



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

L.27

(10/96)

SERIE L: CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y
PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS
ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

**Método para estimar la concentración de
hidrógeno en cables de fibra óptica**

Recomendación UIT-T L.27

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES DE LA SERIE L DEL UIT-T
**CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE
PLANTA EXTERIOR**

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

PREFACIO

El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 1 de la CMNT (Helsinki, 1 al 12 de marzo de 1993).

La Recomendación UIT-T L.27 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 6 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por la CMNT (Ginebra, 9-18 de octubre de 1996).

NOTAS

1. En esta Recomendación, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.
2. Los términos anexo y apéndice a las Recomendaciones de la serie L deberán interpretarse como sigue:
 - el *anexo* a una Recomendación forma parte integrante de la misma;
 - el *apéndice* a una Recomendación no forma parte integrante de la misma y tiene solamente por objeto proporcionar explicaciones o informaciones complementarias específicas a dicha Recomendación.

© UIT 1997

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Introducción.....	1
Anexo A – Medición del hidrógeno liberado por cada componente de cable mediante cromatografía de gases ...	2
A.1 Principio.....	2
A.2 Equipo.....	2
A.3 Procedimientos de medición.....	2
A.4 Análisis	3
Anexo B – Medición de la concentración de hidrógeno en una muestra de cable	5
B.1 Cable no relleno	5
B.2 Cable relleno.....	5
Anexo C – Medición de la eficacia a largo plazo de los materiales absorbentes de hidrógeno	6
C.1 Principio.....	6
C.2 Aparato	6
C.3 Procedimientos de medición.....	6
C.4 Análisis	6
Apéndice I – Experiencia del Reino Unido con las concentraciones de hidrógeno en los cables en conductos de fibra óptica con barreras antihumedad	7
I.1 Experiencia en explotación real	7
I.2 Análisis	7
I.3 Referencias	8
Apéndice II – Experiencia japonesa en el aumento de pérdida debido a la generación de hidrógeno en un cable de fibra óptica con cinta impermeabilizante.....	9
II.1 Estructura y materiales del cable con cinta impermeabilizante	9
II.2 Hidrógeno generado por los componentes de cable	9
II.3 Evaluación del aumento de la pérdida debido a la generación de hidrógeno	9
II.4 Aumento de la pérdida en un cable penetrado por el agua	10
Apéndice III – Experiencia española de generación de hidrógeno en los cables de fibra óptica con barrera antihumedad	12
III.1 Estructura de los cables	12
III.2 Experiencia en explotación real.....	12
III.3 Origen del problema	12
III.4 Solución del problema	12

MÉTODO PARA ESTIMAR LA CONCENTRACIÓN DE HIDRÓGENO EN CABLES DE FIBRA ÓPTICA

(Ginebra, 1996)

Introducción

Se ha obtenido considerable experiencia utilizando cables de fibra óptica en aplicaciones terrenales y submarinas, que demuestra que las fibras ópticas proporcionan un medio de transmisión estable.

Hay algunas situaciones en las que la concentración del hidrógeno dentro de un cable puede aumentar a un valor suficientemente grande para producir un aumento de la pérdida óptica de la fibra (véase el apéndice III). Por tanto, existe necesidad de determinar la incorporación de hidrógeno en un cable considerando las formas en que puede generarse hidrógeno en su interior.

Si el escape de hidrógeno a través de la cubierta de poliolefina o la superposición de una barrera antihumedad equilibra el hidrógeno generado en el cable, las concentraciones resultantes en su interior no causan un cambio apreciable en la pérdida óptica (véanse los apéndices I y II).

considerando

- a) que el hidrógeno dentro de un cable puede ser debido a:
 - el hidrógeno liberado por los componentes del cable;
 - la acción electrolítica entre componentes de diferentes metales en presencia de humedad;
 - la reacción corrosiva de componentes metálicos en presencia de humedad;
 - el hidrógeno existente dentro del aire bombeado en las redes de cables presurizados;
- b) que el hidrógeno puede escapar por permeación a través de la cubierta del cable, excepto en cubiertas herméticamente selladas o en las que la concentración de hidrógeno es mayor que dentro del núcleo del cable;
- c) que el cambio de pérdida óptica, que es de lo más apreciable a la longitud de onda de 1,24 μm y/o 1,38 μm , surge como consecuencia de:
 - un cambio temporal debido al hidrógeno molecular dentro del núcleo de la fibra, que es proporcional a la concentración (presión parcial) de hidrógeno;
 - un cambio químico permanente que depende del dopante y de su concentración, debido al oxhidrilo formado por la combinación química de las moléculas de hidrógeno difusas y los defectos estructurales en el vidrio de sílice de la fibra,

