 kHz) permiten mediciones de nivel separadas de las frecuencias de señal duplicadas en las dos direcciones. El PM-928 también puede hacer mediciones c.d. en el rango de 0 a 60 V.

Características

El PM-928 tiene entradas separadas para las mediciones de nivel y de voltaje c.d. El instrumento funciona con autocalibración del rango y tiene una pantalla grande de 3 dígitos que muestra el signo correcto. La calibración se realiza oprimiendo un botón junto con un ajuste mediante ranura para destornillador, hasta alcanzar el valor «00.0» en la pantalla.

El Medidor de Nivel está construido en una caja robusta a prueba de golpes y es muy apropiado para cumplir con las exigencias del manipuleo fuerte que resulta de utilizarlo en circuitos telefónicos en el campo. El medidor funciona independiente del suministro c.a. y puede ser alimentado por una batería interna, ya sea seca o NiCad recargable.

Medición de Nivel	- 50 a +10 dBm
Resolución	0,1 dB
Rango de frecuencias	
Banda ancha	200 Hz a 6 kHz
Filtro I	500 a 700 Hz
Filtro II	2250 a 3150 Hz
Impedancia de entrada	600 Ω, puenteo (alta impedancia)
Medición de voltaje C.D.	0 a ± 60 V
Resolución	0,1 V
Impedancia de entrada	200 kΩ
Peso	aprox. 0,5 kg

El PM-928 puede encenderse (ON) y apagarse (OFF) oprimiendo un botón, pero con el propósito de alargar la vida de las baterías, el instrumento dispone de un interruptor automático que corta el suministro de corriente después de aproximadamente 4 minutos de funcionamiento. Esto extiende la vida operativa de la batería seca interna.
La condición del voltaje de la batería es vigilada continuamente

por un circuito especial; las letras «BAT» aparecen en la pantalla para indicar que restan aproximadamente dos horas de tiempo operativo. Cuando el voltaje de la batería cae todavía más, el PM-928 se apaga a sí mismo para evitar lecturas erróneas. Después de este apagado automático, el PM-928 no permite el encendido a menos que la batería sea cambiada o que se recargue la batería de NiCad.

Especificaciones del Medidor de Nivel

PM-928

A menos que se indique lo contrario, los datos especificados son válidos bajo las condiciones nominales de uso de las cantidades involucradas.

Medición de nivel

Entrada de Medición balanceada, flotante,
conector CF de 3 polos
Impedancia de entrada, conmutable 600 Ω , puenteo
Pérdida de derivación a $Z_{origen} \leq 300 \Omega$,
 Z_{in} = puenteo $\leq 0,1$ dB
Razón de balance de la señal del receptor
según CCITT O.121 ≤ 35 dB
Carga de voltaje c.d. tolerable a
 Z_{in} = puenteo ≤ 60 V
 Z_{in} = 600 Ω ≤ 30 V
Voltaje c.d. tolerable a tierra ≤ 60 V

Rango de frecuencias, seleccionable por conmutador
Banda ancha 200 Hz a 6 kHz
Filtro I 500 Hz a 700 Hz
Filtro II 2250 Hz a 3150 Hz

Nivel
(auto rango) -50 a +10 dBm
Representación del nivel 3 dígitos con signo correcto
Resolución 0,1 dB

Calibración por potenciómetro con vástago ranurado
Representación nominal 00.0 dBm

Límites de error de la lectura de nivel
(incluyendo error digital, error causado por ruido intrínseco
y error debido a impedancia de entrada cuando se alimenta a
 $Z_{origen} = Z_{in} = 600 \Omega$)
en posición de banda ancha
(200 Hz a 6 kHz) $\pm 0,25$ dB
en posición de filtro I
(con $f = 500$ Hz ó 700 Hz) $\pm 0,5$ dB
en posición de filtro II
(con $f = 2250$ Hz ó 3150 Hz) $\pm 0,5$ dB

