



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 1 de 68

ÍNDICE

1	OBJETO	7
2	NORMATIVA DE REFERENCIA	7
3	ABREVIATURAS UTILIZADAS	9
4	DEFINICIONES.....	9
4.1	Tensiones propias del Cable y sus Accesorios	9
4.1.1	Tensión U_0	10
4.1.2	Tensión U	10
4.1.3	Tensión U_m	10
4.1.4	Tensión U_p	10
4.2	Tensiones propias de la Red en la que se va a utilizar el Cable	10
4.2.1	Tensión nominal de la red.....	10
4.2.2	Tensión más elevada de una red trifásica	11
4.2.3	Sobretensión de rayo	11
4.3	Definiciones de Valores dimensionales.....	11
4.3.1	Valor nominal	11
4.3.2	Valor mediano	11
4.4	Definiciones concercientes a los Ensayos.....	11
4.4.1	Sistema de cables	11
4.4.2	Ensayos individuales.....	11
4.4.3	Ensayos sobre muestras.....	12
4.4.4	Ensayos de tipo.....	12
4.4.5	Ensayos de desarrollo.....	12
4.4.6	Ensayos de precalificación	13
4.4.7	Aplicación de los diferentes tipos de ensayo	13
5	CABLE DE ALTA TENSIÓN	14
5.1	Conductor	14

REALIZADA POR:
SUBDIRECCIÓN DE LINEAS AT

EDITADA EN: JUNIO 2004
REVISADA EN: FEBRERO 2008

APROBADA POR:
DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

ÁMBITO:
ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 2 de 68

5.2	Pantalla Semiconductora sobre el Conductor	16
5.3	Aislamiento	16
5.4	Pantalla Semiconductora sobre el Aislamiento	18
5.5	Proceso de Extrusión	19
5.6	Pantalla Metálica	20
5.7	Cinta Hinchable	21
5.8	Cubierta.....	21
5.9	Consideraciones frente al Fuego	22
5.10	Esfuerzos de Tiro y Presión Lateral durante el Tendido	22
5.11	Radios de Curvatura durante el Tendido	23
6	GENERALIDADES DE SUMINISTRO	23
6.1	Marcaje e Identificación del Cable.....	23
6.2	Marcaje e Identificación de las Bobinas del Cable	23
6.3	Características de las Bobinas del Cable	24
7	CONDICIONES DE ENSAYO.....	24
7.1	Temperatura ambiente.....	24
7.2	Frecuencia y Forma de Onda de las Tensiones en el Ensayo a Frecuencia Industrial	24
7.3	Forma de Onda de la Tensión en el Ensayo de Impulso de Tensión Tipo Rayo.....	24
7.4	Relación entre las Tensiones de Ensayo y las Tensiones Asignadas	25
7.5	Determinación de la Temperatura del Conductor del Cable	25
8	ENSAYOS INDIVIDUALES EN CABLES	25
8.1	Ensayo de Descargas Parciales	25
8.2	Ensayo de Tensión	26
8.3	Ensayo Eléctrico de la Cubierta Exterior del Cable.....	26
9	ENSAYOS SOBRE MUESTRA DE CABLE.....	26
9.1	Examen del Conductor	27

REALIZADA POR:
SUBDIRECCIÓN DE LINEAS AT

APROBADA POR:
DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

EDITADA EN: JUNIO 2004

REVISADA EN: FEBRERO 2008

ÁMBITO:

ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

9.2	Medida de la Resistencia Eléctrica del Conductor y de la Pantalla Metálica	27
9.3	Medida del Espesor de Aislamiento, de las Pantallas Semiconductoras y de la Cubierta exterior del Cable	28
9.3.1	<i>Requisitos para el aislamiento</i>	28
9.3.2	<i>Requisitos de las pantallas semiconductoras</i>	29
9.3.3	<i>Requisitos de la cubierta exterior del cable</i>	29
9.4	Medida de los Diámetros	29
9.5	Ensayo de Alargamiento en Caliente del Aislamiento	29
9.6	Ensayo de Determinación de las Propiedades mecánicas del Aislamiento antes del Envejecimiento	30
9.7	Ensayo de Determinación de las Propiedades mecánicas de la Cubierta antes del Envejecimiento	30
9.8	Medida de la Capacidad	31
9.9	Ensayo de Contracción del Aislamiento	31
9.10	Ensayo bajo Condiciones de Fuego	31
9.11	Ensayo de Impulso de Tensión tipo Rayo seguido de un Ensayo de Tensión a Frecuencia Industrial	32
9.12	Inspección visual	32
9.13	Fuerza de Adherencia de la Lámina metálica	32
9.14	Resistencia al Despegado de la Superposición de la Lámina metálica	34
10	ENSAYOS DE TIPO	35
10.1	Generalidades	35
10.2	Resumen de los Ensayos de Tipo	35
10.3	Ensayos Eléctricos de Tipo en Sistemas de Cable	35
10.3.1	<i>Medida del espesor del aislamiento en el cable</i>	35
10.3.2	<i>Secuencia de ensayos</i>	36
10.3.3	<i>Ensayo de doblado</i>	37
10.3.4	<i>Ensayo de descargas parciales</i>	37

REALIZADA POR:
SUBDIRECCIÓN DE LINEAS AT

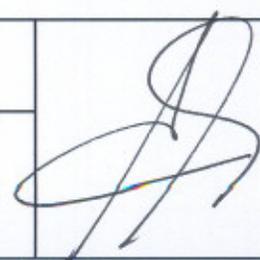
APROBADA POR:
DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

EDITADA EN: JUNIO 2004

ÁMBITO:

REVISADA EN: FEBRERO 2008

ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA



10.3.5	Medida de la $\tan \delta$.....	38
10.3.6	Ensayo de ciclos de calentamiento en tensión.....	38
10.3.7	Ensayo de impulso de tensión tipo rayo seguido de un ensayo de tensión a frecuencia industrial	39
10.3.8	Ensayo de la protección exterior de los empalmes.....	40
10.3.9	Verificación.....	40
10.3.9.1	Sistema de cables y accesorios.....	40
10.3.9.2	Cables	40
10.3.10	Resistencia de las pantallas semiconductoras.....	41
10.3.11	Ensayo de cortocircuito	41
10.4	Ensayos de Tipo no Eléctricos en Sistemas de Cable	42
10.4.1	Verificación de la construcción del cable.....	42
10.4.2	Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas del aislamiento antes y después del envejecimiento	42
10.4.2.1	Muestreo	42
10.4.2.2	Envejecimiento térmico.....	43
10.4.2.3	Acondicionamiento y ensayos mecánicos	43
10.4.2.4	Requisitos	43
10.4.3	Ensayos de determinación de las propiedades mecánicas de la cubierta antes y después del envejecimiento	43
10.4.3.1	Muestreo	43
10.4.3.2	Envejecimiento térmico.....	44
10.4.3.3	Acondicionamiento y ensayos mecánicos	44
10.4.3.4	Requisitos	44
10.4.4	Ensayos de envejecimiento sobre cable completo para verificar la compatibilidad de los materiales.....	44
10.4.4.1	Generalidades.....	44
10.4.4.2	Muestreo	44
10.4.4.3	Envejecimiento térmico.....	45

REALIZADA POR:
SUBDIRECCIÓN DE LINEAS AT

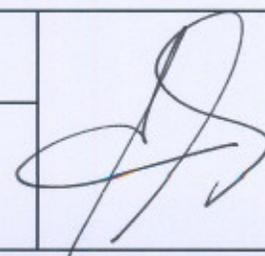
APROBADA POR:
DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

EDITADA EN: JUNIO 2004

ÁMBITO:

REVISADA EN: FEBRERO 2008

ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA





endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 5 de 68

10.4.4.4	Ensayos mecánicos	45
10.4.4.5	Requisitos	45
10.4.5	Ensayo de presión a temperatura elevada en la cubierta exterior.....	45
10.4.5.1	Procedimiento	45
10.4.5.2	Requisitos	45
10.4.6	Ensayo de alargamiento en caliente para el aislamiento.....	46
10.4.7	Ensayo de contracción de la cubierta.....	46
10.4.8	Medida del contenido de negro de humo de la cubierta exterior.....	46
10.4.8.1	Procedimiento	46
10.4.8.2	Requisitos	46
10.4.9	Ensayo bajo condiciones de fuego.....	46
10.4.10	Ensayo de penetración de agua	47
10.4.11	Ensayo de presión lateral.....	47
10.4.12	Ensayo de ciclos térmicos	48
10.4.13	Ensayo de impacto	48
10.4.14	Ensayo de corrosión.....	49
10.4.15	Ensayo de resistencia a la abrasión	49
10.5	Ensayos de Tipo en Cables.....	49
10.5.1	Resumen de los ensayos de tipo	49
10.5.2	Ensayos de tipo eléctrico sobre cables completos.....	50
11	PROCESO DE CALIFICACIÓN	51
11.1	Generalidades	51
11.2	Objeto de Calificación	51
11.3	Ensayos de Calificación	51
11.4	Extensión de la Calificación.....	52
11.5	Mantenimiento de la Calificación	54
12	ENSAYOS DE RECEPCIÓN	55
13	INFORMACIÓN TÉCNICA A PRESENTAR.....	55

REALIZADA POR:
SUBDIRECCIÓN DE LINEAS AT

APROBADA POR:
DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

EDITADA EN: JUNIO 2004

ÁMBITO:

REVISADA EN: FEBRERO 2008

ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 6 de 68

14	GARANTÍAS.....	56
15	INSPECCIÓN.....	56
16	PROPIEDAD INTELECTUAL.....	56
	ANEXO A: TABLA DE CABLES	57
	ANEXO C: ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA.....	64
	ANEXO D: MÉTODO DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DE LAS PANTALLAS SEMICONDUCTORAS	66

REALIZADA POR:
SUBDIRECCIÓN DE LINEAS AT

APROBADA POR:
DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

EDITADA EN: JUNIO 2004

ÁMBITO:

REVISADA EN: FEBRERO 2008

ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

1 OBJETO

Esta norma tiene por objeto definir el diseño, la fabricación, los ensayos, el suministro y la entrega de cables de tensión asignada igual o superior a 45 kV.

Esta especificación no cubre la obra civil, los ensayos de puesta en servicio, los accesorios, el montaje de los accesorios ni el tendido de los cables, que vienen definidos en otras normas y procedimientos.

2 NORMATIVA DE REFERENCIA

UNE 211004:2003 (IEC 62067:2006)

Cables de potencia con aislamiento extruido y sus accesorios, de tensión asignada superior a 150 kV ($U_m=170\text{kV}$) hasta 500 kV ($U_m=550\text{ kV}$). Requisitos y métodos de ensayo.

HD 632 (IEC 60840:2004)

Cables de energía con aislamiento extruido y sus accesorios para tensiones asignadas superiores a 36 kV ($U_m=42\text{ kV}$) hasta 150 kV ($U_m=170\text{ kV}$).

UNE 21308-1:1994

Ensayos en alta tensión. Parte 1: Definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos.

UNE-EN 60071-1:2006 (IEC 60071-1:2006)

Coordinación de aislamiento. Parte 1: Definiciones, principios y reglas.

UNE-EN 60228:2005 (IEC 60228:2004)

Conductores de cables aislados.

UNE-EN 60230:2002

Ensayos de impulsos en cables y sus accesorios.

UNE-EN 60332-1-2:2005 (IEC 60332-1-2:2004)

Métodos de ensayo para cables eléctricos y cables de fibra óptica sometidos a condiciones de fuego. Parte 1-2: Ensayo de resistencia a la propagación vertical de la llama para un conductor individual aislado o cable. Procedimiento para llama premezclada de 1 kW.

UNE-EN 60811-1-1:1996 (IEC 60811-1-1:2001)

Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y de cables de fibra óptica. Parte 1: Métodos de aplicación general. Sección 1: Medida de espesores y diámetros exteriores. Determinación de las propiedades mecánicas.

UNE-EN 60811-1-2:1996 (IEC 60811-1-2:1985)

Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y de cables de fibra óptica. Parte 1: Métodos de aplicación general. Sección 2: Métodos de envejecimiento térmico.

UNE-EN 60811-1-3:1996 (IEC 60811-1-3:2001)

Materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y cables de fibra óptica. Métodos de ensayo comunes. Parte 1: Métodos de aplicación general. Sección 3: Métodos para determinar la densidad. Ensayos de absorción de agua. Ensayo de contracción.

UNE-EN 60811-2-1:1999 (IEC 60811-2-1:2001)

Materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y cables de fibra óptica. Métodos de ensayo comunes. Parte 2-1: Métodos específicos para materiales elastoméricos. Ensayo de resistencia al ozono. Ensayo de alargamiento en caliente. Ensayo de resistencia al aceite mineral.

UNE-EN 60811-3-1:1996 (IEC 60811-3-1:1985)

Materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y cables de fibra óptica. Métodos de ensayo comunes. Parte 3: Métodos específicos para mezclas de PVC. Sección 1: Ensayo de presión a temperatura elevada. Ensayo de resistencia a la fisuración.

UNE-EN 60811-4-1:2005 (IEC 60811-4-1:2004)

Materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y cables de fibra óptica. Métodos de ensayos comunes. Parte 4-1: Métodos específicos para las mezclas de polietileno y de polipropileno. Resistencia al agrietamiento por esfuerzos debidos al ambiente. Medida del índice de fluidez en caliente. Determinación del contenido de negro de humo y/o de cargas minerales en el polietileno por combustión directa. Determinación del contenido de negro de humo por análisis termogravimétrico. Evaluación de la dispersión del negro de humo en el polietileno utilizando un microscopio.

UNE-EN 60885-3:2004 (IEC 60885-3:1988)

Métodos de ensayo eléctricos para los cables eléctricos. Parte 3: Métodos de ensayo para medidas de descargas parciales sobre longitudes de cables de potencia extruidos.

UNE HD 605:1995

Métodos de ensayo adicionales para cables eléctricos.

IEC 60060-1:1989

High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements

IEC TR 61901:2005

Development tests recommended on cables with a longitudinally applied metal foil for rated voltages above 30 kV ($U_m=36$ kV).

WG 21.03 Electra 151

Recommendations for electrical tests and development on extruded cables and accessories at voltages > 150 (170) kV and < 400 (420) kV.

WG 21.14 Electra 141

Guidelines for tests on high voltage cables with extruded insulation and laminated protective coverings.

Nota: En el caso de existencia de normas equivalentes UNE ó UNE-EN e IEC, se adoptará como válida la que tenga fecha de edición posterior.
Las fechas indicadas son las vigentes en el momento de redacción de esta norma.

Toda la Normativa de Endesa Distribución aplicable; en particular:

KNE 002 – Norma de empalmes para cables subterráneos de alta tensión

KNE 003 – Norma de terminales para cables subterráneos de alta tensión

3 ABREVIATURAS UTILIZADAS

Las abreviaturas utilizadas en esta norma son:

A	Aplicable
N/A	No aplicable
AT	Alta Tensión
MT	Media Tensión
cc	Corriente continua
ca	Corriente alterna
DP	Descargas Parciales
EPR	Etileno Propileno
PE	Polietileno
XLPE	Polietileno reticulado
MDPE	Polietileno de media densidad
HDPE	Polietileno de alta densidad
Al	Aluminio
Cu	Cobre
O.F.	Orden de fabricación
I _{cc}	Intensidad de cortocircuito

4 DEFINICIONES

Se han adoptado las definiciones siguientes para su utilización en esta Norma:

4.1 Tensiones propias del Cable y sus Accesorios

Los cables de esta Norma se designarán mediante las tensiones U_0/U (U_m) definidas en los apartados siguientes para proporcionar información sobre la compatibilidad con la aparamenta y los transformadores (ver Tabla 1).

Tabla 1: Valores de U, U₀, U_m y U_p normalizados

Tensión asignada U	Tensión más elevada para el material U _m	Valor de U ₀ para determinar la tensión de ensayo U ₀	Tensión soportada a impulsos U _p
kV	kV	kV	kV
45	52	26	250
66	72,5	36	325
132	145	76	650
220	245	127	1050

4.1.1 Tensión U₀

Tensión nominal eficaz a frecuencia industrial, entre cada conductor y la pantalla o la cubierta, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

4.1.2 Tensión U

Tensión nominal eficaz a frecuencia industrial, entre dos conductores cualesquiera para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

4.1.3 Tensión U_m

Tensión máxima eficaz a frecuencia industrial, entre dos conductores cualesquiera, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios. Es el valor eficaz más elevado de la tensión que puede ser soportado en condiciones normales de explotación, en cualquier instante y en cualquier punto de la red. Excluye las variaciones temporales de tensión debidas a condiciones de defecto o a la supresión brusca de cargas importantes.

4.1.4 Tensión U_p

Valor de cresta de la tensión soportada a los impulsos de tipo rayo, aplicada entre cada conductor y la pantalla o cubierta, para el que se han diseñado el cable y sus accesorios.

4.2 **Tensiones propias de la Red en la que se va a utilizar el Cable**

4.2.1 Tensión nominal de la red

Valor eficaz de la tensión entre fases por el que se designa la red y con el que están relacionadas ciertas condiciones de servicio.