se recomienda

- 1) que en los cables que pueden permitir que la concentración de hidrógeno dentro del núcleo del cable aumente hasta un valor que podría causar un aumento apreciable de la pérdida óptica:
 - i) la concentración de hidrógeno prevista dentro del núcleo del cable debe estimarse a partir del conocimiento del hidrógeno liberado por los componentes del cable. Si se desea, puede utilizarse el método de medición de cromatografía de gases descrito en el anexo A para determinar la cantidad de hidrógeno liberado por los componentes del cable;
 - ii) la concentración de hidrógeno en los cables rellenos debe gestionarse por uno o más de los siguientes métodos:
 - reducirse al mínimo por selección cuidadosa de los componentes del cable;
 - reducirse a cero mediante el uso, dentro del cable, de un material absorbente del hidrógeno que debe tener una vida activa comparable a la vida del cable;
 - tener reducida influencia en el rendimiento óptico mediante el uso de fibras herméticamente recubiertas o mediante el uso de una cubierta hermética alrededor del núcleo del cable en el caso de que la concentración exterior de hidrógeno sea superior a la del interior del núcleo del cable;

- iii) la concentración de hidrógeno en cables no rellenos debe ser purgada del cable a intervalos regulares;
 - iv) los largos de cable prototipo no relleno o las muestras cortas especialmente preparadas (hasta 10 m) del cable prototipo relleno deben probarse para confirmar las concentraciones estimadas de hidrógeno por el método de medición descrito en el anexo B;
- 2) que la eficacia a largo plazo del material absorbente del hidrógeno, cuando se utiliza, debe ser confirmada por el método de medición descrito en el anexo C.

En los cables de construcción totalmente dieléctrica, hay suficiente experiencia de propiedades de transmisión estables para hacer innecesaria la prueba de concentraciones apreciables de hidrógeno que podrían producir un aumento de la pérdida óptica.

Anexo A

Medición del hidrógeno liberado por cada componente de cable mediante cromatografía de gases

A.1 Principio

La cromatografía de gases puede utilizarse para estimar la concentración de hidrógeno. La concentración de hidrógeno en un recipiente se estima comparando las crestas de N₂, O₂ y H₂, medidas por cromatografía de gases, con la de una concentración de hidrógeno conocida. La liberación de hidrógeno puede normalmente acelerarse elevando la temperatura ambiente. Condiciones de aceleración tales como la temperatura y el tiempo dependen del volumen de la muestra. La temperatura suele ser de 50 °C a 160 °C, y el tiempo está dentro de las 48 h. La elevada temperatura debe seleccionarse para que esté por debajo del nivel que fundiría o deformaría los materiales del cable. El tiempo debe ser suficientemente largo para que se sature la actividad térmica. Tras la activación térmica, la temperatura se reduce a su nivel inicial y la concentración de hidrógeno es medida por cromatografía de gases. En la figura A.1 se presenta un flujograma para estimar la cantidad de hidrógeno liberado en la muestra de material de cable.

A.2 Equipo

El equipo básico se muestra en la figura A.2. Se utiliza un cromatógrafo de gases para el análisis cuantitativo del hidrógeno. Suele medir el contenido de hidrógeno separando éste de los otros gases a causa del tiempo de retención único de este elemento en la columna, y determinando luego su concentración con un detector de conductividad térmica. Las condiciones ordinarias de dicho cromatógrafo de gases son las siguientes:

- 1) *Columna*

Longitud:	1 a 4 metros
Filtro:	Criba molecular 5A
Temperatura:	40 °C a 50 °C
- 2) *Gas portador (gas argón)*

Caudal:	30 a 40 ml/min
---------	----------------
- 3) *Detector (detector conductivo térmico)*

Gama de temperatura para la detección:	25 °C a 50 °C
--	---------------

A.3 Procedimientos de medición

A.3.1 Preparación de la muestra

Los cables de fibra suelen contener los siguientes componentes:

- fibras de sílice recubiertas;
- materiales polimerizados, tales como:
 - tubos o varillas ranuradas donde pueden insertarse las fibras de vidrio recubiertas de sílice,
 - cintas envolventes, incluidas cintas impermeabilizantes;

- compuestos de gelatina o polvo impermeabilizante, que pueden utilizarse como materiales impermeabilizantes;
- componentes metálicos, de fibra de vidrio o de aramida, que pueden utilizarse como elementos de resistencia mecánica.