Curva de atenuación del filtro en banda de rechazo
Filtro I: atenuación del rechazo de banda referida a
 $f = 500$ Hz ó 700 Hz, para
 $f \leq 50$ Hz ≥ 20 dB
 $f \leq 150$ Hz > 5 dB
 $f \leq 250$ Hz > 1 dB
 $f = 2250$ ó 3150 Hz > 40 dB

Filtro II: atenuación del rechazo de banda referida a
 $f = 2250$ ó 3150 Hz, para
 $f \leq 800$ Hz > 35 dB
 $f = 500$ Hz ó 700 Hz > 40 dB

Rectificador del detector detección r.m.s. verdadera

Medición del Voltaje C.D.

Conector de entrada conector flotante tipo «banana»
de dos polos
Impedancia de entrada 200 k Ω
Rango de medición 0 a ± 60 V
Indicación en pantalla 3 dígitos, signo correcto
Resolución 0,1 V
Límites de error de
la representación 1% de lectura $\pm 0,1$ V
Voltaje c.d. tolerable ≤ 60 V
Voltaje c.a. tolerable (valor r.m.s.) ≤ 60 V
Capacidad de sobrecarga impulsiva 2 veces
Voltaje c.d. tolerable a tierra ≤ 60 V

Especificaciones Generales

Fuente de energía
Batería seca interna, reemplazable 9 V/IEC 6 F 22
o batería NiCad e.g. Varta Tr 7/8
Rango nominal de uso del voltaje de la batería 7 a 9,5 V
Consumo de corriente aprox. 6 mA
Tiempos operativos con funcionamiento intermitente
y a +23 °C
Mallory MN 1604 aprox. 70 horas
Varta 438 aprox. 30 horas
NiCad TR 7/8 aprox. 20 horas

Apagado automático de la fuente de energía después de
aprox. 4 minutos.
Cargador de batería separado para NiCad, BN 820/00.51, para
un voltaje de línea c.a. de 198 a 242 V/frecuencia de línea c.a.
de 45 a 60 Hz

Supresión RFI/EMI grado de supresión, clase K
Temperatura ambiente tolerable
Rango nominal de uso 0 a +50 °C
Rango de almacenamiento y transporte -20 a +60 °C
Dimensiones (a x alt x p) en mm 97,5 x 54 x 164
Peso con batería aprox. 500 gramos

Información para Pedidos

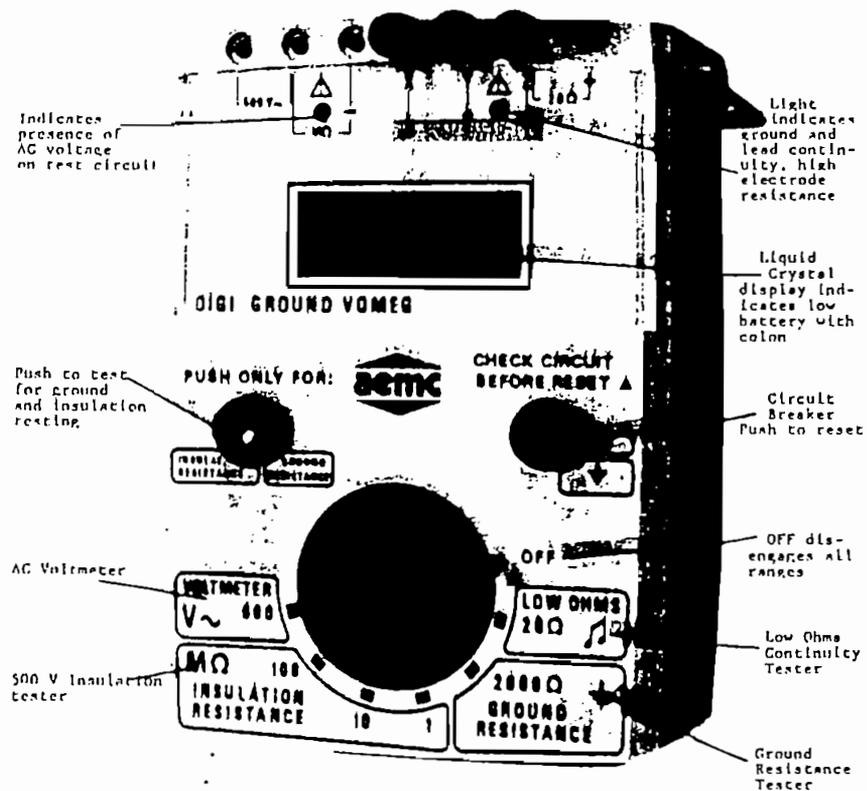
Medidor de Nivel PM-928	BN 928/01
Accesorios (costo adicional)	
Batería recargable NiCad	BN 820/00.50
Cargador de batería	BN 820/00.51
Correa	BN 820/00.52
Estuche de cuero con espacio para PM-928	BN 926/09
Estuche de cuero con espacio para el PM-928 y el cargador de batería	BN 926/17
Adaptador enchufable para 150/300 Ω	BN 876/00.01