4.2.2 Tensión más elevada de una red trifásica

Valor eficaz más elevado de la tensión entre fases que puede aparecer en las condiciones de funcionamiento normales en cualquier instante y en cualquier punto de la red. Excluye los regímenes transitorios de tensión (tales como los ocasionados por maniobras) y las variaciones temporales debidas a condiciones de explotación anormales (tales como las ocasionadas por defectos o por la supresión brusca de cargas importantes).

4.2.3 Sobretensión de rayo

Sobretensión fase-tierra o fase-fase en un lugar determinado de una red, debida a una descarga de rayo (o a otra causa), cuya forma de onda puede considerarse, para la coordinación del aislamiento, como idéntica a la del impulso normalizado (UNE-EN 60071-1) utilizado para los ensayos de tensión soportada a los impulsos de tipo rayo. Generalmente, tales sobretensiones son unidireccionales y de muy corta duración.

4.3 **Definiciones de Valores dimensionales**

4.3.1 Valor nominal

Valor por el que se designa una magnitud, y que es utilizado frecuentemente en tablas. En esta norma, los valores nominales corresponden a los valores que serán comprobados mediante medidas, teniendo en cuenta las tolerancias especificadas.

4.3.2 Valor mediano

Cuando los resultados obtenidos en varios ensayos se ordenan en orden creciente (o decreciente), el valor mediano será el valor central si el número de valores disponibles es impar, y la media aritmética de los dos valores centrales si el número es par.

4.4 **Definiciones concercientes a los Ensayos**

4.4.1 Sistema de cables

En esta norma se entiende por sistema de cables al cable con sus accesorios instalados.

4.4.2 Ensayos individuales

Son ensayos realizados por el fabricante sobre cada componente (longitud de cable) para comprobar que éste cumple las características especificadas, y vienen descritos en el apartado 8.

El no cumplimiento de los resultados prefijados para cada ensayo implicará el rechazo de la pieza ensayada.

4.4.3 Ensayos sobre muestras

Son ensayos realizados por el fabricante sobre muestras de cable completo o componentes obtenidos del cable completo con una frecuencia especificada, para verificar que el producto terminado cumple los requisitos especificados. Estos ensayos vienen descritos en el apartado 9.

Se realizarán sobre muestras de cable tomadas en cada serie de fabricación, de cables del mismo tipo y de igual sección. El número de muestras estará limitado al 10%, redondeado a la unidad superior, del número total de longitudes estipuladas en el contrato determinado.

En el caso de que una de las muestras elegidas no satisfaga alguno de los ensayos previstos en este apartado, se tomarán nuevas muestras sobre otras 2 longitudes de cable del mismo lote y se someterán a los ensayos en los que había fallado previamente. Si estos dos contra-ensayos son satisfactorios, el conjunto de cables del lote podrá ser considerado conforme con las prescripciones específicas. Si no se supera alguno de los contra-ensayos, el lote de cables se considerará no conforme.

4.4.4 Ensayos de tipo

Los ensayos de tipo son ensayos realizados antes del suministro, para una exigencia comercial normal, de un cable o sistema de cables cubierto por esta norma, para demostrar unas características de funcionamiento satisfactorias en las aplicaciones proyectadas. Una vez completados con éxito, estos ensayos no necesitan repetirse a menos que se realicen cambios en los materiales del cable o los accesorios, en el diseño o en el proceso de fabricación, que puedan modificar las características de funcionamiento. Las características de estos ensayos vienen descritas en el apartado 10.

Estos ensayos se clasifican en:

- Ensayos de tipo eléctricos (ver apartados 10.3 y 10.5.2).
- Ensayos de tipo no eléctricos (ver apartado 10.4).

4.4.5 Ensayos de desarrollo

Los cables de alta tensión merecen consideraciones adicionales debido a los siguientes factores:

- Forman parte de la espina dorsal de los sistemas de transporte y, por lo tanto, las consideraciones de fiabilidad son de la máxima prioridad.

- Los cables junto con sus accesorios operan a gradientes eléctricos más elevados que el resto de cables y, por lo tanto, disponen de un margen de seguridad menor respecto a los límites de rendimiento del sistema de cables.
- Los cables y accesorios de alta tensión tienen un espesor de aislamiento mayor y experimentan efectos termo-mecánicos más grandes.
- El diseño y compatibilidad de cables y accesorios es más difícil a medida que se incrementan los niveles de tensión.
- Hay hasta la fecha una experiencia limitada con cables de aislamiento seco para muy alta tensión (EHV).

Hoy en día, los sistemas de cables están cubiertos por ensayos de desarrollo, ensayos de precalificación, ensayos de tipo, ensayos sobre muestras y ensayos individuales. Los detalles y programas de los ensayos de desarrollo, debido a que no están estandarizados, se realizan según el criterio del fabricante.

4.4.6 Ensayos de precalificación

Para cables descritos en el alcance de la presente Norma se considera que, para tener alguna indicación de su fiabilidad a largo plazo, es necesario llevar a cabo ensayos acelerados de larga duración. Estos ensayos se deberían realizar sobre el sistema completo de cables (cable + empalmes + terminales) para demostrar las prestaciones del sistema.

Son ensayos realizados antes del suministro, para una exigencia comercial normal, de un tipo de sistema de cables cubierto por esta norma para demostrar que el comportamiento a largo plazo del sistema de cables completo es satisfactorio. El ensayo de precalificación sólo necesita llevarse a cabo una vez, a menos que haya cambios importantes en el sistema de cable, con respecto a los materiales, al proceso de fabricación o al diseño.

4.4.7 Aplicación de los diferentes tipos de ensayo

Tabla 2: Aplicación de los diferentes tipos de ensayo

U ₀ /U (kV)	26/45	36/66	76/132	127/220
Ensayos individuales	A	A	A	A
Ensayos sobre muestras	A	A	A	A
Ensayos de tipo de un cable	A	A	N/A	N/A
Ensayos de tipo de un sistema de cables	N/A	N/A	A	A
(*) : aplicable en el caso de suministro de sistema de cables				

5 CABLE DE ALTA TENSION

El diseño del cable será, en sus líneas básicas, conforme a lo indicado en la Figura 1.

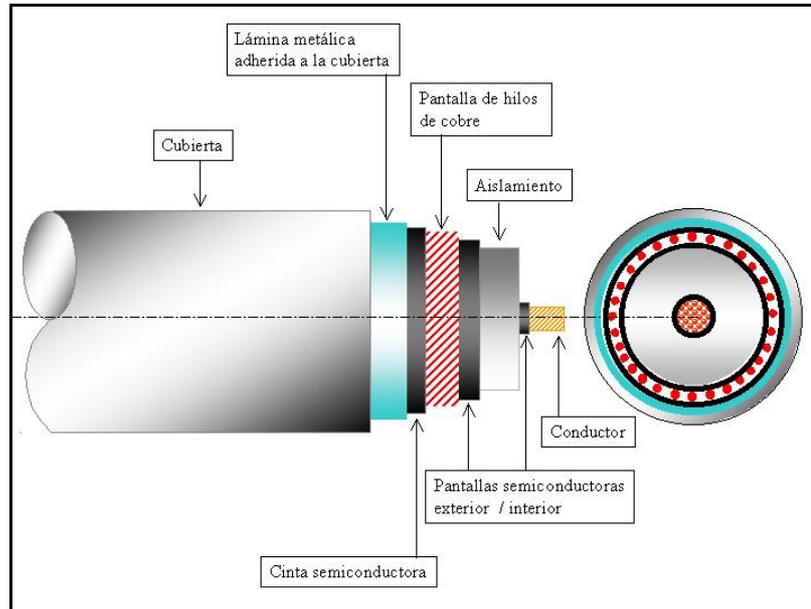


Figura 1: Sección longitudinal y transversal de los cables AT

5.1 Conductor

El conductor será de aluminio o cobre, de sección circular compacta, con obturación longitudinal y de acuerdo a la norma UNE-EN 60228 para secciones hasta 1000 mm² inclusive.

Para secciones superiores a 1000 mm² se usará conductor segmentado (Milliken), con obturación longitudinal, para reducir el efecto pelicular o efecto "skin", que consiste en una distribución no homogénea de la corriente alterna a través de toda la sección del conductor, con zonas de mayor densidad en la periferia que en el centro.

Nota: El conductor Milliken constará de una serie de sectores o segmentos, aislados entre sí para favorecer el paso uniforme de la corriente en cada sector, y con un alma central del mismo material que el empleado para el resto del conductor. En el interior de cada segmento no existirá ninguna barrera de separación de los alambres.

Las secciones normalizadas son las indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3: Secciones de conductor normalizadas

Material	U = 45 kV	U = 66 kV	U = 132 kV	U = 220 kV
Aluminio	400 mm ²	630 mm ²	630 mm ²	
	1000 mm ²	1000 mm ²	1200 mm ²	
Cobre				1000 mm ²
				1600 mm ²
				2000 mm ²

El diámetro del conductor deberá ajustarse al diámetro nominal indicado en la Tabla 4 y, en cualquier caso, estará comprendido en el margen de tolerancias que se indica para garantizar la compatibilidad con los accesorios (empalmes y terminales).

Tabla 4: Valores de diámetros nominales y tolerancias para garantizar la compatibilidad con los accesorios

Material	Sección	Diámetro nominal	Tolerancias
Aluminio	400 mm ²	23,5 mm	23,2 – 23,9 mm
	630 mm ²	30,5 mm	30,1 – 30,9 mm
	1000 mm ²	38,5 mm	38,0 – 38,9 mm
	1200 mm ²	43,5 mm	43,0 – 44,0 mm
Cobre	1000 mm ²	39,5 mm	39,0 – 40,2 mm
	1600 mm ²	51,0 mm	50,5 – 51,6 mm
	2000 mm ²	56,5 mm	55,9 – 57,1 mm

El fabricante deberá precisar en su Documentación Técnica el tipo de cableado de los alambres, su número y su diámetro nominal así como el diámetro del conductor (valores medios y tolerancias) y su resistencia máxima en corriente continua a 20°C. Esta resistencia deberá cumplir con los valores indicados en la Tabla 5.

Tabla 5: Valores de resistencia óhmica en cc a 20°C

Material	Sección	Valor máximo
Aluminio	400 mm ²	0,0778 Ω/km
	630 mm ²	0,0469 Ω/km
	1000 mm ²	0,0291 Ω/km
	1200 mm ²	0,0247 Ω/km
Cobre	1000 mm ²	0,0176 Ω/km
	1600 mm ²	0,0113 Ω/km
	2000 mm ²	0,009 Ω/km

La verificación de la resistencia lineal en corriente continua a 20°C se efectuará de acuerdo con los procedimientos descritos en la presente Norma.

Los valores de I_{CC} en el conductor serán los indicados en la Tabla 6.

Tabla 6: Intensidades de cortocircuito normalizadas para el conductor

Sección (mm ²)	Intensidad I _{CC}	
	kA	tiempo
400 Al	53	0,5 segundos
630 Al	84	
1000 Al	133	
1200 Al	160	
1000 Cu	202	
1600 Cu	323	
2000 Cu	404	

5.2 Pantalla Semiconductora sobre el Conductor

Para asegurar que el conductor presenta una superficie lisa al aislamiento, se dispondrá sobre el conductor o sobre una cinta semiconductora de empaquetamiento una capa de compuesto semiconductor extruido.

Esta pantalla ha de ser continua, de espesor medio constante, no presentar ninguna aspereza y estar perfectamente adherida al aislamiento en toda su circunferencia en las condiciones de servicio, de manera que durante los cambios de temperatura que ocurren durante el mismo no se desarrollen espacios o vacuolas entre la pantalla y el aislamiento, en los que podrían generarse descargas parciales. No debe tener ninguna acción perjudicial para la buena conservación de los elementos del cable en contacto con ella y, en particular, no contener ningún producto nocivo susceptible de ser difundido en el aislamiento. Esta propiedad se verifica, entre otras, por ensayos de compatibilidad definidos en el apartado 10.4.4 de la presente Norma.

Los materiales usados como semiconductores, además de estar exentos de contaminaciones iónicas, deben producir una interfase superlisa con el aislamiento, exenta de cualquier tipo de rugosidad, ya que si penetra en el aislamiento en forma de protuberancia se incrementará el gradiente eléctrico en el aislamiento.

Esta pantalla sirve además para uniformizar el campo eléctrico a nivel de conductor.

El espesor de esta pantalla será el indicado en la Tabla 7.

Tabla 7: Espesores nominales para la pantalla sobre el conductor

Tensión U	Sección	Espesor nominal	Diámetro nominal ¹
45 kV	400 mm ² Al	1,2 mm	25,9 mm
	1000 mm ² Al	1,5 mm	41,5 mm
66 kV	630 mm ² Al	1,2 mm	32,9 mm
	1000 mm ² Al	1,5 mm	41,5 mm
132 kV	630 mm ² Al	1,5 mm	33,5 mm
	1200 mm ² Al	1,5 mm	46,5 mm
220 kV	1000 mm ² Cu	1,5 mm	42,5 mm
	1600 mm ² Cu	1,5 mm	54,0 mm
	2000 mm ² Cu	1,5 mm	59,5 mm

5.3 Aislamiento

El aislamiento que se utilizará para la elaboración de los cables de acuerdo a la presente Norma será seco del tipo termoestable de polietileno reticulado (XLPE).

Las bajas pérdidas dieléctricas del PE y del XLPE en comparación con otros materiales, hacen que sean aptos para la producción de cables de alta tensión (hoy en día se utiliza el XLPE hasta tensiones de 500 kV).

¹ Estos diámetros nominales son suponiendo que no exista cinta de empaquetamiento. En el caso de existir, el diámetro se vería incrementado en 2x espesor de la cinta.

La mayor ventaja del XLPE sobre el PE es que el cable aislado con XLPE puede trabajar a más altas temperaturas (90°C para el XLPE frente a 70°C para el PE), y este hecho tiene un efecto muy importante sobre la intensidad admisible que el cable puede transportar.

Tabla 8: Temperaturas máximas para el conductor según el material de aislamiento

Compuesto aislante	Temperatura máxima del conductor °C		
	Funcionamiento normal	Sobrecarga de seguridad (1)	Cortocircuito (duración máx 5s)
Polietileno reticulado (XLPE)	90	100	250

(1) La duración media de las sobrecargas anuales durante la vida de un cable no puede exceder las 72 horas, sin que se puedan superar las 216 horas dentro del mismo período

El aislamiento deberá constituir una envoltura homogénea, continua y compacta en torno a cada conductor, perfectamente adherida a la capa semiconductor y libre de grumos, oclusiones, vacuolas u otros defectos; además, debe tener el nivel más bajo posible de contaminaciones y disponer de una buena circularidad y concetricidad para minimizar las variaciones de gradiente y facilitar un preciso ensamblaje de los accesorios.

El espesor del aislamiento y los gradientes a utilizar serán los indicados en la Tabla 9.

Tabla 9: Espesores nominales para el aislamiento y gradientes asociados

Tensión U	Sección	Espesor nominal	Gradiente kV/mm (*)
45 kV	400 mm ² Al	7,0 mm	C: 4,7 / A: 3,0
	1000 mm ² Al	7,0 mm	C: 4,3 / A: 3,2
66 kV	630 mm ² Al	9,0 mm	C: 5,0 / A: 3,2
	1000 mm ² Al	9,0 mm	C: 4,8 / A: 3,4
132 kV	630 mm ² Al	16,0 mm	C: 6,8 / A: 3,5
	1200 mm ² Al	16,0 mm	C: 6,2 / A: 3,7
220 kV	1000 mm ² Cu	21,0 mm	C: 8,8 / A: 4,4
	1600 mm ² Cu	21,0 mm	C: 8,2 / A: 4,6
	2000 mm ² Cu	21,0 mm	C: 8,0 / A: 4,7

(*) C: gradiente en pantalla sobre conductor / A: gradiente en pantalla sobre aislamiento

El diámetro sobre el aislamiento deberá ajustarse al diámetro nominal indicado en la Tabla 10 y, en cualquier caso, estará comprendido en el margen de tolerancias que se indica para garantizar la compatibilidad con los accesorios (empalmes y terminales).

Tabla 10: Valores de diámetros nominales y tolerancias para garantizar la compatibilidad con los accesorios

Tensión U	Sección	Diámetro nominal	Tolerancias
45 kV	400 mm ² Al	40,0 mm	39,4 – 41,0 mm
	1000 mm ² Al	56,5 mm	55,8 – 57,5 mm
66 kV	630 mm ² Al	52,0 mm	51,5 – 53,0 mm
	1000 mm ² Al	60,5 mm	60,0 – 61,5 mm
132 kV	630 mm ² Al	65,5 mm	64,5 – 66,5 mm
	1200 mm ² Al	79,0 mm	78,0 – 80,2 mm
220 kV	1000 mm ² Cu	85,5 mm	84,9 – 87,0 mm
	1600 mm ² Cu	96,5 mm	95,5 – 97,5 mm
	2000 mm ² Cu	102,5 mm	102,0 – 104,0 mm

5.4 Pantalla Semiconductora sobre el Aislamiento

Para asegurar que el campo eléctrico queda confinado en el aislamiento, se dispondrá sobre el mismo un recubrimiento de naturaleza semiconductora, extruido y adherido al aislamiento, para evitar la formación de una capa de aire ionizable entre la pantalla y la superficie de aislamiento.