El espécimen se prepara como una muestra de prueba. Debe colocarse en un recipiente de concentración por extracción de volumen conocido, que se llena con aire o con un gas inerte, tal como argón, a la presión atmosférica. El recipiente suele ser de vidrio con preferencia al metal, ya que las superficies metálicas ofrecen un lugar para los fenómenos de absorción-desorción de moléculas de hidrógeno que hacen difícil una prueba fiable a bajas concentraciones. El recipiente debe ser a prueba de hidrógeno y no ser de por sí una fuente de hidrógeno. En algunos casos, la muestra puede ponerse en una ampolla de vidrio que tenga un volumen menor que el recipiente y sellarse la boca de la ampolla para evitar fugas de hidrógeno durante la activación térmica. En tales casos, el volumen interior del recipiente o ampolla sellada debe ser unas 10 o más veces mayor que el volumen de la muestra para la reacción de oxidación.

A.3.2 Calibración

La línea maestra calibrada del cromatógrafo de gases debe determinarse antes de la medición. En la parte superior izquierda del flujograma de la figura A.1 se hace una descripción resumida de este procedimiento. Se prepara una muestra estándar primaria de 10000 ppm de hidrógeno en argón como gas maestro que se diluye a las concentraciones deseadas de 10, 20, 50 y 100 ppm. El hidrógeno a esas concentraciones viene dado por un cromatógrafo de gases y la línea maestra calibrada, es decir, la relación entre la concentración de gas y el área en la que se determinan las crestas por el método de los mínimos cuadrados. En la figura A.3 se muestran ejemplos de las crestas y de la línea maestra calibrada obtenidos en la calibración.

A.3.3 Medición

Después de preparada la muestra, el hidrógeno liberado de la muestra de prueba se activa térmicamente según el procedimiento mostrado en la parte superior izquierda de la figura A.1. En esta etapa, la temperatura de la muestra se eleva a un nivel predeterminado comprendido entre 50 °C y 160 °C. El límite de temperatura superior debe estar por debajo del nivel al que la muestra de prueba se fundiría o deformaría. El tiempo debe ser suficientemente largo para poder desprestigiar el tiempo necesario para conseguir el equilibrio térmico, y suficientemente corto para asegurar una muestra reproducible. El aire es preferible como atmósfera de reacción, debido a que las fibras ópticas en servicio están normalmente rodeadas de aire y la oxidación afecta a la liberación de hidrógeno de materiales orgánicos tales como compuestos gelatinosos y resinas de recubrimiento. A continuación la muestra de prueba se devuelve a la temperatura ambiente.

0,5 ml de gas procedente del interior del recipiente o ampolla es inyectado en el cromatógrafo de gases, y la concentración de hidrógeno se obtiene a partir de la línea maestra. Cuando se ha utilizado una ampolla, debe romperse en el recipiente antes de tomar la medida. La cantidad de hidrógeno liberado de la muestra de prueba puede obtenerse mediante:

$$H_2 = A \cdot \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{ml/g o ml/cm, por el peso o longitud de la muestra de prueba})$$

donde:

- A Es la concentración de hidrógeno obtenida de la línea maestra calibrada correspondiente al área entre las crestas en el cromatógrafo de gases del gas extraído
- V_1 Es el volumen inyectado en el cromatógrafo de gases
- V_2 Es el volumen interno del recipiente

NOTA – El hidrógeno en la región de 10^{-5} ml y superior puede normalmente detectarse por este método.