MEDIDOR DE TIERRAS

6

Control & Connector Information

DIGI Ground VOMEG



SPECIFICATIONS OF THE DIGI GROUND VOMEC

GROUND RESISTANCE TESTRange: 0-2000 Ω Resolution: 1 Ω Accuracy: $\pm 1\%$ of reading, ± 2 digitsMaximum earth resistance for
auxiliary probes Y and Z: 5000 Ω

Signal light indicates:

-excess level of stray currents

-test lead and electrode continuity

-ground and current electrode resistance exceeding 5000 Ω

Protection: circuit breaker and fuse (0.63 A, 660 V)

LOW OHMS TESTRange: 0-20 Ω

Resolution: 10 milliohms

Accuracy: $\pm 1\%$, ± 3 digitsBuzzer: Buzzer sounds when measured resistance falls within
0-400 Ω range; convenience feature when measurements must
be made in hard to reach places.

Protection: circuit breaker and fuse (0.63 A, 660 V)

VOLTAGE TEST

Range: 0-600 VAC

Maximum voltage: 700 V rms

Resolution: 1 V

Input impedance: 1 Megohm

Accuracy: $\pm 0.5\%$, ± 2 digitsINSULATION RESISTANCE TESTThree ranges: 0 - 100M Ω , 0 - 10M Ω , 0 - 1M Ω

Test voltage: 500 VDC

Resolution: 100M Ω range: 100,000 Ω 10M Ω range: 10,000 Ω 1M Ω range: 1000 Ω Accuracy: $\pm 1.5\%$, ± 1 digit for 10 M Ω range, $\pm 3\%$ ± 1 digit for 1M Ω
and 100M Ω ranges.