Esta pantalla ha de ser continua, de espesor medio constante, no presentar ninguna aspereza y estar perfectamente adherida al aislamiento en toda su circunferencia en las condiciones de servicio, de manera que durante los cambios de temperatura que ocurren durante el mismo no se desarrollen espacios o vacuolas entre la pantalla y el aislamiento, en los que podrían generarse descargas parciales. No debe tener ninguna acción perjudicial para la buena conservación de los elementos del cable en contacto con ella y, en particular, no contener ningún producto nocivo susceptible de ser difundido en el aislamiento. Esta propiedad se verifica, entre otras, por ensayos de compatibilidad definidos en el apartado 10.4.4 de la presente Norma.

En general, el material usado y sus propiedades deben ser similares a las descritas en el apartado 5.2. El espesor de esta pantalla será el indicado en la Tabla 11.

Tabla 11: Espesores nominales para la pantalla sobre aislamiento

Tensión U	Sección	Espesor nominal	Diámetro nominal
45 kV	400 mm ² Al	1,0 mm	42,0 mm
	1000 mm ² Al	1,0 mm	58,5 mm
66 kV	630 mm ² Al	1,0 mm	54,0 mm
	1000 mm ² Al	1,0 mm	62,5 mm
132 kV	630 mm ² Al	1,5 mm	68,5 mm
	1200 mm ² Al	1,5 mm	82,0 mm
220 kV	1000 mm ² Cu	1,5 mm	88,5 mm
	1600 mm ² Cu	1,5 mm	99,5 mm
	2000 mm ² Cu	1,5 mm	105,5 mm

5.5 Proceso de Extrusión

La extrusión se debe realizar por medio de un cabezal triple, donde se aplican las 3 capas extruidas (semiconductora sobre el conductor, aislamiento y semiconductora sobre el aislamiento) simultáneamente. Esto garantiza interfases lisas entre el aislamiento y las pantallas semiconductoras, que resulta esencial en cables de alta tensión. La reticulación se debe realizar en seco en atmósfera de gas inerte (por ejemplo N₂) para evitar el contacto con el agua. La etapa posterior de enfriamiento puede llevarse a cabo con N₂ o con agua, siendo preferible la primera, principalmente para cables de tensiones elevadas.

Para asegurar el posterior uso de accesorios prefabricados durante la instalación, es importante que la geometría del cable se mantenga dentro de unos límites adecuados y el fabricante deberá disponer de los medios adecuados para garantizarlo.

Hay que hacer notar que la rigidez dieléctrica intrínseca de los materiales poliméricos utilizados como aislantes es varios órdenes de magnitud mayor que los valores de perforación encontrados en la práctica en el cable acabado. Por ejemplo, la rigidez dieléctrica de un film de polietileno está en torno a los 500 kV/mm, mientras que la ruptura dieléctrica de un cable es cercana a la décima parte de este valor.

En gran medida, este efecto es debido a que el comportamiento de un cable viene determinado no sólo por las características del material empleado, sino también por el proceso de fabricación utilizado y los defectos que se pueden producir en él, tales como:

- partículas contaminantes procedentes de la materia prima,
- contaminaciones durante la manipulación del material,
- extensiones y protuberancias de las pantallas semiconductoras,
- interfaces rugosas entre los semiconductores y el aislamiento,
- excentricidad del aislamiento,
- micro-vacuolas producidas durante el proceso de reticulación,
- daños mecánicos,
- etc.

Debido a estas consideraciones, los fabricantes deben seleccionar los materiales más adecuados y de alta pureza y disponer de procesos de producción con altos estándares de control que deberán:

- Asegurar que durante la manipulación de los compuestos no se producen contaminaciones, utilizando salas limpias sobrepresurizadas y, por ejemplo, alimentaciones independientes y vertido por vacío y/o gravedad de los diferentes materiales en las extrusoras.
- No permitir contaminaciones mayores de 50 µm utilizando, por ejemplo, un sistema automático de detección de contaminantes.
- Asegurar la ausencia de partículas metálicas mayores de 70 µm en el material utilizando, por ejemplo, un detector de metales con esta precisión.
- Verificar que la construcción del cable satisface las especificaciones de diseño utilizando equipos de rayos-X que puedan medir con precisión y

de manera continuada los espesores y diámetros de las diferentes capas extruidas y la concentricidad, pudiendo además acompañarse de otros sistemas tales como dispositivos que detecten automáticamente y de forma continua cualquier marca o irregularidad en las superficies extruidas.

Además de los mencionados, el fabricante utilizará todos los controles adicionales que considere útiles para asegurar la calidad del producto final.

En principio se aceptan los dos métodos más comunes para la extrusión (vertical y catenaria), pero el fabricante deberá informar sobre el método utilizado en la fabricación del cable.

Después de la reticulación, y antes de la colocación de la pantalla metálica, el cable se ha de colocar en cámaras de desgasificación hasta que la mayor parte del gas metano (este gas se produce durante el proceso de reticulación) haya sido eliminado; este proceso puede durar varios días e incluso semanas. El fabricante deberá tener bien establecido y garantizado el procedimiento utilizado para asegurar la eliminación del gas debiendo disponer de los registros que acrediten la temperatura y el tiempo de permanencia de cada bobina en la cámara.

5.6 Pantalla Metálica

La pantalla metálica será de hilos de cobre recocido colocados helicoidalmente y con una contraespira de fleje de cobre, y deberá actuar como camino de retorno de las corrientes de carga capacitivas e inducidas bajo las condiciones normales de funcionamiento. Además, deberá permitir la circulación de las corrientes de cortocircuito definidas en la Tabla 12.

Tabla 12: Intensidades de cortocircuito normalizadas para las pantallas

Tensión U	Intensidad I_{CC}	
	kA	tiempo
45	9,3	0,5 segundos
66	18	
132	23	
220	38	

En la Tabla 13 se indican las secciones que deben tener las pantallas. Estas secciones serán sin contar la contraespira ni la lámina adherida a la cubierta. El fabricante deberá informar sobre el número de hilos y el diámetro de cada hilo que emplee para la constitución de la pantalla.

Tabla 13: Secciones de las pantallas normalizadas para utilizar en cables de alta tensión y su resistencia óhmica

Tensión U	Sección de pantalla	Valor máximo
45 kV	50 mm ²	0,357 Ω/km
66 kV	95 mm ²	0,188 Ω/km
132 kV	120 mm ²	0,149 Ω/km
220 kV	200 mm ²	0,086 Ω/km

5.7 Cinta Hinchable

Se obturará la pantalla para evitar la propagación longitudinal del agua. Esta obturación se realizará debajo de los hilos de cobre mediante la colocación de una cinta semiconductor hinchable, o similar, en hélice cerrada (solapada). Además, por encima de los hilos de cobre se colocará otra cinta semiconductor hinchable en hélice abierta para permitir el contacto entre la pantalla de hilos de cobre y la lámina metálica adherida a la cubierta exterior.

5.8 Cubierta

Sobre la pantalla metálica o sobre la cinta semiconductor hinchable se dispondrá una cubierta. La cubierta constará de una lámina metálica de cobre o aluminio con material copolímero únicamente en su cara externa para asegurar su correcta adhesión a la cubierta exterior tipo ST7, de poliolefina extruida (MDPE o HDPE) resistente a los rozamientos. De esta manera, el conjunto:

- Contribuye a asegurar una protección mecánica del cable contra impactos y corrosiones.
- Contribuye a asegurar la estanqueidad del cable en sentido radial.

El color de la cubierta será homogénea y de color negro y estará, o bien grafitada, o bien dispondrá de una capa semiconductor extruida para dar continuidad eléctrica a la superficie exterior y permitir la realización del ensayo sobre la cubierta del cable descrito en la presente Norma y en la Norma KME 002: "Ensayos de Puesta en Servicio en Instalaciones Subterráneas de Alta Tensión".

La cubierta será además adecuada para que el cable tenga la propiedad de resistencia a la propagación de la llama según la Norma UNE-EN 60332-1-2.

El espesor de la cubierta y de la lámina metálica será el indicado en la Tabla 14.



Tabla 14: Espesores nominales para la cubierta del cable

Tensión U kV	Sección mm ²	Espesor nominal	
		Lámina metálica	Cubierta exterior
45	400 mm ² Al	0,1 mm	3,0 mm
	1000 mm ² Al	0,1 mm	3,5 mm
66	630 mm ² Al	0,1 mm	3,0 mm
	1000 mm ² Al	0,1 mm	3,5 mm
132	630 mm ² Al	0,1 mm	3,5 mm
	1200 mm ² Al	0,1 mm	3,8 mm
220	1000 mm ² Cu	0,1 mm	4,0 mm
	1600 mm ² Cu	0,1 mm	4,5 mm
	2000 mm ² Cu	0,1 mm	4,5 mm

5.9 Consideraciones frente al Fuego

El cable será no propagador de la llama, conforme a la Norma UNE-EN 60332-1-2, requiriéndose para ello el ensayo descrito en el apartado 10.4.9.

Además el cable, debido a su composición, es exento de halógenos.

5.10 Esfuerzos de Tiro y Presión Lateral durante el Tendido

Los cables descritos en la presente Norma han de ser capaces de soportar los esfuerzos de tiro durante el tendido indicados en la Tabla 15 y la presión lateral indicada en la Tabla 16.

Tabla 15: Esfuerzos de tiro admisibles

Tensión U kV	Sección mm ²	Esfuerzos de tracción admisibles	
		Unitario	Total
45	400 mm ² Al	3 daN/mm ²	1200 daN
	1000 mm ² Al	3 daN/mm ²	3000 daN
66	630 mm ² Al	3 daN/mm ²	1890 daN
	1000 mm ² Al	3 daN/mm ²	3000 daN
132	630 mm ² Al	3 daN/mm ²	1890 daN
	1200 mm ² Al	3 daN/mm ²	3600 daN
220	1000 mm ² Cu	6 daN/mm ²	6000 daN
	1600 mm ² Cu	6 daN/mm ²	9600 daN
	2000 mm ² Cu	6 daN/mm ²	12000 daN

Tabla 16: Presión lateral

Tendido en tubular	1000 daN/m
Tendido sobre rodillos	150 daN/rodillo

5.11 Radios de Curvatura durante el Tendido

Los cables descritos en la presente Norma han de ser capaces de soportar los radios de curvatura descritos en la Tabla 17.

Tabla 17: Radios de curvatura

	Durante el tendido	Instalación acabada
Radio de curvatura	20 x Diámetro exterior cable	15 x Diámetro exterior cable

6 GENERALIDADES DE SUMINISTRO

6.1 Marcaje e Identificación del Cable

Sobre la cubierta del cable debe estar marcado y ser fácilmente legible lo siguiente:

- Referencia a la presente norma,
- Nombre del fabricante,
- Tensión asignada U_0/U (U_m) en kV,
- Material aislante,
- Sección (en mm^2) y material del conductor,
- Sección (en mm^2) y material de la pantalla,
- Año de fabricación (dos últimas cifras),
- Número de orden de fabricación.

Además, el metraje del cable irá marcado metro a metro en la cubierta.

El marcaje se debe realizar sobre la cubierta exterior por impresión en relieve sobre dos generatrices diametralmente opuestas. La distancia entre dos marcas consecutivas no deberá ser mayor a un metro y la altura mínima de los caracteres deberá ser de 4 mm.

Por ejemplo, un cable conforme a esta norma, de 132 kV y 1200 mm^2 de sección de aluminio y con pantalla de 120 mm^2 , fabricado en el año 2008 irá marcado de la siguiente manera:

Endesa KNE 001- Fabricante - 76/132 (145) kV - XLPE - 1x1200 Al + H120 - 08- N° O.F.

6.2 Marcaje e Identificación de las Bobinas del Cable

Sobre la bobina del cable debe estar marcado lo siguiente:

- Número de la bobina
- Referencia a la presente norma,
- Nombre del fabricante,
- Sección (en mm^2) y material del conductor,
- Material aislante,

- Sección (en mm²) y material de pantalla,
- Tensión asignada U_0/U (U_m) en kV,
- Año de fabricación (dos últimas cifras),
- Número de orden de fabricación,
- Longitud de cable en metros,
- Dirección de rotación de la bobina (con una flecha),
- Peso bruto y neto de la bobina.

6.3 Características de las Bobinas del Cable

Las bobinas deberán ser capaces de aguantar el peso del cable a transportar sin que sufran deformaciones de la misma que dañen al cable ubicado en su interior. Además, deberán estar diseñadas para asegurar el suministro del cable a obra mediante transporte por camión o movimientos de izamiento mediante grúas o carretillas elevadoras.

El tambor de la bobina deberá ser adecuado para soportar el peso del cable y para respetar el radio mínimo de curvatura del cable. Las bobinas serán de hierro para cables de tensiones $U_0/U = 76/132$ kV y $127/220$ kV, y podrán ser de madera o hierro para el resto de tensiones. Además, las bobinas deberán estar adaptadas para el transporte marítimo.

7 CONDICIONES DE ENSAYO

7.1 Temperatura ambiente

A no ser que se especifique lo contrario en las condiciones particulares de un ensayo, los ensayos se realizarán a temperatura ambiente de $20 \pm 15^\circ\text{C}$.

7.2 Frecuencia y Forma de Onda de las Tensiones en el Ensayo a Frecuencia Industrial

La frecuencia de los ensayos de tensión alterna, no debe ser ni inferior a 49 Hz ni superior a 61 Hz. La forma de la onda de estas tensiones debe ser prácticamente senoidal. Los valores de tensiones de ensayo indicados son valores eficaces.

7.3 Forma de Onda de la Tensión en el Ensayo de Impulso de Tensión Tipo Rayo

De acuerdo con la Norma UNE-EN 60230 el impulso de tensión tipo rayo normalizado debe tener un frente de onda con una duración comprendida entre 1 y $5\mu\text{s}$. El tiempo para alcanzar el valor medio debe ser de $50 \pm 10\mu\text{s}$ como se especifica en la Norma UNE 21308-1.

7.4 Relación entre las Tensiones de Ensayo y las Tensiones Asignadas

Donde las tensiones de ensayo están especificadas en esta norma como múltiplo de la tensión asignada U_0 , el valor de U_0 para la determinación de dichas tensiones debe ser el especificado en las Tabla 18, 19 y 24.

7.5 Determinación de la Temperatura del Conductor del Cable

Se recomienda utilizar uno de los métodos de medida descritos en el Anexo A de la norma IEC 60840.

8 ENSAYOS INDIVIDUALES EN CABLES

Los ensayos siguientes deben ser realizados en cada longitud de cable fabricada.

- a) Ensayo de descargas parciales (ver apartado 8.1)
- b) Ensayo de tensión (ver apartado 8.2)
- c) Ensayo eléctrico de la cubierta exterior del cable (ver apartado 8.3)

8.1 Ensayo de Descargas Parciales

El ensayo de descargas parciales se debe realizar sobre los cables, de acuerdo con la Norma UNE-EN 60885-3, excepto que la sensibilidad, tal como se define en la norma, debe ser de 5 pC o mejor.

La tensión de ensayo debe aumentarse gradualmente hasta $1,75 U_0$ y mantenerse durante 10 s, para reducirla luego lentamente hasta $1,5 U_0$ (ver Tabla 18).

No deben detectarse descargas parciales procedentes del cable que excedan el valor de 5 pC a $1,5 U_0$.

Tabla 18: Tensiones de ensayo para el ensayo de descargas parciales

Tensión U	Tensión U_m	Tensión U_0	Ensayo de descargas parciales	
			$1,5 U_0$	$1,75 U_0$
kV	kV	kV	kV	kV
45	52	26	39	46
66	72,5	36	54	63
132	145	76	114	133
220	245	127	190	222

8.2 Ensayo de Tensión

El ensayo de tensión se debe llevar a cabo a temperatura ambiente (ver apartado 7.1), aplicando una tensión alterna a frecuencia industrial. La tensión de ensayo aplicada entre el conductor y la pantalla metálica se debe aumentar progresivamente hasta alcanzar el valor especificado, y se mantendrá en este valor durante el tiempo especificado, de acuerdo con la Tabla 19.

Tabla 19: Tensiones de ensayo para el ensayo de tensión

Tensión U	Tensión U _m	Tensión U ₀	Ensayo de tensión	
			Tensión (2,5 U ₀)	Duración
kV	kV	kV	kV	min
45	52	26	65	30
66	72,5	36	90	30
132	145	76	190	30
220	245	127	318	30

No debe producirse perforación del aislamiento.

8.3 Ensayo Eléctrico de la Cubierta Exterior del Cable

Se debe aplicar durante 1 minuto una tensión continua de 8 kV por milímetro de espesor nominal especificado de la cubierta exterior extruida, entre la pantalla y la capa conductora exterior, hasta una tensión máxima de 25 kV.

No debe producirse perforación en la cubierta del cable.

9 ENSAYOS SOBRE MUESTRA DE CABLE

Los ensayos siguientes deben efectuarse sobre muestras que, para los ensayos de los puntos b) y i), pueden ser cables completos enrollados en bobinas representativos de los lotes.

- a) Examen del conductor (ver apartado 9.1).
- b) Medida de la resistencia eléctrica del conductor y de la pantalla metálica (ver apartado 9.2).
- c) Medida del espesor de aislamiento y de la cubierta exterior (ver apartado 9.3).
- d) Medida del espesor de las pantallas semiconductoras (ver apartado 9.3).
- e) Medida de los diámetros (ver apartado 9.4).
- f) Ensayo de alargamiento en caliente del aislamiento (ver apartado 9.5).
- g) Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas del aislamiento antes del envejecimiento (ver apartado 9.6).