A.4 Análisis

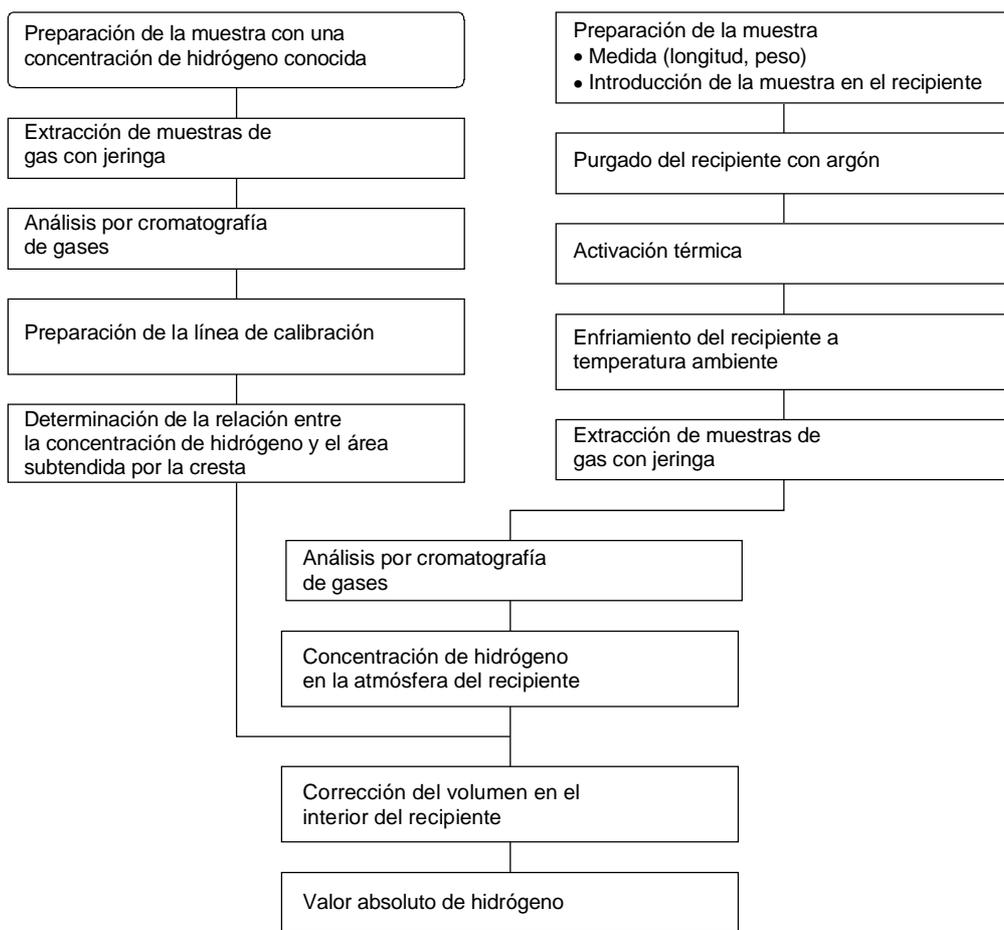
La máxima cantidad de hidrógeno generada por una muestra de prueba a una temperatura elevada puede estimarse por la medición antes descrita. La ley en la variación de la liberación de hidrógeno debida a la variación de temperatura se considera que sigue una representación de Arrhenius:

$$\text{Log } [H_2] = f(1/T)$$

donde:

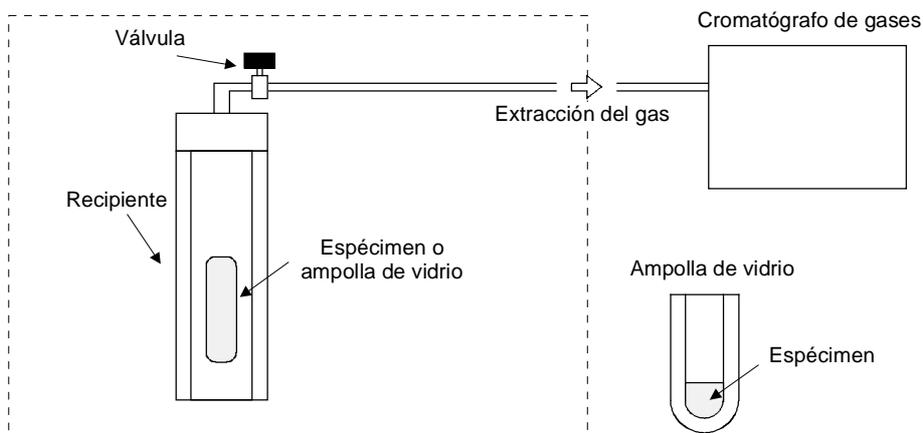
- T Es la temperatura absoluta

La máxima cantidad de hidrógeno generada por la muestra de prueba a la temperatura en servicio puede calcularse conociendo la relación entre la cantidad de hidrógeno liberada y la temperatura.