Protection: Warning light indicates presence of AC voltage on test

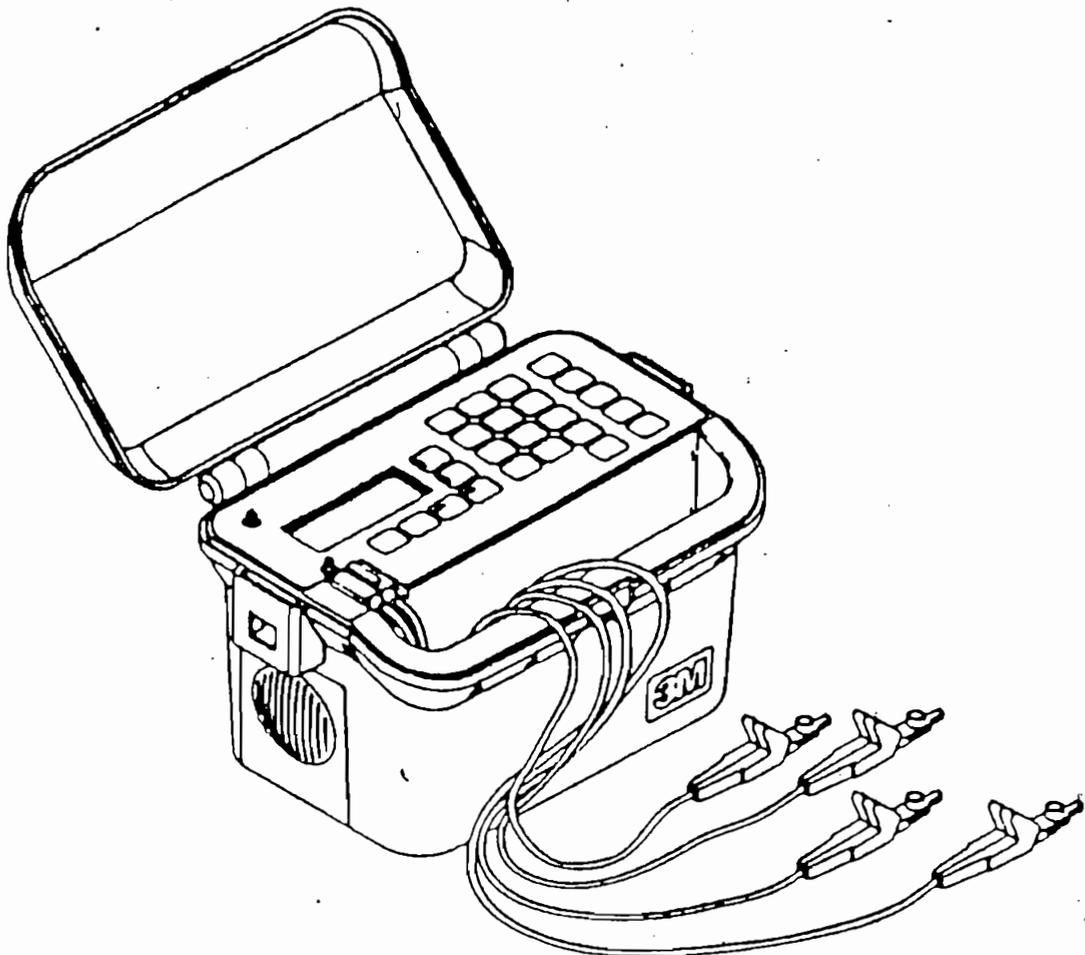
DESCRIPTION

The AEMC DIGI GROUND VOMEG functions as:

- A ground resistance tester
Range: 0-2000 ohms
- An insulation tester
Ranges: 0 - 100M Ω , 500 VDC
0 - 10M Ω , 500 VDC
0 - 1M Ω , 500 VDC
- A low ohm continuity tester
Range: 0-20 ohms
- An AC voltmeter
Range: 0-600 VAC

A large (0.7") liquid crystal display eliminates the guesswork associated with conventional meters. Warning indicator lights on the ground resistance tester and insulation resistance tester make measurements simpler and safer; the user is warned whenever excess stray currents or AC voltages are present. A buzzer provides continuity verification on the low ohms tester. While offering all these features, VOMEG does not sacrifice the accuracy, versatility and reliability expected in professional electrical test equipment and will provide the user years of dependable, trouble free service.

DYNATEL



Especificaciones

1. ESPECIFICACIONES PARA EL 955M Y 955MC

A. Medidas

Función	Rango	Resolución	Precisión
Voltaje C. A.:	0 a 75 VCA	0.1V	0.7V
	75 a 250 VCA	1.0V	3%
Voltaje C. C.:	0 a 100 VCC	0.1V	0.5V
	100 a 350 VCC	1.0V	3%
Corriente continua:	0 a 110 mA CC (Zin = 430 Ohmios)	0.1 mA	0.3 mA
Resistencia ¹ :	0 a 10,000	1	1% ± 5
	10,000 a 100K	100	1%
	100K a 1M	1K	3%
	1M a 10M	100K	10%
	10M a 100M	1M	20%
Abiertos (modo normal) ¹ :	0 a 30000 m	3 m ⊕ 500 m	1.5 m ± 1% ⊕ 500 m
	Resistencia de fuga, Modo normal:	>15K Ohmios a tierra – 190K Ohmios a batería	
Abiertos (modo especial) ¹ :	0 a 30000 m	3 m ⊕ 500 m	6 m ± 1% ⊕ 500 m
Resistencia de fuga, Modo especial:	>1200 Ohmios a tierra y 18K Ohmios a batería		

Nota: ¹ Realizar una autocalibración antes de proceder a las lecturas.