- h) Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas de la cubierta exterior antes del envejecimiento (ver apartado 9.7).
- i) Medida de la capacidad (ver apartado 9.8).
- j) Ensayo de contracción del aislamiento (ver apartado 9.9).
- k) Ensayo bajo condiciones de fuego (ver apartado 9.10).
- l) Ensayo de impulso de tensión tipo rayo seguido de un ensayo de tensión a frecuencia industrial (ver apartado 9.11).
- m) Ensayo de penetración de agua (ver Anexo C).
- n) Inspección visual (ver apartado 9.12).
- o) Fuerza de adherencia de la lámina metálica (ver apartado 9.13).
- p) Resistencia al despegado de la superposición de la lámina metálica (ver apartado 9.14)

Los ensayos de muestras de los puntos a) al j) de este apartado, se deben realizar sobre una longitud de cable de cada lote de fabricación y de la misma sección, pero deben estar limitadas a no más del 10% del número de longitudes estipuladas en cualquier contrato, redondeando al número entero superior.

El ensayo del punto k) deberá realizarse sobre una muestra para lotes de bobinas superiores a 10 km.

La frecuencia de los ensayos de los puntos l), m), n), o) y p) se debe llevar a cabo en base a lo indicado en la Tabla 20.

Tabla 20: Frecuencia de los ensayos de muestreo

Tamaño (longitud de cable)	Número de muestras
> 4 km y ≤ 20 km	1
> 20 km	2

9.1 Examen del Conductor

La conformidad con los requisitos de la Norma UNE-EN 60228 o a la construcción declarada del conductor debe ser verificada mediante inspección y medida.

9.2 Medida de la Resistencia Eléctrica del Conductor y de la Pantalla Metálica

La longitud del cable completo, o una muestra tomada de él, se debe colocar en la sala de ensayo y mantener a una temperatura razonablemente constante, como mínimo, durante 12 h antes del ensayo. Si existe duda en cuanto a que la temperatura del conductor o de la pantalla metálica sea igual a la de la sala, la resistencia del conductor debe medirse después de una permanencia, como mínimo, de 24 h en la sala de ensayo. La resistencia puede medirse alternativamente en una muestra del conductor o

de la pantalla metálica acondicionada durante 1 h, como mínimo, en un baño a temperatura regulada.

La resistencia del conductor o de la pantalla metálica en cc debe corregirse para una temperatura de 20°C, y una longitud de 1 km, de acuerdo con las fórmulas y factores dados en la Norma UNE-EN 60228.

La resistencia del conductor en cc a 20°C, no debe ser superior al valor máximo correspondiente indicado en la Tabla 5.

La resistencia de la pantalla en cc a 20°C, no debe ser superior al valor máximo correspondiente indicado en la Tabla 13.

9.3 Medida del Espesor de Aislamiento, de las Pantallas Semiconductoras y de la Cubierta exterior del Cable

El método de ensayo debe estar de acuerdo con lo establecido en el capítulo 8 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

Cada longitud de cable seleccionada para el ensayo debe estar representada por una muestra tomada de un extremo, después de ser eliminada, si fuese necesario, cualquier posición que hubiera sido dañada.

9.3.1 Requisitos para el aislamiento

El espesor medio mínimo medido no debe ser inferior al espesor nominal indicado en la Tabla 9.

El espesor mínimo medido no debe ser inferior al 92% del espesor nominal indicado en la Tabla 9:

$$e_{\text{mín}} \geq 0,92 \cdot e_n$$

y además, como criterio de concentricidad del cable, se deberá cumplir:

$$\frac{e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}}}{e_{\text{máx}}} \leq 0,10$$

donde

$e_{\text{máx}}$ es el espesor máximo, en milímetros
 $e_{\text{mín}}$ es el espesor mínimo, en milímetros
 e_n es el espesor nominal, en milímetros

Nota: $e_{\text{máx}}$ y $e_{\text{mín}}$ se miden en una misma sección transversal del aislamiento.

El espesor de las pantallas semiconductoras en el conductor y en el aislamiento no se debe incluir en el espesor del aislamiento.

9.3.2 Requisitos de las pantallas semiconductoras

Los espesores medios de las capas extruidas en contacto con el aislamiento deben ser los indicados como espesores nominales en las Tabla 7 y Tabla 11.

9.3.3 Requisitos de la cubierta exterior del cable

El espesor mínimo medido no debe ser inferior al espesor nominal indicado en la Tabla 14 en más de 0,1 mm + 15% del espesor nominal:

$$e_{\min} \geq e_n - (0,1 + 0,15 \cdot e_n) = 0,85 \cdot e_n - 0,1$$

donde:

e_{\min} es el espesor mínimo, en milímetros
 e_n es el espesor nominal, en milímetros

Además, para las cubiertas exteriores aplicadas sobre una superficie prácticamente lisa, la media de los valores medidos redondeada a 0,1mm, (de acuerdo con el Anexo A de la Norma UNE 211004), no debe ser inferior al espesor nominal.

9.4 **Medida de los Diámetros**

Se deben realizar las mediciones de los siguientes diámetros:

- diámetro sobre el conductor,
- diámetro sobre el aislamiento,
- diámetro exterior del cable

Estas medidas se realizarán de acuerdo con el apartado 8.3 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

Los valores medidos en el conductor y el aislamiento no deben exceder de los límites de tolerancias indicados en las Tablas 4 y 10 respectivamente.

9.5 **Ensayo de Alargamiento en Caliente del Aislamiento**

El muestreo y el método de ensayo se deben realizar de acuerdo con el capítulo 9 de la Norma UNE-EN 60811-2-1, empleando las condiciones de ensayo establecidas en la Tabla 21.

Las probetas tipo halterio se deben extraer de la parte del aislamiento donde se considere que el grado de reticulación es más débil de acuerdo con el procedimiento de reticulación empleado.

Los resultados del ensayo deben cumplir los requisitos de la Tabla 21.

Tabla 21: Requisitos de ensayo para el alargamiento en caliente del aislamiento (Hot Set)

Ensayo	Requisitos de ensayo
Ensayo de alargamiento en caliente para aislamiento XLPE Norma UNE-EN 60811-2-1, capítulo 9	
Tratamiento:	
Temperatura del aire	200 °C
Tolerancia	± 3 °C
Tiempo bajo carga	15 minutos
Esfuerzo mecánico	20 N/cm ²
Alargamiento máximo bajo carga	175 %
Alargamiento máximo permanente después de enfriamiento	15 %

9.6 Ensayo de Determinación de las Propiedades mecánicas del Aislamiento antes del Envejecimiento

El muestreo y la preparación de las muestras deben efectuarse de acuerdo con el apartado 9.1 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

El acondicionamiento y la medición de las propiedades mecánicas deben efectuarse asimismo de acuerdo con ese apartado.

Los resultados de los ensayos sobre muestras antes del envejecimiento deben satisfacer los requisitos de la Tabla 22.

Tabla 22: Requisitos de ensayo para el aislamiento de los cables antes del envejecimiento

	Unid.	XLPE
Temperatura máxima del conductor en funcionamiento normal	°C	90
Sin envejecimiento UNE-EN 60811-1-1, apartado 9.1		
Resistencia a la tracción mínima	N/mm²	12,5
Alargamiento mínimo hasta la rotura	%	200

9.7 Ensayo de Determinación de las Propiedades mecánicas de la Cubierta antes del Envejecimiento

El muestreo y la preparación de las muestras deben efectuarse de acuerdo con el apartado 9.2 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

El acondicionamiento y la medición de las propiedades mecánicas deben efectuarse asimismo de acuerdo con ese apartado.

Los resultados de los ensayos sobre muestras antes y después de envejecimiento deben satisfacer los requisitos de la Tabla 23.

Tabla 23: Requisitos de ensayo para la cubierta exterior de los cables antes del envejecimiento

Designación del compuesto	Unid.	ST ₇
Sin envejecimiento UNE-EN 60811-1-1, apartado 9.1		
Resistencia a la tracción mínima	N/mm²	12,5
Alargamiento mínimo hasta la rotura	%	300

9.8 Medida de la Capacidad

La capacidad se debe medir entre el conductor y la pantalla. El valor medido no debe exceder en más del 8% del valor nominal especificado por el fabricante.

9.9 Ensayo de Contracción del Aislamiento

Durante el proceso de extrusión del cable se calientan el aislamiento de XLPE y la cubierta de PE. Al enfriarse estos materiales sufren una contracción térmica, causando en el aislamiento una fuerza de presión sobre el conductor y experimentando un estrés longitudinal.

Este estrés queda liberado localmente en el momento en que se corta el cable para la realización de empalmes y terminales por ejemplo, provocando una retracción del material aislante sobre el conductor.

El ensayo de contracción debe efectuarse utilizando las muestras y el método operativo descritos en la Norma UNE-EN 60811-1-3 y las condiciones de ensayo de la Tabla 24.

Tabla 24: Ensayo de contracción del aislamiento

Ensayo	Unidades	Aislamiento XLPE
Longitud de muestra a ensayar	mm	200
Temperatura	°C	130 ± 3
Duración	h	6
Contracción máxima permitida	%	4

Las retracciones del aislamiento no sobrepasarán los valores indicados en la Tabla 24.

9.10 Ensayo bajo Condiciones de Fuego

Este ensayo se realizará de acuerdo con la Norma UNE-EN 60332-1-2 y se llevará a cabo sobre una muestra de cable completo para lotes de bobinas de más de 10 km. Esta norma establece asimismo los requisitos que deben cumplirse para considerar el ensayo satisfactorio.

El aparato de ensayo a utilizar y la fuente de ignición serán los especificados en la norma UNE-EN 60332-1-1.

9.11 Ensayo de Impulso de Tensión tipo Rayo seguido de un Ensayo de Tensión a Frecuencia Industrial

El ensayo se debe realizar sobre un cable completo de 10 m de longitud, como mínimo, sin incluir los accesorios de ensayo, a una temperatura de conductor entre 5 y 10°C por encima de la temperatura máxima del conductor en funcionamiento normal.

El impulso de tensión se debe aplicar de acuerdo con los procedimientos dados en la Norma UNE-EN 60230. El cable debe soportar, sin fallo, 10 impulsos positivos y 10 impulsos negativos de tensión de los valores correspondientes de la Tabla 25.

Después del ensayo de impulso de tensión, la muestra de cable debe ser sometida a un ensayo de tensión a frecuencia industrial según los valores de la Tabla 25 (2 U_0 durante 15 minutos para tensiones superiores a 150 kV y de 2,5 U_0 durante 15 minutos para tensiones inferiores a 150 kV). Este ensayo puede realizarse durante el período de enfriamiento, o a temperatura ambiente, a elección del fabricante.

No debe producirse perforación del aislamiento.

Tabla 25: Tensiones de ensayo para los ensayos de impulso y frecuencia industrial

Tensión U	Tensión U_m	Tensión U_0	Ensayo de impulso de tensión	Ensayo de tensión tras el ensayo de impulso	
				Tensión	Duración
kV	kV	kV	kV	kV	Min
45	52	26	N/A	N/A	N/A
66	72,5	36			
132	145	76	650	190	15
220	245	127	1050	254	15

Nota: Este ensayo es considerado de tipo, y no de muestreo, para las tensiones inferiores o iguales a 66 kV.

9.12 Inspección visual

Se diseccionará el cable y se examinará visualmente para detectar cualquier signo de agrietamiento, de sobrecalentamiento o de separación de la lámina metálica o cualquier otro signo de deterioro de cualquier otra parte del cable.

Nota: Esta inspección es obligatoria únicamente para las tensiones de 132 y 220 kV.

9.13 Fuerza de Adherencia de la Lámina metálica

La muestra de ensayo se deberá tomar de una parte de la cubierta donde la lámina metálica esté adherida.

La longitud y la anchura de la muestra deben ser 200 mm y 10 mm respectivamente.

Un extremo de la muestra a ensayar se deberá despegar entre 50 y 120 mm y se deberá insertar en una máquina de tracción sujetando el extremo libre de la cubierta plástica en unas mordazas. El extremo libre de la lámina metálica se deberá girar y sujetar en las otras mordazas tal y como muestra la Figura 2.

La muestra se mantendrá aproximadamente vertical en el plano de las mordazas durante el ensayo.

Después de ajustar el dispositivo de registro en continuo, la cubierta exterior o la pantalla semiconductora deben separarse de la muestra con un ángulo de 180° y esta separación ha de continuar una distancia suficiente para indicar el valor de resistencia al despegado. Al menos la mitad de la zona que resta pegada se debe despegar a una velocidad de aproximadamente 50 mm por minuto. El ensayo se debe llevar a cabo a temperatura ambiente.

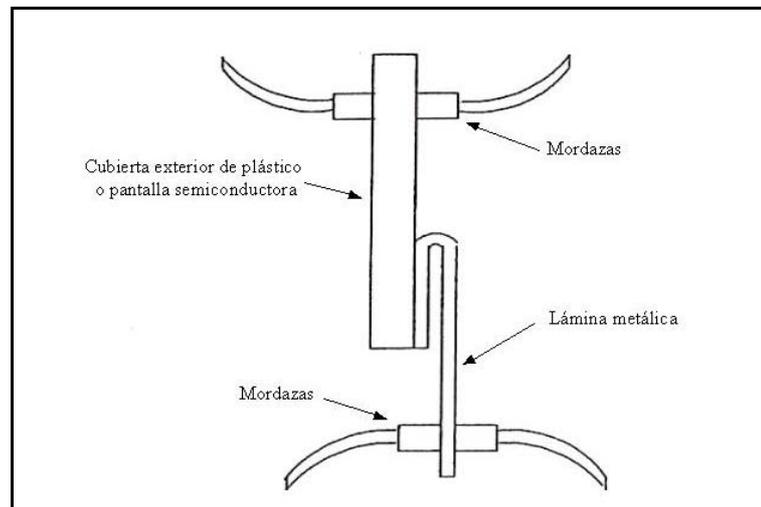


Figura 2: Ensayo de adherencia de la lámina metálica

Se debe calcular la fuerza de despegado en N/mm dividiendo la fuerza obtenida por la anchura de la muestra. Se deben someter a este ensayo 5 muestras de cable y el menor valor obtenido no deberá ser menor que 0,5 N/mm.

Nota: Cuando la fuerza necesaria para poder despegar la lámina metálica sea superior a la fuerza de rotura de la lámina, de tal manera que la lámina metálica se rompe antes de poderse despegar, el ensayo se debe finalizar, anotando el fallo o punto de ruptura.

9.14 Resistencia al Despegado de la Superposición de la Lámina metálica

Se tomará una muestra de 200 mm de longitud de la cubierta del cable incluyendo la parte con la superposición de la lámina metálica. La muestra se debe preparar cortando solamente la zona de superposición de la muestra, tal y como se indica en la Figura 3.

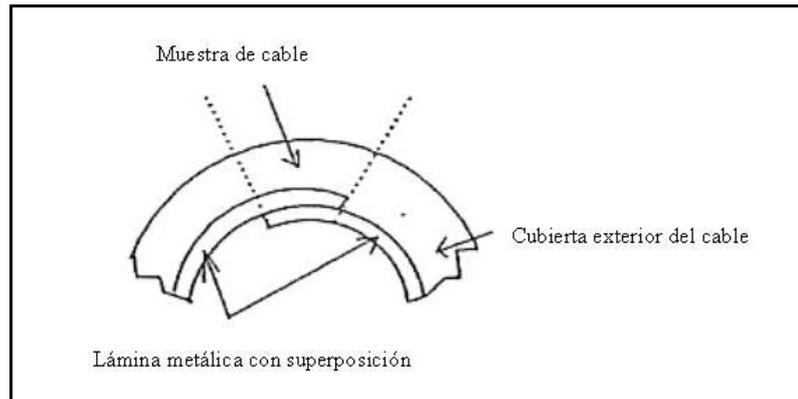


Figura 3: Ejemplo de solapamiento de la lámina metálica

Este ensayo se debe realizar de la misma manera que la descrita en el apartado 9.13. La disposición de la muestra de ensayo se indica en la Figura 4.

Nota: Cuando la fuerza necesaria para poder despegar la lámina metálica de sí misma sea superior a la fuerza de rotura de la lámina, de tal manera que la lámina metálica se rompe antes de poderse despegar, el ensayo se debe finalizar, anotando el fallo o punto de ruptura.

La fuerza de despegado mínima no deberá ser menor que 0,5 N/mm.

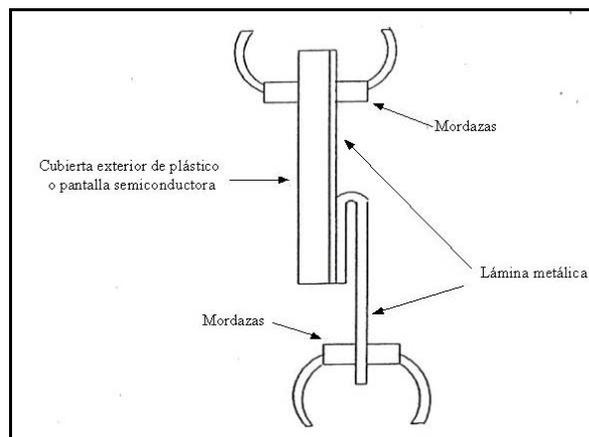


Figura 4: Ensayo de resistencia al despegado de la superposición de la lámina metálica

10 ENSAYOS DE TIPO

10.1 Generalidades

El cable y los accesorios se deben montar de la forma especificada en las instrucciones del fabricante, con las cantidades y calidades de materiales suministradas, incluidos los lubricantes, cuando los haya.