B. Localización de Averías Resistivas

Nota: La precisión depende del ruido ocasionado por la influencia eléctrica; las especificaciones para averías resistivas, están referidas a situaciones de bajo ruido.

Función	Rango	Resolución	Precisión ²
Falla Resistiva (RF): Resistencia hasta el fallo (RTF): ² (⊕ 21.1° C sin ruido)	hasta 30 M Ohmios 0 a 7K Ohmios	0.01 Ohmios ⊕ 50 Ohmios	± (0.001 X RAP + 2x10 ⁻⁸ X RF) Ohmios (4 hilos) ²
Resistencia al puente (RAP) de 4 hilos: ²	0 a 7K Ohmios	0.01 Ohmios ⊕ 50 Ohmios	± .2% ⊕ 50 Ohmios
Conversión de Resistencia a distancia Resolución: ³	1 a 99 m 100 a 999 m 1000 a 30000 m	0.1 m 1.0 m 10.0 m	
Sensor de temperatura:	-18° a 60° C	.5° C	±1° C
Inmunidad al ruido:	7VCA para todas las frecuencias		

- Nota:** 2 La precisión de la medida en el caso de conexión utilizando un par único, depende exclusivamente que el conductor de referencia tenga exactamente la misma longitud eléctrica que el conductor defectuoso. La precisión es la mitad para conexiones con par único.
- 3 La precisión depende de la correcta introducción de la temperatura así como de la exactitud del calibre del hilo de cobre. La temperatura puede ser calculada por el sensor incorporado o puede ser introducida manualmente por el operario.

C. Salidas

Tonos Disponibles (955M):

Función	Frecuencia	Nivel	Impedancia
Tono identificador del par:	577.5 Hz	6V pico a pico	100 Ohmios (corriente limitada a 8 mA)
Tono de precisión:	1004 ±1 Hz	0 dBm ± 0.2 dB	600 Ohmios
Distorsión armónica: < 45dB (hasta el décimo armónico)			

Tonos Disponibles (955MC):

Función	Frecuencia	Nivel	Impedancia
Tono identificador del par:	480 Hz	0 dBv	100 Ohmios (corriente limitada a 8 mA)
Tono de precisión:	800 ±1 Hz	0 dBm ± 0.2 dB	600 Ohmios
	1020 ±1 Hz	0 dBm ± 0.2 dB	600 Ohmios

Tonos Introducidos por el Usuario (965M y 965MC):

Rango de frecuencias	Resolución	Precisión de las frecuencias	Precisión de la amplitud
2 a 100 Hz	±0.1%	±1%	±1dB
100 a 1 KHz	±1.0%	±1%	±1dB
1 KHz a 10 KHz	±3.0%	±1%	±1dB
Distorsión armónica: < 45dB (hasta el décimo armónico)			

D. Ambientales

	Operación	Almacenamiento
Temperatura:	-18° a 60° C	-40° a 74° C
Humedad:	0 a 100% (condensando)	0 a 100% (condensando).
Altitud:	0 a 5000m	0 a 12000m

E. Dimensiones

Alto	Ancho	Profundidad	Peso	Longitud del Cable
18 cm	27 cm	19 cm	3.4 Kg	1.5 m

F. Capacidad de las Pilas

El tiempo de utilización entre cambio o recarga de pilas depende de la temperatura del equipo y del tipo de utilización. Para pilas no recargables el tiempo típico de operación es de 200 horas entre cambios de pilas. Para pilas recargables el tiempo de utilización es de 80 horas entre carga de pilas.