Se debe secar y limpiar la superficie externa de los accesorios, pero ni los cables ni los accesorios se deben someter a ningún tipo de acondicionamiento no especificado en las instrucciones del fabricante, y que pueda modificar eléctrica, térmica o mecánicamente el funcionamiento de los conjuntos en ensayo.

Durante los ensayos del c) al f) del apartado 10.3.2, es necesario ensayar los empalmes equipados con su propia protección exterior. Si se puede demostrar que esta protección exterior no influye en el funcionamiento del aislamiento del empalme, por ejemplo, no hay efectos termo-mecánicos o de compatibilidad, la protección no necesita ser incorporada.

10.2 Resumen de los Ensayos de Tipo

Los ensayos de tipo deben incluir los ensayos eléctricos efectuados sobre el sistema de cables completo, como se especifica en el apartado 10.3, o los ensayos eléctricos efectuados sobre el cable, como se especifica en el apartado 10.5.2, y los ensayos no eléctricos apropiados sobre los componentes del cable y del cable completo, como se especifica en el apartado 10.4.

10.3 Ensayos Eléctricos de Tipo en Sistemas de Cable

Los ensayos relacionados en el apartado 10.3.2 se deben realizar sobre una o varias muestras del cable completo, en función del número de accesorios implicado, de al menos 10 m de longitud, sin incluir los accesorios.

La longitud mínima de cable libre entre accesorios debe ser de 5 m.

Con excepción de los ensayos b), i), j) del apartado 10.3.2, el resto de ensayos deben realizarse sucesivamente sobre la misma muestra. Los accesorios se deben instalar después del ensayo de doblado del cable. Se debe ensayar una muestra de cada tipo de accesorio.

Los ensayos de los apartados i), j) se deben realizar sobre una muestra distinta.

10.3.1 Medida del espesor del aislamiento en el cable

Antes de proceder a los ensayos eléctricos de tipo, se debe medir el espesor del aislamiento por el método especificado en el apartado 9.3 de la presente Norma, sobre

una muestra representativa de la longitud del cable a ensayar, con el fin de verificar que este espesor no excede del valor nominal.

Si el espesor medio del aislamiento no sobrepasa el valor nominal en más de un 5%, las tensiones de ensayo deben ser los valores establecidos en las Tablas 18, 27 y 28 de la presente Norma para la tensión asignada del cable.

Si el espesor medio del aislamiento sobrepasa el valor nominal en más de un 5% sin exceder, no obstante, del 15%, la tensión de ensayo debe ajustarse de forma que el esfuerzo eléctrico sobre la pantalla del conductor sea igual al que se obtendría si el espesor medio del aislamiento fuera igual al valor nominal y las tensiones de ensayo fueran los valores normales especificados para la tensión asignada del cable.

El espesor medio de la longitud de cable utilizada en los ensayos eléctricos de tipo no debe ser, en ningún caso, superior en más del 15% al valor nominal.

10.3.2 Secuencia de ensayos

A continuación se indica la relación de ensayos eléctricos de tipo. Los ensayos del ítem a) al ítem h)g) deben realizarse secuencialmente:

a) Ensayo de doblado en el cable seguido de la instalación de los accesorios y del ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente (ver apartados 10.3.3 y 10.3.4);

b) Medida de la $\tan \delta$ (ver apartado 10.3.5);

Nota: Este ensayo puede llevarse a cabo alternativamente en una muestra de cable provista de terminales de ensayo especiales, diferente a la utilizada para el resto de la secuencia de ensayos.

c) Ensayo de ciclos de calentamiento en tensión (ver apartado 10.3.6);

d) Ensayo de descargas parciales (ver 10.3.4);

- a temperatura ambiente, y
- a alta temperatura

Los ensayos se deben llevar a cabo después del último ciclo del punto c) o como alternativa, después del ensayo de impulso de tensión tipo rayo del punto e) siguiente;

e) Ensayo de impulso de tensión tipo rayo seguido de un ensayo de tensión a frecuencia industrial (ver apartado 10.3.7);

f) Ensayo de descargas parciales, si no se ha realizado previamente en el punto d) anterior (ver apartado 10.3.4);

g) Ensayo de la protección externa de los empalmes (ver apartado 10.3.8).

Nota: Estos ensayos pueden realizarse sobre un empalme que haya superado el ensayo del punto c), o en un empalme distinto que ha sido sometido y ha superado con éxito tres ciclos térmicos, como mínimo (véase Anexo de la Norma KNE 002 de Endesa Distribución).

- h) Verificación del sistema de cables, que se debe llevar a cabo tras completar los ensayos precedentes (ver apartado 10.3.9).
- i) Resistencia de las pantallas semiconductoras (ver apartado 10.3.10).
- j) Ensayo de cortocircuito (ver apartado 10.3.11).

10.3.3 Ensayo de doblado

La muestra de cable se debe enrollar alrededor de un cilindro de ensayo (por ejemplo en el núcleo de una bobina), a temperatura ambiente, una vuelta completa como mínimo. Se debe desenrollar y repetir el proceso, de forma que el doblado de la muestra se haga en dirección opuesta.

Este ciclo de operaciones se debe llevar a cabo tres veces en total.

El diámetro del cilindro de ensayo no debe ser mayor de:

$$- 25 (d + D) + 5\%$$

donde

d es el diámetro medio del conductor, en milímetros

D es el diámetro exterior medio del cable, en milímetros

Al acabar este ensayo, se deben instalar los accesorios en el cable. El montaje de ensayo se debe someter a un ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente, y debe cumplir con los requisitos especificados en el apartado 10.3.4.

10.3.4 Ensayo de descargas parciales

Los ensayos de descargas parciales se deben realizar de acuerdo con la Norma UNE-EN 60885-3, con una sensibilidad de 5 pC o mejor.

La tensión de ensayo se debe incrementar gradualmente hasta $1,75 U_0$ y mantenerse durante 10 s, y se debe reducir entonces lentamente hasta $1,5 U_0$.

Para realizar el ensayo a alta temperatura, la muestra se debe calentar por un procedimiento adecuado y se debe determinar la temperatura del conductor o por medida de su resistencia o por termopares en la superficie de la cubierta, o por termopares en el conductor de otra muestra del mismo cable calentada por el mismo procedimiento. El ensayo se debe ejecutar sobre el conjunto con una temperatura del conductor de 5 a 10°C por encima de la máxima temperatura del conductor en funcionamiento normal (véase Tabla 8). La temperatura del conductor se debe mantener dentro de estos límites de temperatura durante al menos 2 h.

No deben detectarse descargas parciales procedentes del cable o de sus accesorios que excedan el valor de 5 pC a $1,5 U_0$.

10.3.5 Medida de la $\tan \delta$

El valor de la $\tan \delta$ tiene una importancia principalmente económica, ya que su valor está ligado a las pérdidas en el dieléctrico.

La muestra se debe calentar por un procedimiento adecuado y se debe determinar la temperatura del conductor o por medida de su resistencia o por termopares en la superficie de la cubierta, o por termopares en el conductor de otra muestra del mismo cable calentada por el mismo procedimiento.

La muestra se debe calentar hasta que el conductor alcance una temperatura que debe ser de 5 a 10°C superior a la máxima temperatura del conductor en funcionamiento normal.

Se debe medir la $\tan \delta$ a una tensión U_0 de frecuencia industrial, a la temperatura especificada anteriormente.

El valor medido no debe exceder del valor dado en la Tabla 26.

Tabla 26: Requisitos de $\tan \delta$ para el material de aislamiento XLPE

Designación del compuesto		XLPE
Máxima $\tan \delta$	10^{-4}	10

10.3.6 Ensayo de ciclos de calentamiento en tensión

El cable se debe doblar previamente en forma de U con un diámetro que se especifica en el apartado 10.3.3. Una vez constituido el sistema de cables, se debe calentar el conjunto haciendo circular una corriente por el conductor hasta que éste alcance una temperatura estable que se mantenga entre 5 y 10°C por encima de la temperatura máxima del conductor en funcionamiento normal (véase Tabla 8).

Si, por razones prácticas, no es posible realizar el calentamiento sólo con el paso de corriente por el conductor, se puede obtener un calentamiento adicional haciendo circular corriente por la pantalla/cubierta metálica, utilizando dispositivos de calentamiento externos o cubriendo el cable con mantas térmicas.

El calentamiento se debe aplicar durante al menos 8 h. La temperatura del conductor se debe mantener dentro de los límites de temperatura establecidos durante al menos 2 h continuadas en cada período de calentamiento. A este proceso le debe seguir un período de enfriamiento natural de 16 h como mínimo, hasta que el conductor alcance una temperatura que no supere en 15°C la temperatura ambiente, con un máximo de 45°C.

Para asegurar un adecuado control y regulación de la temperatura de ensayo, se dispondrá en paralelo un cable de similar longitud e idénticas características al utilizado en el sistema de cables (denominado habitualmente cable testigo, de referencia o "dummy"), y se someterá a los mismos ciclos térmicos de forma simultánea pero sin aplicar tensión, para poder así colocar termopares en el conductor. En estas

condiciones, el sistema de control debe ajustar la temperatura del conductor del cable testigo a la temperatura de ensayo (entre 5 y 10°C por encima de la temperatura máxima del conductor en funcionamiento normal) y las temperaturas de los termopares colocados en las cubiertas del cable testigo y del sistema de cables deben ser similares para garantizar que el conductor del sistema de cables se mantiene a la temperatura deseada durante el ensayo.

Se debe registrar durante todo el periodo de ensayo la tensión, la corriente y la temperatura en el conductor y en la cubierta del cable testigo, en la cubierta del cable objeto de ensayo y la temperatura ambiente.

El ciclo de calentamiento y enfriamiento se debe llevar a cabo 20 veces. Durante la totalidad del periodo de ensayo se debe aplicar una tensión de $2U_0 \pm 3\%$ (véase Tabla 27).

Tabla 27: Tensiones de ensayo para el ensayo de ciclos de calentamiento en tensión

Tensión U	Tensión U_m	Tensión U_0	Ensayo de tensión con ciclos térmicos $2 U_0$
kV	kV	kV	kV
45	52	26	52
66	72,5	36	72
132	145	76	152
220	245	127	254

Tras la finalización de los ciclos térmicos, se debe llevar a cabo el ensayo de descargas parciales sobre el conjunto de acuerdo con lo establecido en el apartado 10.3.4, a alta temperatura y a temperatura ambiente. Este ensayo puede realizarse alternativamente tras el ensayo de impulso y de tensión a frecuencia industrial del apartado 10.3.7.

10.3.7 Ensayo de impulso de tensión tipo rayo seguido de un ensayo de tensión a frecuencia industrial

El ensayo se debe realizar sobre el conjunto con el conductor del cable a una temperatura de 5 a 10°C por encima de la máxima temperatura del conductor en funcionamiento normal (ver Tabla 8). La temperatura del conductor se debe mantener dentro de los límites establecidos de temperatura durante al menos 2 h.

El impulso de tensión tipo rayo se debe aplicar de acuerdo con el procedimiento dado en la Norma UNE-EN 60230.

El conjunto debe soportar sin fallo o contorneamiento 10 impulsos positivos y 10 negativos de tensión del valor apropiado dado en la Tabla 28.

Tabla 28: Tensiones de ensayo para los ensayos de impulso y frecuencia industrial

Tensión U	Tensión U _m	Tensión U ₀	Ensayo de impulso de tensión	Ensayo de tensión tras el ensayo de impulso	
				Tensión	Duración
kV	kV	kV	kV	kV	min
45	52	26	250	65	15
66	72,5	36	325	90	15
132	145	76	650	190	15
220	245	127	1050	254	15

Tras el ensayo de impulso de tensión tipo rayo el conjunto debe ser sometido a un ensayo de tensión a frecuencia industrial a los valores y durante el tiempo indicados en la Tabla 28. Este ensayo puede llevarse a cabo durante el período de enfriamiento, o a temperatura ambiente, según prefiera el fabricante.

No debe producirse perforación del aislamiento ni contorneamiento.

Se debe realizar el ensayo de descargas parciales sobre el conjunto de acuerdo con lo establecido en el apartado 10.3.4, a alta temperatura y a temperatura ambiente, si éste no se llevó a cabo al finalizar el ensayo de ciclos de calentamiento en tensión del apartado 10.3.6.

10.3.8 Ensayo de la protección exterior de los empalmes

Este ensayo se realizará conforme al Anexo de la Norma KNE 002 de empalmes para cables subterráneos de alta tensión, de Endesa Distribución.

10.3.9 Verificación

10.3.9.1 *Sistema de cables y accesorios*

La verificación del sistema de cable y los accesorios no debe revelar signos de deterioro a visión normal (por ejemplo degradación eléctrica, fugas, corrosión o contracción) que pudieran afectar al sistema en servicio.

10.3.9.2 *Cables*

Se realizará una inspección de acuerdo con el apartado 9.12, y se realizarán los ensayos conforme a los apartados 9.13 y 9.14.

10.3.10 Resistencia de las pantallas semiconductoras

La resistencia de las pantallas semiconductoras extruidas aplicadas sobre el conductor y sobre el aislamiento se debe determinar por mediciones efectuadas sobre las probetas de ensayo tomadas del conductor de una muestra de cable tal y como sale de fábrica, y sobre una muestra de cable que haya sufrido el tratamiento de envejecimiento especificado en el apartado 10.4.4, destinado a verificar la compatibilidad de los materiales de los componentes.

El procedimiento de ensayo debe estar de acuerdo con el Anexo D de la presente Norma. Las medidas se deben efectuar a una temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de la temperatura máxima del conductor en funcionamiento normal.

La resistividad, antes y después del envejecimiento, no debe ser superior a los valores siguientes:

- Semiconductoras internas (pantalla semiconductoras sobre el conductor):
1000 Ω m
- Semiconductoras externas (pantalla semiconductoras sobre el aislamiento):
500 Ω m

10.3.11 Ensayo de cortocircuito

El ensayo se llevará a cabo sobre una muestra de, al menos, 15 m de largo.

La corriente de cortocircuito se aplicará de tal manera que fluya por el conductor del cable y retorne por la pantalla metálica. La duración del ensayo no excederá de 2 segundos, de tal manera que la temperatura de la pantalla de hilos alcance un valor lo más próximo posible a 210°C .

La aplicación de la corriente de cortocircuito se repetirá 5 veces sobre la misma muestra. El tiempo entre cada aplicación deberá ser suficientemente largo para que la pantalla y el conductor del cable se enfríen hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Una muestra de 1 m deberá ser sometida a inspección visual (según apartado 9.12) después del ensayo. No deben presentarse signos de sobrecalentamiento.

Nota: La norma no fija un valor de intensidad o I^2t para el ensayo, por lo que deberán ajustarse, mediante tarados previos a niveles reducidos de corriente o por cálculo, la intensidad y la duración del ensayo para alcanzar la temperatura deseada en la pantalla. Por otro lado, el sistema de medida de temperatura deberá ser inmune a la inducción generada por el campo creado por la circulación de corriente.

10.4 Ensayos de Tipo no Eléctricos en Sistemas de Cable

La relación de ensayos debe ser la siguiente:

- a) Verificación de la construcción del cable (ver apartado 10.4.1);
- b) Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas del aislamiento antes y después del envejecimiento (ver apartado 10.4.2);
- c) Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas de la cubierta antes y después del envejecimiento (ver apartado 10.4.3);
- d) Ensayo de envejecimiento sobre cable completo para verificar la compatibilidad de los materiales (ver apartado 10.4.4);
- e) Ensayo de presión a temperatura elevada en la cubierta exterior (ver apartado 10.4.5);
- f) Ensayo de alargamiento en caliente del aislamiento; “Hot Set” (ver apartado 10.4.6);
- g) Ensayo de contracción de la cubierta (ver apartado 10.4.7);
- h) Medida del contenido de negro de humo de la cubierta exterior (ver apartado 10.4.8);
- i) Ensayo bajo condiciones de fuego (ver apartado 10.4.9);
- j) Ensayo de penetración de agua (ver apartado 10.4.10);
- k) Ensayo de presión lateral (ver apartado 10.4.11);
- l) Ensayo de ciclos térmicos (ver apartado 10.4.12);
- m) Ensayo de impacto (ver apartado 10.4.13);
- n) Ensayo de corrosión (ver apartado 10.4.14);
- o) Ensayo de resistencia a la abrasión (ver apartado 10.4.15).

10.4.1 Verificación de la construcción del cable

La verificación del conductor y las medidas de los espesores del aislamiento, de las pantallas semiconductoras, de la pantalla metálica y de la cubierta exterior, se debe llevar a cabo de acuerdo y cumpliendo con los requisitos establecidos en los apartados 9.1, 9.3 y 9.4 de la presente Norma.