2. ESPECIFICACIONES PARA EL 945M Y 945MC

A. Medidas

Función	Rango	Resolución	Precisión
Voltaje C. A.:	0 a 75 VCA	0.1V	0.7V
	75 a 250 VCA	1.0V	3%
Voltaje C. C.:	0 a 100 VCC	0.1V	0.5V
	100 a 350 VCC	1.0V	3%
Corriente continua:	0 a 110 mA CC (Zin = 430 Ohmios)	0.1 mA	0.3 mA
Resistencia ¹ :	0 a 100M Ohmios	100 Ohmios	1%
		⊕ 50K Ohmios	⊕ 50K Ohmios
Atenuación:	-40 a +10 dBm (Zin = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.2 dB
		200 to 5,000 Hz	
Ruido metálico (945M) ² :	10 a 50 dBmC 0 a 10 dBmC (Zin = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.5 dB
		0.3 dB	2.0 dB
Ruido metálico (945MC) ³ :	-80 a -40 dBm0P -90 a -80 dBm0P (Zin = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.5 dB
		0.3 dB	2.0 dB
Ruido a tierra (945M):	40 a 100 dBmC (Zin = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.5 dB
Ruido a tierra (945MC):	-50 a +60 dBm0P (Zin = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.5 dB
Abiertos (modo normal) ¹ :	0 a 30000 m	3 m ⊕	1.5 m ±1% ⊕
		500 m	500 m
Resistencia de fuga, Modo normal: > 15K ohmios a tierra – 190K Ohmios a batería.			
Abiertos (modo especial) ¹ :	0 a 30000 m	3 m ⊕	6 m ±1% ⊕
		500 m	500 m
Resistencia de fuga, Modo especial: > 1200 ohmios a tierra – 18K Ohmios a batería.			
Medida de frecuencia:	20 a 20,000 Hz	1 Hz (durante ensayo de atenuación)	2 Hz (frecuencia simple solamente)
Resistencia a tierra:	0 a 500 Ohmios	1 Ohmio	3 Ohmios
Bucle y Repartidor/Oficina central			
Resistencia:	0 a 5000 Ohmios	1 Ohmio	±10% + 50 Ohmios
(Medida a través de la tecla ⊞ (extensores) asumiendo que la resistencia de circuito cerrado es conocida.)			

- Nota:
- 1 Realizar una autocalibración antes de medir.
 - 2 Las especificaciones de los filtros "C" tienen una tolerancia que depende de la frecuencia. Consultar la norma "IEEE 743-1984". El 945MC excede esas tolerancias. Para la mayoría de las frecuencias el error total es menos de 0.7dB.
 - 3 Las especificaciones sofométricas tienen una tolerancia adicional que depende de la frecuencia. Consultar la recomendación 0.41 del CCITT. El 945M excede esas tolerancias. Para la mayoría de las frecuencias, el error total es inferior a 0.7 dB.

B. Salidas

Tono (945M):

Función	Frecuencia	Nivel	Impedancia
Tono identificador del par:	577.5 Hz	6V pico a pico	100 Ohmios (Corriente limitada a 8mA)

Tono (945MC):

Función	Frecuencia	Nivel	Impedancia
Tono identificador del par:	480 Hz	0 dBv	100 Ohmios (Corriente limitada a 8mA)

Marcar:

Función	Frecuencia	Observaciones
TDMF:	Estándar	100 msec activado 100 msec desactivado
Cumple la norma CCITT Q.23 para frecuencia y amplitud ± 1 Hz @ -10 dBm ± 1 dB		
Pulso del marcar:	10 pulsos por segundo	60 msec desconecta 40 msec conectar 600 msec entre dígitos

C. Ambientales

	Operación	Almacenamiento
Temperatura:	-18° to 60° C	-40° to 74° C
Humedad:	0 to 100% (condensando)	0 to 100% (condensando)
Altitud:	0 to 5000m	0 to 12000m

D. Dimensiones

Altura	Ancho	Profundidad	Peso	Longitud del cable
18 cm	27 cm	19 cm	3.4 Kg	1.5 m

E. Capacidad de las Pilas

El tiempo de operación entre cambio o recarga de pilas depende de la temperatura y del tipo de operación realizada. Para pilas no recargables, el tiempo típico de operación entre cambio de pilas es de 200 horas. Para pilas recargables, el tiempo típico de operación entre cargas es de 80 horas.

3. ESPECIFICACIONES DEL 965M Y 965MC

A. Medidas

Función	Rango	Resolución	Precisión
Voltaje C. A.:	0 a 75 VCA	0.1V	0.7V
	75 a 250 VCA	1.0V	3%
Voltaje C. C.:	0 a 100 VCC	0.1V	0.5V
	100 a 350 VCC	1.0V	3%
Corriente continua:	0 a 110 mA CC (Z _{in} = 430 Ohmios)	0.1 mA	0.3 mA
Resistencia ¹ :	0 a 100M Ohmios	100 Ohmios @ 50K Ohmios	1% @ 50K Ohmios
Atenuación:	-40 a +10 dBm (Z _{in} = 600 Ohmios)	0.1 dB 200 to 5,000 Hz	0.2 dB
Ruido metálico (965M) ² :	10 a 50 dBmC	0.1 dB	0.5 dB
	0 a 10 dBmC (Z _{in} = 600 Ohmios)	0.3 dB	2.0 dB
Ruido metálico (965MC) ³ :	-80 a -40 dBm0P	0.1 dB	0.5 dB
	-90 a -80 dBm0P (Z _{in} = 600 Ohmios)	0.3 dB	2.0 dB
Ruido a tierra (965M):	40 a 100 dBmC (Z _{in} = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.5 dB
Ruido a tierra (965MC):	-50 a +60 dBm0P (Z _{in} = 600 Ohmios)	0.1 dB	0.5 dB
Abiertos (modo normal) ¹ :	0 a 30000 m	3 m @	1.5 m ±1% @
		500 m	500 m
Resistencia de fuga, Modo normal: > 15K ohmios a tierra – 190K Ohmios a batería.			
Abiertos (modo especial) ¹ :	0 a 30000 m	3 m @	6 m ±1% @
		500 m	500 m
Resistencia de fuga, Modo especial: > 1200 ohmios a tierra – 18K Ohmios a batería.			
Medida de frecuencia:	20 a 20,000 Hz	1 Hz (durante ensayo de atenuación)	2 Hz (frecuencia simple solamente)
Resistencia a tierra:	0 a 500 Ohmios	1 Ohmio	3 Ohmios
Bucle y Repartidor/Oficina central.			
Resistencia:	0 a 5000 Ohmios	1 Ohmio	±10% + 50 Ohmios

(Medida a través de la tecla  (extensores) asumiendo que la resistencia de circuito cerrado es conocida.)

- Nota:
- 1 Realizar una autocalibración antes de medir.
 - 2 Las especificaciones de los filtros "C" tienen una tolerancia que depende de la frecuencia. Consultar la norma "IEEE 743-1984". El 965MC excede esas tolerancias. Para la mayoría de las frecuencias el error total es menos de 0.7dB.
 - 3 Las especificaciones sofométricas tienen una tolerancia adicional que depende de la frecuencia. Consultar la recomendación 0.41 del CCITT. El 965M excede esas tolerancias. Para la mayoría de las frecuencias, el error total es inferior a 0.7 dB.

B. Localización de Averías Resistivas

Nota: La precisión depende del ruido ocasionado por la influencia eléctrica; las especificaciones para averías resistivas, están referidas a situaciones de bajo ruido.