10.4.2 Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas del aislamiento antes y después del envejecimiento

10.4.2.1 *Muestreo*

El muestreo y la preparación de las muestras deben efectuarse de acuerdo con el apartado 9.1 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

10.4.2.2 *Envejecimiento térmico*

El tratamiento de envejecimiento en estufa de aire debe efectuarse de acuerdo con el apartado 8.1 de la Norma UNE-EN 60811-1-2, bajo las condiciones especificadas en la Tabla 29.

Tabla 29: Requisitos de ensayo para el aislamiento de los cables antes y después de envejecimiento

	Unid.	XLPE
Temperatura máxima del conductor en funcionamiento normal	°C	90
Sin envejecimiento UNE-EN 60811-1-1, apartado 9.1		
Resistencia a la tracción mínima	N/mm ²	12,5
Alargamiento mínimo hasta la rotura	%	200
Después de envejecimiento en estufa de aire UNE-EN 60811-1-2, apartado 8.1		
Tratamiento	Temperatura	°C
	Tolerancia	± 3
	Duración	días
		7
Resistencia a la tracción		
a) Variación¹⁾ máxima	%	± 25
Alargamiento hasta la rotura		
a) Variación¹⁾ máxima	%	± 25
1) Variación: diferencia entre la mediana obtenida después del envejecimiento y la mediana obtenida sin envejecimiento, expresado en tanto por ciento de esta última		

10.4.2.3 *Acondicionamiento y ensayos mecánicos*

El acondicionamiento y la medición de las propiedades mecánicas deben efectuarse de acuerdo con el apartado 9.1 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

10.4.2.4 *Requisitos*

Los resultados de los ensayos sobre muestras antes y después del envejecimiento deben satisfacer los requisitos de la Tabla 29.

10.4.3 Ensayos de determinación de las propiedades mecánicas de la cubierta antes y después del envejecimiento

10.4.3.1 *Muestreo*

El muestreo y la preparación de las muestras deben efectuarse de acuerdo con el apartado 9.2 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

10.4.3.2 *Envejecimiento térmico*

El tratamiento de envejecimiento debe efectuarse de acuerdo con el apartado 8.1 de la Norma UNE-EN 60811-1-2, bajo las condiciones especificadas en la Tabla 30.

Tabla 30: Requisitos de ensayo para la cubierta exterior de los cables antes y después de envejecimiento

Designación del compuesto	Unid.	ST ₇
Sin envejecimiento UNE-EN 60811-1-1, apartado 9.1		
Resistencia a la tracción mínima	N/mm²	12,5
Alargamiento mínimo hasta la rotura	%	300
Después de envejecimiento en estufa de aire UNE-EN 60811-1-2, apartado 8.1		
Tratamiento Temperatura	°C	110
Tolerancia	°C	± 2
Duración	días	10
Alargamiento hasta la rotura		
a) Valor mínimo después del envejecimiento	%	300

10.4.3.3 *Acondicionamiento y ensayos mecánicos*

El acondicionamiento y la medición de las propiedades mecánicas deben efectuarse de acuerdo con el apartado 9.2 de la Norma UNE-EN 60811-1-1.

10.4.3.4 *Requisitos*

Los resultados de los ensayos sobre muestras antes y después de envejecimiento deben satisfacer los requisitos de la Tabla 30.

10.4.4 Ensayos de envejecimiento sobre cable completo para verificar la compatibilidad de los materiales

10.4.4.1 *Generalidades*

El ensayo de envejecimiento sobre piezas de cable completo se debe efectuar para comprobar que el aislamiento, las capas semiconductoras extruidas y la cubierta exterior, no son susceptibles de deterioro excesivo en funcionamiento por el contacto con otros componentes del cable.

10.4.4.2 *Muestreo*

Las muestras destinadas al ensayo sobre el aislamiento y sobre la cubierta exterior deben ser tomadas del cable completo tal y como se describe en el apartado 8.1.4 de la Norma UNE-EN 60811-1-2.

10.4.4.3 *Envejecimiento térmico*

El tratamiento de envejecimiento sobre piezas de cable debe efectuarse en una estufa de aire, tal y como se describe en el apartado 8.1.4 de la Norma UNE-EN 60811-1-2, bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura: $10 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por encima de la temperatura máxima del conductor del cable en funcionamiento normal (ver Tabla 8).
- Duración: 7x 24 h.

10.4.4.4 *Ensayos mecánicos*

Las muestras de aislamiento y de cubierta tomadas de secciones de cable envejecidas se deben preparar y someter a ensayos mecánicos, tal y como se describe en el apartado 8.1.4 de la Norma UNE-EN 60811-1-2.

10.4.4.5 *Requisitos*

Las variaciones entre los valores medianos de la resistencia a la tracción y el alargamiento hasta la rotura después del envejecimiento, y los correspondientes valores obtenidos sin envejecimiento (véanse apartados 10.4.2 y 10.4.3), no deben exceder de los valores aplicados en el ensayo después del envejecimiento en una estufa de aire, especificados en la Tabla 29 para los aislamientos y en la Tabla 30 para las cubiertas no metálicas.

10.4.5 Ensayo de presión a temperatura elevada en la cubierta exterior

10.4.5.1 *Procedimiento*

El ensayo de presión a temperatura elevada de las cubiertas tipo ST₇ debe efectuarse como se describe en el apartado 8.2 de la Norma UNE-EN 60811-3-1, utilizando las condiciones de ensayo dadas en el método de ensayo y en la Tabla 31.

Tabla 31: Requisitos de ensayo para el ensayo de presión a temperatura elevada

Designación del compuesto	Unid.	ST ₇
Ensayo de presión a temperatura elevada UNE-EN 60811-3-1, apartado 8.1		
Temperatura de ensayo	°C	110
Tolerancia	°C	± 2
Duración bajo carga	h	6
Profundidad máxima de la marca	%	50

10.4.5.2 *Requisitos*

Los resultados de los ensayos deben cumplir los requisitos indicados en la Tabla 31.

10.4.6 Ensayo de alargamiento en caliente para el aislamiento

Los aislamientos de XLPE se deben someter al ensayo de alargamiento en caliente (Hot Set) descrito en el apartado 9.5 y deben cumplir con sus requisitos.

10.4.7 Ensayo de contracción de la cubierta

El ensayo de contracción de la cubierta debe efectuarse utilizando las muestras y el método operativo descritos en la Norma UNE-EN 60811-1-3 y las condiciones de ensayo de la Tabla 32.

Tabla 32: Ensayo de contracción para la cubierta exterior de PE

Ensayo	Unidades	Cubierta PE
Longitud de muestra a ensayar	mm	200
Temperatura	°C	80 ± 2
Duración	h	5
Nº de ciclos de calentamiento	ud	5
Contracción máxima permitida	%	3

Las retracciones de la cubierta no sobrepasarán los valores indicados en la Tabla 32.

10.4.8 Medida del contenido de negro de humo de la cubierta exterior

10.4.8.1 *Procedimiento*

El contenido de negro de humo de las cubiertas tipo ST₇ debe medirse utilizando el procedimiento de muestreo y ensayo descrito en el capítulo 11 de la Norma UNE-EN 60811-4-1.

10.4.8.2 *Requisitos*

Los resultados del ensayo deben cumplir con los requisitos dados en la Tabla 33.

Tabla 33: Contenido de negro de humo para las cubiertas exteriores

Designación del compuesto	Unid.	ST ₇
Contenido de negro de humo UNE-EN 60811-4-1, apartado 11		
Valor nominal	%	2.5
Tolerancia	%	± 0,5

10.4.9 Ensayo bajo condiciones de fuego

Este ensayo se realizará de acuerdo con la Norma UNE-EN 60332-1-2 y se llevará a cabo sobre una muestra de cable completo. Esta norma establece asimismo los requisitos que deben cumplirse para considerar el ensayo satisfactorio.

El aparato de ensayo a utilizar y la fuente de ignición serán los especificados en la norma UNE-EN 60332-1-1.

10.4.10 Ensayo de penetración de agua

Este ensayo se debe realizar de acuerdo a lo descrito en el Anexo B de la presente Norma.

10.4.11 Ensayo de presión lateral

El propósito de este ensayo es medir el efecto de los esfuerzos mecánicos laterales durante la instalación del cable.

Una muestra de 15 m de longitud se ensayará tal y como se muestra en la Figura 5.

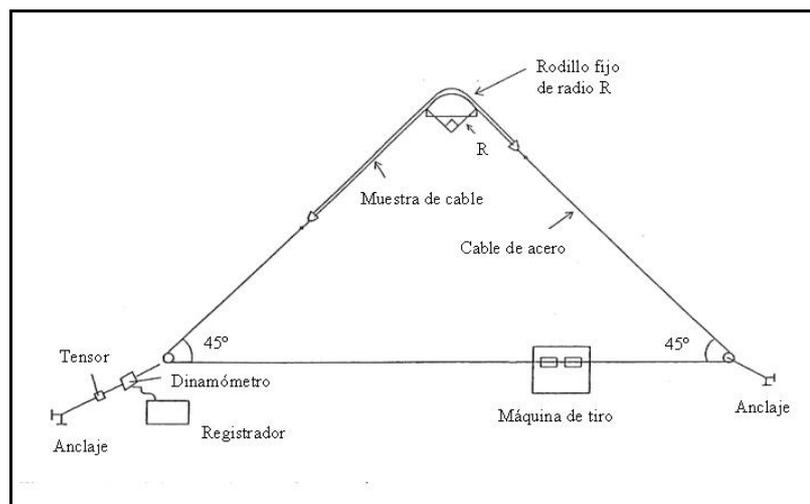


Figura 5: Ensayo de presión lateral

Se hará pasar el cable, primero en un sentido y a continuación en el sentido opuesto, sobre un rodillo fijo bajo una presión lateral de 750 kg/m. Esta presión se calculará a partir del radio de curvatura del rodillo (R), que no deberá ser superior al radio usado en el apartado 10.3.3. El cable deberá estar en contacto con el rodillo sobre un arco de 90° durante el ensayo. Se aplicará un lubricante sobre la zona de contacto en el rodillo.

Este ensayo se puede realizar de forma alternativa a la indicada en la Figura 5, por ejemplo tirando del cable sobre un rodillo fijo, que puede estar constituido por varios rodillos de diámetro más pequeño (de 50 a 100 mm), sin anclajes, colocando una máquina de tiro en un extremo y, si es necesario, un freno regulable en el extremo opuesto para mantener la fuerza de tracción constante.

Una muestra de 1 m de cable se someterá a inspección visual según el apartado 9.12. Otra muestra se someterá al ensayo de corrosión.

10.4.12 Ensayo de ciclos térmicos

El propósito de este ensayo es medir la resistencia a la fatiga de la lámina metálica adherida a la cubierta cuando se la somete a expansiones y contracciones cíclicas.

Este ensayo deberá realizarse de acuerdo con el apartado 10.3.6 de la presente Norma, pero sin aplicar tensión. La muestra debe acondicionarse previamente mediante el ensayo de doblado descrito en el apartado 10.3.3. Los ciclos de calentamiento y enfriamiento se deben llevar a cabo 100 veces.

Una muestra de 1 m deberá ser sometida a inspección visual después del ensayo según el apartado 9.12.

10.4.13 Ensayo de impacto

El ensayo se realizará a temperatura ambiente, dejando caer un peso de 5 kg desde una altura de 1 m sobre una muestra de cable de 1 m de longitud. La muestra debe acondicionarse previamente mediante el ensayo de doblado descrito en el apartado 10.3.3.

Se debe realizar un impacto en 5 puntos diferentes a lo largo del cable. La distancia entre 2 puntos de impacto será mayor de 100 mm.

En el punto de impacto el peso deberá tener un ángulo de 90° con un radio de curvatura de 2 mm. La configuración del ensayo viene descrita en la Figura 6.

Dos muestras se deberán someter a este ensayo:

- a) Una para someterla posteriormente a inspección visual
- b) Otra para someterla posteriormente al ensayo de corrosión

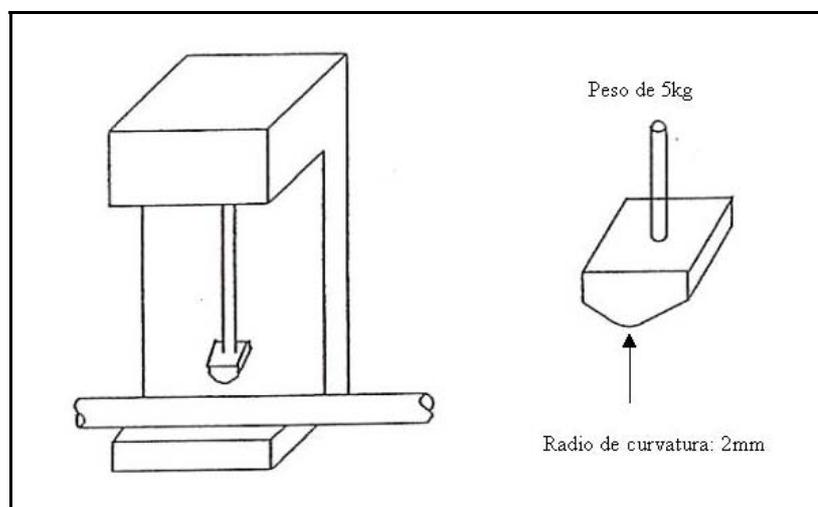


Figura 6: Ensayo de impacto

10.4.14 Ensayo de corrosión

La finalidad de este ensayo es medir la resistencia a la corrosión de la lámina metálica aplicada longitudinalmente ante condiciones adversas sin la presencia de daños en la cubierta del cable. Este ensayo será llevado a cabo después del ensayo de impacto (apartado 10.4.13) y después del ensayo de presión lateral (apartado 10.4.11).

Se colocarán las dos muestras de 1 metro, sometidas previamente a los ensayos de impacto y presión lateral, en una solución de 1% de NaCl y 1% Na₂SO₄, añadiéndole NaOH hasta ajustar el pH a $8,5 \pm 0,5$. La temperatura debe mantenerse durante el ensayo a $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

El cable se debe sumergir en la solución a una profundidad de al menos 0,5 m, bien con las puntas selladas, en caso de inmersión completa, o bien utilizando una longitud mayor de cable que exceda las dimensiones de la cámara de corrosión, sellando convenientemente los orificios de entrada y salida.

La muestra se debe retirar de la solución después de 3000 horas de inmersión y la lámina metálica se ha de someter a examen.

No se deben detectar signos de corrosión de la lámina metálica.

10.4.15 Ensayo de resistencia a la abrasión

Se realizará este ensayo según el método descrito en la Norma HD-605, con las siguientes consideraciones:

- En la generatriz superior del cable debe aplicarse una pieza metálica cónica con un peso de 36 Kg.
- Esta pieza cónica deberá tener un radio de curvatura en su punta de 1 mm y un ángulo de 90° .

El cable se someterá a 8 pasadas de esta pieza, y al final del ensayo no debe ser visible a simple vista, normal o corregida, la lámina metálica bajo la cubierta.

10.5 Ensayos de Tipo en Cables

Los ensayos especificados en este apartado están pensados para poder demostrar el comportamiento satisfactorio de los cables únicamente.

10.5.1 Resumen de los ensayos de tipo

Los ensayos de tipo deben incluir los ensayos eléctricos efectuados sobre el cable completo, como se especifica en el apartado 10.5.2, y los ensayos no eléctricos apropiados sobre los componentes del cable y del cable completo, como se especifica en el apartado 10.4.

Se deberá tener en cuenta lo especificado en el apartado 10.3.1 para los espesores de aislamiento.

Los ensayos no eléctricos sobre los componentes del cable y sobre el cable completo se resumen en la Tabla 35 y Tabla 37, indicando qué ensayos son aplicables.

10.5.2 Ensayos de tipo eléctrico sobre cables completos

La relación de ensayos debe ser la siguiente:

- a) Ensayo de doblado en el cable seguido de la instalación de los terminales y del ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente (ver apartados 10.3.3 y 10.3.4);

- b) Medida de la $\tan \delta$ (ver apartado 10.3.5);

Nota: Este ensayo puede llevarse a cabo alternativamente en una muestra de cable provista de terminales de ensayo especiales, diferente a la utilizada para el resto de la secuencia de ensayos.

- c) Ensayo de ciclos de calentamiento en tensión (ver apartado 10.3.6);

- d) Ensayo de descargas parciales (ver apartado 10.3.4):
 - a temperatura ambiente, y
 - a alta temperatura

Los ensayos se deben llevar a cabo después del último ciclo del punto c) o, como alternativa, después del ensayo de impulso de tensión tipo rayo del punto e) siguiente;

- e) Ensayo de impulso de tensión tipo rayo seguido de un ensayo de tensión a frecuencia industrial (ver apartado 10.3.7);
- f) Ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente y a alta temperatura, si no se ha realizado previamente en el punto d) anterior (ver apartado 10.3.4);
- g) Examen del cable completo después de la secuencia de los ensayos precedentes (ver apartado 10.3.8);
- h) Resistencia de las pantallas semiconductoras (ver apartado 10.3.10);
- i) Ensayo de cortocircuito (ver apartado 10.3.11).

Con excepción de los ensayos b), h), i), el resto de ensayos deben realizarse sucesivamente sobre la misma muestra de cable completo de, al menos, 10 m de longitud excluyendo los terminales para poder realizar los ensayos.

Los ensayos de los apartados h), i) se deben realizar necesariamente sobre una muestra distinta.