Función	Rango	Resolución	Precisión ¹
Falla Resistiva (RF): Resistencia hasta el fallo (RAF): ¹ (⊕ 21.1° C sin ruido)	hasta 30 M Ohmios 0 a 7K Ohmios	0.01 Ohmios ⊕ 50 Ohmios	$\pm (0.001 \times \text{RAF} + 2 \times 10^{-8} \times \text{RF})$ Ohmios (4 hilos) ¹
Resistencia al puente (RAP) de 4 hilos: ¹	0 a 7K Ohmios	0.01 Ohmios ⊕ 50 Ohmios	$\pm .2\% \oplus 50$ Ohmios
Conversión de Resistencia a distancia			
Resolución ²	1 a 99 m 100 a 999 m 1000 a 30000 m	0.1 m 1.0 m 10.0 m	
Sensor de temperatura:	-18° a 60° C	.5° C	$\pm 1^\circ$ C
Inmunidad al ruido:	7VCA para todas las frecuencias		

- Nota:**
- 1 La precisión de la medida en el caso de conexión utilizando un par único, depende exclusivamente que el conductor de referencia tenga exactamente la misma longitud eléctrica que el conductor defectuoso. La precisión es la mitad para conexiones con par único.
 - 2 La precisión depende de la correcta introducción de la temperatura así como de la exactitud del calibre del hilo de cobre. La temperatura puede ser calculada por el sensor incorporado o puede ser introducida manualmente por el operario.

C. Salidas

Tonos Disponibles (965M):

Función	Frecuencia	Nivel	Impedancia
Tono identificador del par:	577.5 Hz	10V pico a pico	100 Ohmios (corriente limitada a 8 mA)
Tono de precisión:	404, 1004, 2804 ± 1 Hz	0 dBm ± 0.2 dB	600 Ohm
Distorsión armónica: < 45dB (hasta el décimo armónico)			

Tonos Disponibles (965MC):

Función	Frecuencia	Nivel	Impedancia
Tono identificador del par:	480 Hz	0 dBv	100 Ohmios (corriente limitada a 8 mA)
Tono de precisión:	800, 1020 ± 1 Hz	0 dBm ± 0.2 dB	600 Ohm

Tonos introducidos por el Usuario (965M y 965MC):

Rango de frecuencias	Resolución	Precisión de las frecuencias	Precisión de la amplitud
2 to 100 Hz	$\pm 0.1\%$	$\pm 1\%$	± 1 dB
100 to 1 KHz	$\pm 1.0\%$	$\pm 1\%$	± 1 dB
1 KHz to 10 KHz	$\pm 3.0\%$	$\pm 1\%$	± 1 dB
Distorsión armónica: < 45dB (hasta el décimo armónico)			

Marcar:

Función	Frecuencia	Observaciones
TDMF:	Estándar	100 msec activado 100 msec desactivado
Cumple la norma CCITT Q.23 para frecuencia y amplitud $\pm 1 \text{ Hz} \oplus -10 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$		
Pulso del marcar:	10 pulsos por segundo	60 msec desconectar 40 msec conectar 600 msec entre dígitos

D. Medio Ambiente

	Operación	Almacenamiento
Temperatura:	-18° to 60° C	-40° to 74° C
Humedad:	0 a 100% (condensando)	0 a 100% (condensando)
Altitud:	0 a 5,000 m	0 a 12,000 m

E. Dimensiones

Altura	Ancho	Profundidad	Peso	Longitud del cable
18 cm	27 cm	19 cm	3.4 kg	1.5 m

F. Capacidad de las Pilas

El tiempo de utilización entre cambio o recarga de pilas depende de la temperatura y del tipo de operación. Para pilas no recargables, el tiempo típico de duración es de 200 horas. Para pilas recargables, el tiempo típico de utilización es de 80 horas antes de la recarga.

ANEXO 4

1^{er}. Plano RED PRIMARIA RUTA CAPELO 2

2^{do}. Plano RED SECUNDARIA D-01

3^{er}. Plano ESQUEMA DE EMPALMES D- 01

4^{to}. Plano RED SECUNDARIA D- 02

5^{to}. Plano ESQUEMA DE EMPALMES D- 02