Las tensiones de ensayo deberán estar de acuerdo con los valores dados en las Tablas 18, 27 y 28.

11 PROCESO DE CALIFICACIÓN

11.1 Generalidades

Se entiende por tal el proceso de evaluación del conjunto formado por un fabricante, un centro de producción y un modelo de cable o sistema de cables de alta tensión para su inclusión en la lista de proveedores calificados y productos aceptados. El proceso contempla la evaluación del fabricante y el centro de producción y la realización de los ensayos de calificación, que incluyen todos los ensayos de tipo contemplados en esta norma así como ensayos individuales y de muestreo complementarios (apartados 8.3, 9.2, 9.8 y 9.9).

11.2 Objeto de Calificación

Se ofrecerá al fabricante la posibilidad de calificarse en la mayor sección de conductor para la tensión objeto de calificación o para una inmediatamente superior, dentro de las incluidas en esta norma, teniendo en cuenta los criterios de extensión de la calificación que se indican a continuación.

11.3 Ensayos de Calificación

Para que un determinado fabricante pueda suministrar a Endesa los cables incluidos en el alcance de la presente Norma, deberá haber cumplido satisfactoriamente los ensayos de calificación, tal y como se indica en el apartado 11.1.

El Dossier de Ensayos presentado por el fabricante será considerado únicamente válido a efectos de la calificación si cumple con los siguientes criterios:

- Todos los ensayos están realizados sobre bobinas y/o trozos de cable pertenecientes a una misma orden de fabricación.
- Los componentes del cable así como los materiales empleados satisfacen los requisitos de diseño de la Norma KNE 001.
- La tensión asignada es igual o superior a la tensión del cable objeto de calificación, teniendo en cuenta las condiciones estipuladas en el apartado 11.4.
- La sección del conductor es igual o superior a la del cable objeto de calificación, teniendo en cuenta las condiciones estipuladas en el apartado 11.4.
- El espesor nominal de aislamiento es menor o igual al del cable objeto de calificación.
- La versión de la norma aplicada se corresponde con la norma aplicada a la calificación.
- Los ensayos han sido realizados en los 5 últimos años previos al inicio de la calificación.

Una vez cumplimentados estos ensayos, en sucesivos suministros solamente se cumplimentarán los ensayos individuales (apartado 8) y los ensayos sobre muestra (apartado 9) como ensayos de recepción.

No obstante, Endesa se reserva el derecho de solicitar en cualquier momento la repetición de los ensayos arriba relacionados que considere oportunos, para verificar que el material continúa cumpliendo con la calidad que en su momento le fue reconocida.

Todos los ensayos deberán efectuarse de acuerdo a lo establecido en la presente Norma y Endesa se reserva el derecho de asistir a los mismos, para lo cual el fabricante avisará a Endesa con al menos 2 semanas de antelación con respecto a la fecha de realización de los ensayos.

11.4 Extensión de la Calificación

Cuando los ensayos de calificación se han realizado con éxito sobre un cable o sistema de cables de sección, tensión asignada y constitución determinados, la calificación debe ser aceptada como válida para los cables o sistemas de cables del campo de aplicación de esta norma, con otras secciones, tensiones asignadas y construcciones, si se cumplen todas las condiciones siguientes:

1. El grupo de tensión no es superior al del sistema de cables ensayado.

La calificación para una tensión determinada sólo es extensible a un cable de grupo de tensión inmediatamente inferior. Esta extensión requerirá la realización de los siguientes ensayos complementarios sobre el cable de inferior tensión:

- Verificación de la construcción del cable (apartado 10.4.1).
- Doblado y ciclos de calentamiento en tensión con medida de descargas parciales a temperatura ambiente (apartados 10.3.3, 10.3.6, 10.3.4).

Nota: En este contexto, los sistemas de cables del mismo grupo de tensión asignada son aquellos que tienen un mismo valor de U_m de tensión más elevada para el material y, los mismos valores de tensión de ensayo.

2. La sección del conductor no es superior a la del cable ensayado.

No obstante, se podrá extender la calificación a cables de las mismas características con secciones superiores de conductor tras la realización de los siguientes ensayos complementarios:

- Resistencia eléctrica del conductor (apartado 9.2)
- Verificación de la construcción del cable (apartado 10.4.1)
- Doblado y ciclos de calentamiento en tensión seguido de descargas parciales a temperatura ambiente (apartados 10.3.3, 10.3.6, 10.3.4)
- Penetración de agua (apartado 10.4.10)

3. El cable y los accesorios tienen una construcción igual o similar a la del sistema de cables ensayado.

El fabricante deberá identificar el proveedor así como el código de los siguientes materiales: semiconductoras, aislamiento y cubierta para los distintos grupos de tensión a calificar. Cualquier cambio de los materiales mencionados anularía la

extensión automática de la calificación, siendo precisa la realización de determinados ensayos complementarios a estudiar en cada caso.

Se podrá extender la calificación a cables con conductor de otro material (Al o Cu) distinto al calificado tras la realización de los siguientes ensayos complementarios:

- Resistencia eléctrica del conductor (apartado 9.2)
- Verificación de la construcción del cable (apartado 10.4.1)
- Doblado y ciclos de calentamiento en tensión seguido de descargas parciales a temperatura ambiente (apartados 10.3.3, 10.3.6, 10.3.4)
- Compatibilidad de los materiales (apartado 10.4.4)
- Penetración de agua (apartado 10.4.10)

Se podrá extender la calificación a cables con otro tipo de conductor (circular compacto o Milliken) tras la realización de los siguientes ensayos complementarios:

- Resistencia eléctrica del conductor (apartado 9.2)
- Verificación de la construcción del cable (apartado 10.4.1)
- Doblado y ciclos de calentamiento en tensión seguido de descargas parciales a temperatura ambiente (apartado 10.3.3, 10.3.6, 10.3.4)
- Penetración de agua (apartado 10.4.10)

4. Los esfuerzos eléctricos máximos calculados en el conductor y en las pantallas semiconductoras, y en el aislamiento principal del accesorio y en las interfases, son iguales o menores que los del cable y accesorio ensayados.

Para ello el fabricante deberá indicar el gradiente eléctrico para cada uno de los cables que desea calificar.

Nota: Si el grupo de tensión es el mismo, si la sección del conductor es inferior y si el espesor del aislamiento no es menor que el del cable ensayado, los esfuerzos eléctricos máximos calculados en el conductor pueden ser un 10% superiores a los del cable ensayado.

Un certificado de ensayos de calificación, firmado por el representante de un organismo de control competente, o un informe expedido por el fabricante con los resultados de los ensayos y firmado por el responsable cualificado correspondiente, o un certificado de ensayos expedido por un laboratorio independiente, podrán ser aceptados como evidencia de la ejecución de dichos ensayos.

A continuación se resume en la Tabla 34 adjunta los ensayos adicionales requeridos para la extensión de la calificación según los criterios indicados.

Tabla 34: Resumen de ensayos de extensión de la calificación

Ensayos Complementarios	A menor tensión (un nivel inferior)	A mayor sección de conductor	A otro material de conductor (Al, Cu)	A otro tipo de conductor (Compacto, Milliken)
Resistencia		X	X	X
Construcción	X	X	X	X
Doblado + Ciclos Tensión + Descargas Parciales	X	X	X	X
Compatibilidad de Materiales			X	
Penetración de Agua		X	X	X

Nota: La extensión sólo podrá ser efectiva si se conservan los materiales de semiconductoras, aislamiento y cubierta.

11.5 Mantenimiento de la Calificación

La calificación para un modelo de cable tendrá una validez inicial de 5 años, ampliables en periodos trianuales, siempre que en el último periodo el fabricante haya sido adjudicatario y se encuentre suministrando el (los) cable(s) de las tensiones calificadas sin incidentes de consideración.

La calificación podrá ser anulada si se produce algún tipo de incidente grave u ocultación de información relevante que pueda afectar a la calidad del cable, así como en caso de incidentes de menor relevancia pero producidos de forma reiterada.

Una vez obtenida la calificación para un tipo de cable, ésta queda indisolublemente unida a las condiciones descritas a continuación, y, por tanto, cualquier modificación de alguna de ellas deberá ser inmediatamente comunicada a Endesa Distribución para su estudio y evaluación, pudiendo conducir a un nuevo proceso parcial o total de calificación:

- El diseño del cable que ha sido sometido a los ensayos de calificación así como los fabricantes y códigos de los materiales utilizados en las capas semiconductoras, aislamiento y cubierta no deberán modificarse.
- El sistema de fabricación no deberá sufrir cambios significativos que puedan afectar la calidad del cable (extrusora designada, sistema de reticulación y enfriamiento, etc).
- Los espesores medios de aislamiento y cubierta obtenidos durante la calificación del cable, deberán mantenerse en los pedidos de suministro de material y deberán ser contrastados en las sucesivas inspecciones de recepción. No se admitirán aquellos cables con valores medios por debajo del 5% y del 10% respectivamente para aislamiento y cubierta, de los valores obtenidos en el cable objeto de la calificación.
- Cambio de ubicación del Centro de Producción del cable calificado.
- Cambio societario de la propiedad del Centro de Producción, Grupo Industrial o Holding.

12 ENSAYOS DE RECEPCIÓN

Para la aceptación del material, el fabricante deberá haber realizado previamente los ensayos individuales (apartado 8) y los ensayos sobre muestra (apartado 9).

Todos los ensayos deberán efectuarse de acuerdo a lo establecido en la presente Norma y Endesa se reserva tanto el derecho de asistir a los mismos, para lo cual el fabricante avisará a Endesa con al menos 2 semanas de antelación con respecto a la fecha de realización de los ensayos, como a repetir en su presencia los ensayos individuales sobre un 10%, como máximo, de las bobinas que componen la partida.

La recepción se considerará efectuada una vez realizados estos ensayos y entregado el material con los Protocolos o Actas de dichos ensayos. Si la documentación indicada en el apartado 13 hubiese sufrido variaciones en referencia al material entregado, el fabricante deberá facilitar la documentación actualizada para considerar efectuada la recepción.

13 INFORMACIÓN TÉCNICA A PRESENTAR

Toda la documentación será entregada de acuerdo con las Normas de Endesa, en Microsoft Word y Autocad. Toda la documentación incluida estará necesariamente redactada en español.

Se deberá incluir necesariamente en la oferta técnica la siguiente documentación referida a los cables de alta tensión:

Detalles constructivos:

- Detalles dimensionales del cable, incluyendo su peso en kg/m
- Radio de curvatura mínimo del cable
- Esfuerzos máximos de tiro y valor máximo de presión lateral que el cable puede soportar para evitar dañar al cable durante la instalación y sobre todo en los puntos de curva
- Longitud en m por bobina
- Detalles dimensionales de la bobina, incluyendo su peso bruto y neto
- Sistema de sellado de las puntas del cable
- Lubricantes que se pueden utilizar compatibles con el cable si fuera necesario

Cálculos:

- Cálculos de intensidades admisibles, de cortocircuito y tensiones inducidas en la pantalla detallados (según el pliego de condiciones y/o Proyecto)

Referencias:

- Lista de referencias previas de suministro

Ensayos:

- La documentación correspondiente que acredite la realización y el resultado de los ensayos relacionados en el apartado 11.3.

Excepciones:

- Excepciones a esta Norma si las hubiera

La oferta económica debe cubrir también el transporte del cable hasta las instalaciones indicadas por Endesa y la retirada de las bobinas. A requerimiento de Endesa Distribución, también se incluirán los ensayos de puesta en servicio conformes a la norma KME 002 "Ensayos de puesta en servicio en instalaciones subterráneas de alta tensión" de Endesa Distribución.

14 GARANTÍAS

El fabricante se comprometerá a establecer una garantía sobre los cables entregados por un período mínimo de 10 años, a contar inmediatamente desde la recepción, obligándose a reponer los mismos si en dicho período resultan defectuosos.

15 INSPECCIÓN

Una vez efectuado el pedido, Endesa se reserva el derecho de realizar visitas de inspección a las instalaciones del fabricante, a fin de comprobar los trabajos en curso y la calidad del proceso de fabricación conforme al apartado 5. Endesa deberá comunicar al fabricante con la antelación suficiente la realización de estas visitas. Por su parte el fabricante deberá prestar todas las facilidades para el normal desarrollo de la labor del representante de Endesa.

El hecho de que el representante de Endesa no rechace un determinado trabajo o material durante alguna de sus visitas o en la inspección final no presupone la aceptación definitiva del cable ni exime al fabricante de su responsabilidad en la correcta ejecución del suministro, que deberá realizarse cumplimentando todos los ensayos individuales (ver apartado 8) y los ensayos sobre muestra (ver apartado 9) establecidos en esta Norma.

16 PROPIEDAD INTELECTUAL

El contenido de este documento es una propiedad intelectual cuya explotación y divulgación corresponde, de forma exclusiva, a Endesa Distribución

En consecuencia, cualquier reproducción total o parcial de su contenido o, alternativamente, cualquier divulgación o explotación del mismo, deberá contar con la autorización expresa de esta Empresa.



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 57 de 68

ANEXO A: TABLA DE CABLES

CARACTERÍSTICAS NOMINALES

Tensión U_0	kV	26
Tensión U	kV	45
Tensión U_m	kV	52
Nivel de aislamiento a impulso tipo rayo	kV	250

Conductor

Tipo de cuerda		UNE 21.022, clase 2, compactada	
Material		Al	
Sección	mm ²	400	1000
Diámetro exterior	mm	23,5	38,5
Resistencia conductor cc a 20°C	Ω /km	0,0778	0,0291

Pantalla sobre conductor

Material		Mezcla extrusionada conductora	
Espesor	mm	1,2	1,5
Diámetro exterior	mm	25,9	41,5

Aislamiento

Material		Poliétileno reticulado (XLPE)	
Espesor	mm	7,0	
Diámetro exterior	mm	40,0	56,5

Pantalla sobre aislamiento

Material		Mezcla extrusionada conductora	
Espesor	mm	1,0	
Diámetro exterior	mm	42,0	58,5

Pantalla metálica

Material y tipo		Pantalla de hilos de Cu	
Nº hilos (*)		53	
Diámetro hilo (*)	mm	1,09	
Sección	mm ²	50	
Resistencia pantalla cc a 20°C	Ω /km	0,357	

Barrera no propagación agua

Material		Cinta conductora hinchable	
Espesor (*)	mm	0,4	

Cubierta exterior

Material capa metálica impermeabilizante		Cinta longitudinal de Cu o Al	
Espesor capa metálica	mm	0,1	
Material		Polioléfina tipo ST7 grafitada o con capa semiconductor resistente a la llama	
Espesor	mm	3,0	3,5
Diámetro exterior (*)	mm	51,5	68,5
Color		Negro	
Radio de curvatura durante tendido (*)	mm	1030	1370
Radio de curvatura instalación acabada (*)	mm	772	1028
Peso del cable aproximado	Kg/m	4,0	6,0

(*): Valores orientativos, a definir por el fabricante



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 58 de 68

CARACTERÍSTICAS NOMINALES

Tensión U_0	kV	36
Tensión U	kV	66
Tensión U_m	kV	72,5
Nivel de aislamiento a impulso tipo rayo	kV	325

Conductor

Tipo de cuerda		UNE 21.022, clase 2, compactada	
Material		Al	
Sección	mm ²	630	1000
Diámetro exterior	mm	30,5	38,5
Resistencia conductor cc a 20°C	Ω/km	0,0469	0,0291

Pantalla sobre conductor

Material		Mezcla extrusionada conductora	
Espesor	mm	1,2	1,5
Diámetro exterior	mm	32,9	41,5

Aislamiento

Material		Polietileno reticulado (XLPE)	
Espesor	mm	9,0	
Diámetro exterior	mm	52,0	60,5

Pantalla sobre aislamiento

Material		Mezcla extrusionada conductora	
Espesor	mm	1,0	
Diámetro exterior	mm	54,0	62,5

Pantalla metálica

Material y tipo		Pantalla de hilos de Cu	
Nº hilos (*)		78	
Diámetro hilo (*)	mm	1,25	
Sección	mm ²	95	
Resistencia pantalla cc a 20°C	Ω/km	0,188	

Barrera no propagación agua

Material		Cinta conductora hinchable	
Espesor (*)	mm	0,4	

Cubierta exterior

Material capa metálica impermeabilizante		Cinta longitudinal de Cu o Al	
Espesor capa metálica	mm	0,1	
Material		Poliolefina tipo ST7 grafitada o con capa semiconductor resistente a la llama	
Espesor	mm	3,0	3,5
Diámetro exterior (*)	mm	64,0	73,0
Color		Negro	
Radio de curvatura durante tendido	mm	1280	1460
Radio de curvatura instalación acabada	mm	960	1095
Peso del cable aproximado	Kg/m	5	6,2

(*): Valores orientativos, a definir por el fabricante



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 59 de 68

CARACTERÍSTICAS NOMINALES

Tensión U_0	kV	76
Tensión U	kV	132
Tensión U_m	kV	145
Nivel de aislamiento a impulso tipo rayo	kV	650

Conductor

Tipo de cuerda		UNE 21.022, clase 2	
		Compactada	Segmentada
Material		Al	
Sección	mm ²	630	1200
Diámetro exterior	mm	33,5	43,5
Resistencia conductor cc a 20°C	Ω/km	0,0469	0,0247

Pantalla sobre conductor

Material		Mezcla extrusionada conductora	
Espesor	mm	1,5	1,5
Diámetro exterior	mm	36,5	46,5

Aislamiento

Material		Polietileno reticulado (XLPE)	
Espesor	mm	16,0	
Diámetro exterior	mm	65,5	79,0

Pantalla sobre aislamiento

Material		Mezcla extrusionada conductora	
Espesor	mm	1,5	
Diámetro exterior	mm	68,5	82,0

Pantalla metálica

Material y tipo		Pantalla de hilos de Cu	
Nº hilos (*)		91	
Diámetro hilo (*)	mm	1,3	
Sección	mm ²	120	
Resistencia pantalla cc a 20°C	Ω/km	0,149	

Barrera no propagación agua

Material		Cinta conductora hinchable	
Espesor (*)	mm	0,4	

Cubierta exterior

Material capa metálica impermeabilizante		Cinta longitudinal de Cu o Al	
Espesor capa metálica	mm	0,1	
Material		Poliolefina tipo ST7 grafitada o con capa semiconductor resistente a la llama	
Espesor	mm	3,5	3,8
Diámetro exterior (*)	mm	79,5	93,5
Color		Negro	
Radio de curvatura durante tendido	mm	1590	1870
Radio de curvatura instalación acabada	mm	1193	1403
Peso del cable aproximado	Kg/m	8	9,7

(*): Valores orientativos, a definir por el fabricante



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 60 de 68

CARACTERÍSTICAS NOMINALES

Tensión U_0	kV	127
Tensión U	kV	220
Tensión U_m	kV	245
Nivel de aislamiento a impulso tipo rayo	kV	1050

Conductor

Tipo de cuerda		UNE 21.022, clase 2		
		Compactada	Segmentada	
Material			Cobre	
Sección	mm ²	1000	1600	2000
Diámetro exterior	mm	39,5	51,0	56,5
Resistencia conductor cc a 20°C	Ω/km	0,0176	0,0113	0,009

Pantalla sobre conductor

Material		Mezcla extrusionada conductora		
Espesor	mm		1,5	
Diámetro exterior	mm	42,5	54,0	59,5

Aislamiento

Material		Poliétileno reticulado (XLPE)		
Espesor	mm		21,0	
Diámetro exterior	mm	85,5	96,5	102,5

Pantalla sobre aislamiento

Material		Mezcla extrusionada conductora		
Espesor	mm		1,5	
Diámetro exterior	mm	88,5	99,5	105,5

Pantalla metálica

Material y tipo		Pantalla de hilos de Cu		
Nº hilos (*)			91	
Diámetro hilo (*)	mm		1,67	
Sección	mm ²		200	
Resistencia pantalla cc a 20°C	Ω/km		0,086	

Barrera no propagación agua

Material		Cinta conductora hinchable		
Espesor (*)	mm		0,4	

Cubierta exterior

Material capa metálica impermeabilizante		Cinta longitudinal de Cu o Al		
Espesor capa metálica	mm		0,1	
Material		Polioléfina tipo ST7 grafitada o con capa semiconductor resistente a la llama		
Espesor	mm	4,0	4,5	4,5
Diámetro exterior	mm	101,0	113,0	122,0
Color			Negro	
Radio de curvatura durante tendido	mm	2020	2260	2440
Radio de curvatura instalación acabada	mm	1515	1695	1830
Peso del cable aproximado	Kg/m	16,7	23	30

(*): Valores orientativos, a definir por el fabricante

ANEXO B: TABLAS RESUMEN DE LOS ENSAYOS

Tabla 35: Relación de Ensayos de Recepción

Ensayo	Apartado	Individuales	Sobre muestra
Ensayo de Descargas Parciales	8.1	X	
Ensayo de Tensión	8.2	X	
Ensayo eléctrico de la Cubierta del Cable	8.3	X	
Examen del Conductor	9.1		X
Medida de la Resistencia eléctrica del Conductor y de la Pantalla	9.2		X
Medida del Espesor de Aislamiento, de las Pantallas semiconductoras y de la Cubierta exterior del Cable	9.3		X
Medida de los Diámetros	9.4		X
Ensayo de Alargamiento en caliente del Aislamiento	9.5		X
Ensayo de Determinación de las Propiedades mecánicas del Aislamiento antes del envejecimiento	9.6		X
Ensayo de Determinación de las Propiedades mecánicas de la Cubierta antes del envejecimiento	9.7		X
Medida de la Capacidad	9.8		X
Ensayo de Contracción del Aislamiento	9.9		X
Ensayo de Condiciones de Fuego	9.10		X
Ensayo de Impulso de Tensión tipo Rayo seguido de un Ensayo de Tensión a Frecuencia Industrial	9.11		X
Inspección Visual	9.12		X
Fuerza de Adherencia de la Lámina metálica	9.13		X
Resistencia al Despegado de la Superposición de la Lámina metálica	9.14		X



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 62 de 68

Tabla 36: Relación de Ensayos de tipo eléctricos

Ensayo	Apartado	De tipo sistemas de cable	De tipo cable
Medida del espesor del aislamiento en el cable sometido a los ensayos eléctricos de tipo	10.3.1	X	X
Ensayo de doblado en el cable seguido de la instalación de los accesorios y del ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente	10.3.3 y 10.3.4	X	---
Ensayo de doblado en el cable seguido de la instalación de los terminales de ensayo y del ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente	10.3.3 y 10.3.4	---	X
Medida de la $\tan \delta$	10.3.5	X	X
Ensayo de ciclos de calentamiento en tensión	10.3.6	X	X
Ensayo de descargas parciales a temperatura ambiente y a alta temperatura	10.3.4	X	X
Ensayo de impulso de tensión tipo rayo seguido de un ensayo de tensión a frecuencia industrial	10.3.7	X	X
Ensayo de la protección externa de los empalmes	10.3.8	X	---
Verificación del sistema de cables	10.3.9.1	X	---
Verificación del cable completo	10.3.9.2	---	X
Resistencia de las pantallas semiconductoras	10.3.10	X	X
Ensayo de cortocircuito	10.3.11	X	X



endesa distribución

DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y
MANTENIMIENTO

**NORMA DE
CABLES SUBTERRÁNEOS DE ALTA
TENSIÓN**

KNE 001 02

2ª Edición

Hoja 63 de 68

Tabla 37: Relación de Ensayos de tipo no eléctricos

Ensayo	Apartado	De tipo Sistemas de Cable	De tipo Cable
Verificación de la construcción del cable	10.4.1	X	X
Ensayo de determinación de las propiedades mecánicas del aislamiento antes y después del envejecimiento	10.4.2	X	X
Ensayos de determinación de las propiedades mecánicas de la cubierta antes y después del envejecimiento	10.4.3	X	X
Ensayos de envejecimiento sobre cable completo para verificar la compatibilidad de los materiales	10.4.4	X	X
Ensayo de presión a temperatura elevada en la cubierta exterior	10.4.5	X	X
Ensayo de alargamiento en caliente para el aislamiento	10.4.6	X	X
Ensayo de contracción de la cubierta	10.4.7	X	X
Medida del contenido de negro de humo de la cubierta exterior	10.4.8	X	X
Ensayo bajo condiciones de fuego	10.4.9	X	X
Ensayo de penetración de agua	10.4.10	X	X
Ensayo de presión lateral	10.4.11	X	X
Ensayo de ciclos térmicos	10.4.12	X	X
Ensayo de impacto	10.4.13	X	X
Ensayo de corrosión	10.4.14	X	X
Ensayo de resistencia a la abrasión	10.4.15	X	X

ANEXO C: ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA

Una pieza del cable completo de 6 m de longitud como mínimo, y que no haya sido sometida a ninguno de los ensayos descritos en el apartado 10.3, se debe someter al ensayo de doblado descrito en el apartado 10.3.3.

Se debe cortar una muestra de cable de 3 m de longitud de la pieza anterior y se debe colocar horizontalmente. Del centro de la muestra se debe cortar y retirar un anillo de aproximadamente 50 mm de ancho, hasta dejar únicamente el conductor.

La zona central se debe cubrir mediante un recipiente sellado que contenga el agua. Se debe disponer de un tubo de diámetro mínimo de 10 mm para ventilación de aire (purga) y otro para permitir la entrada del agua desde una altura de 1 m (ver Figura 7).

El tubo, en un período no superior a 5 min, se llena con agua a temperatura ambiente, de forma que la altura del agua en el tubo sea de 1 m por encima del centro del cable (ver Figura 7).

Se debe dejar reposar la muestra durante 24 h.

A continuación, la muestra será sometida a 10 ciclos de calentamiento. Se debe calentar el conductor por un método adecuado (por ejemplo, aplicando una intensidad por el conductor) hasta que alcance una temperatura estable entre 5 y 10°C por encima de la temperatura máxima asignada al aislamiento en servicio normal (ver Tabla 8), seguido de 16 h de enfriamiento natural.

El calentamiento se debe aplicar durante 8 h como mínimo. La temperatura del conductor se debe mantener dentro de los límites de temperatura indicados, durante al menos 2 h de cada período de calentamiento. A continuación se debe dejar enfriar la muestra de forma natural, durante 16 h como mínimo.

La altura del agua se debe mantener en todo momento a 1 m, para lo que será necesario reponer la parte de agua evaporada o filtrada en el cable.

Nota: Para la medida de la temperatura del cable, no se aplicará ninguna tensión a lo largo del ensayo, siendo aconsejable conectar un cable testigo en serie o en paralelo con la muestra a ensayar, midiéndose la temperatura directamente sobre el conductor de dicho cable.

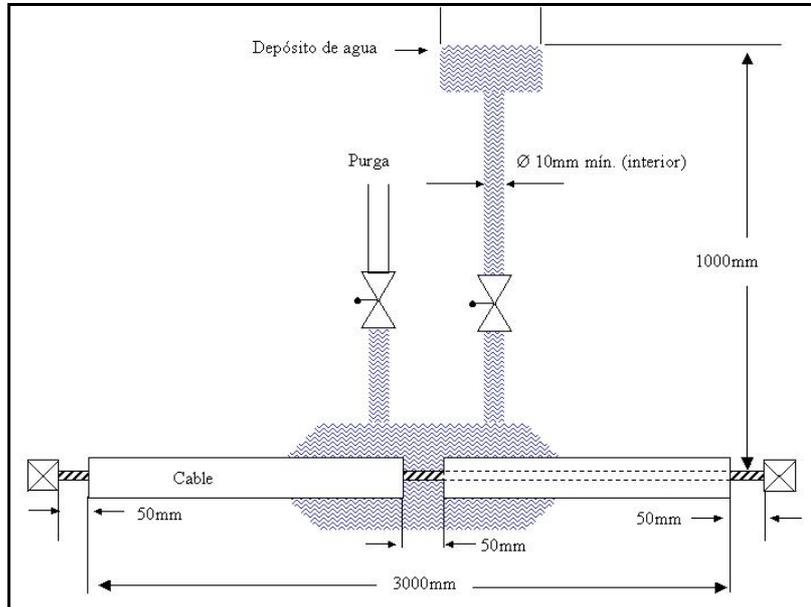


Figura 7: Ensayo de penetración longitudinal de agua

Durante el tiempo que dura el ensayo no debe haber aparición de agua en los extremos del cable.

ANEXO D: MÉTODO DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DE LAS PANTALLAS SEMICONDUCTORAS

Cada muestra de ensayo se debe preparar a partir de una muestra de cable completo de 150 mm.

La muestra de ensayo de la pantalla semiconductora sobre el conductor (pantalla interior) se debe preparar cortando una muestra del núcleo por la mitad longitudinalmente y separando el conductor y el separador, si lo hubiere (ver Figura 8).

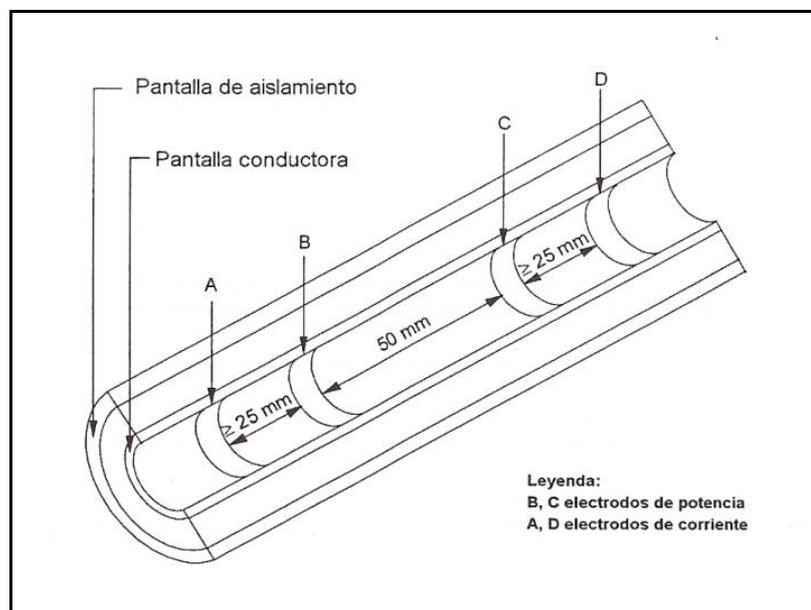


Figura 8: Preparación de la muestra para medir la resistividad de la pantalla semiconductora interior

La muestra de la pantalla semiconductora sobre el aislamiento (pantalla exterior) se debe preparar retirando todos los revestimientos de una muestra de conductor (ver Figura 9).

El procedimiento de determinación de la resistividad volumétrica de las pantallas debe ser el siguiente:

A las superficies semiconductoras se deben aplicar cuatro electrodos bañados en plata que llamaremos A, B, C, y D (ver Figura 8 y Figura 9). Los dos electrodos de tensión, B y C, deben estar separados 50 mm, y los dos electrodos de corriente A y D, se deben colocar cada uno por lo menos 25 mm más alejados que los electrodos de potencia.

Las conexiones se deben realizar a los electrodos por medio de clips adecuados. Al efectuar las conexiones a los electrodos de la pantalla interior se debe asegurar el aislamiento entre dichos clips y la pantalla exterior, en la superficie de la muestra.

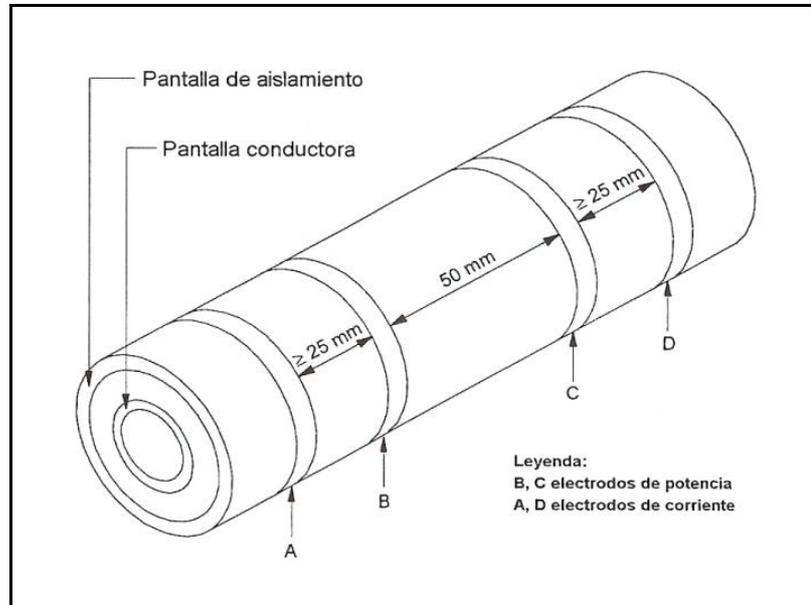


Figura 9: Preparación de la muestra para medir la resistividad de la pantalla semiconductor exterior.

El conjunto se debe colocar en un horno precalentado a la temperatura especificada y, después de un período de tiempo de al menos 30 min, se debe medir la resistencia entre los electrodos por medio de un circuito cuya potencia no debe exceder de 100 mW.

Tras las medidas eléctricas, se deben medir los diámetros y los espesores sobre las pantallas interior y exterior, a temperatura ambiente, cada uno como la media de 6 medidas realizadas sobre la muestra.

La resistividad volumétrica ρ en $\Omega \cdot \text{m}$ se calcula como:

a) pantalla interior (conductor)

$$\rho_c = \frac{R_c \cdot \pi \cdot (D_c - T_c) \cdot T_c}{2 \cdot L_c}$$

donde

ρ_c es la resistividad volumétrica en $\Omega \cdot \text{m}$

R_c es la resistencia medida en Ω

L_c es la distancia entre los electrodos de potencia, en m

D_c es el diámetro sobre la pantalla conductora, en m

T_c es el espesor medio de la pantalla conductora, en m

b) pantalla exterior (aislamiento)

$$\rho_i = \frac{R_i \cdot \pi \cdot (D_i - T_i) \cdot T_i}{2 \cdot L_i}$$

donde

ρ_i es la resistividad volumétrica en $\Omega \cdot m$

R_i es la resistencia medida en Ω

L_i es la distancia entre los electrodos de potencia, en m

D_i es el diámetro sobre la pantalla de aislamiento, en m

T_i es el espesor medio de la pantalla de aislamiento, en m