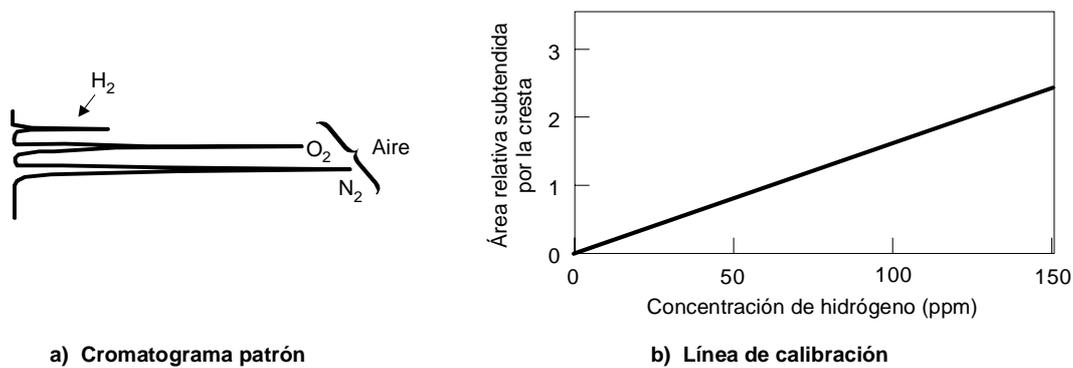
T0603940-96/d01

Figura A.1/L.27 – Ejemplo de flujograma de la cromatografía de gases



T0603680-94/d02

Figura A.2/L.27 – Configuración del equipo para la medición del hidrógeno derivado de los componentes del cable



T0603690-94/d03

Figura A.3/L.27 – Ejemplos de un cromatógrafo y de línea de calibración utilizados en la medición de la cromatografía de gases

Anexo B

Medición de la concentración de hidrógeno en una muestra de cable

B.1 Cable no relleno

B.1.1 Método de laboratorio

Se almacena un largo de cable en una cámara climática con sus extremos sellados. Se utiliza normalmente la técnica de medición de cromatografía de gases, descrita en el anexo A, para examinar una muestra de gas extraída del cable.

Para cubiertas de cable no herméticamente selladas, la medición puede llevarse a cabo en una muestra de la cubierta para determinar la velocidad del escape del hidrógeno por permeación.

B.1.1.1 Preparación de la muestra

A fin de sellar los extremos del cable a conectores de cables especiales, se utiliza un cebo para conectar la cubierta de cable al adhesivo, que se aplica a cada uno de los conectores de cable metálicos. Para comprobar la estanqueidad al gas del aparato de prueba, se conecta primero a un largo de tubo metálico sin fisuras recubierto de polímero con un conjunto de conectores de cable pegados a cada extremo.

B.1.1.2 Medición

Una vez que el cable se ha estabilizado a la temperatura en la cámara ambiental, se extrae del cable una muestra del mismo y se mide la concentración de hidrógeno. La medición se repite.

B.1.2 Método en explotación real

La concentración de hidrógeno puede medirse directamente utilizando una técnica de célula de combustible, por ejemplo, un *monitor de hidrógeno exhalado* portátil fabricado para aplicaciones médicas. Cuando el cable es presurizado, es posible medir la concentración de hidrógeno monitorizando el gas extraído en una serie de cierres de cubierta a lo largo de la ruta de cable desde válvulas que forman parte de las instalaciones de presurización del cable. Se utiliza una concentración conocida de mezcla hidrógeno aire para calibrar el monitor.

B.2 Cable relleno

La concentración de hidrógeno en el entorno de cable interno viene determinada por el conjunto de muestras representativas en tubos de drenaje equipados con un largo de cable prototipo y midiendo éstas de acuerdo con B.1.1.

Los tubos, que son suficientemente pequeños para no perturbar la atmósfera permeable interna del cable, se insertan en el núcleo del cable durante la fabricación del mismo. Suelen insertarse dos tubos de drenaje para mantener el volumen muestreado inferior al 1% del volumen total de cable permeable interno.

Anexo C

Medición de la eficacia a largo plazo de los materiales absorbentes de hidrógeno

C.1 Principio

Es necesaria una prueba que demuestre que el material absorbente de hidrógeno es capaz de absorber hidrógeno mediante un proceso químico a todo lo largo de la vida de servicio de un cable. La prueba debe demostrar que la velocidad de absorción permanece estable con el tiempo a fin de que pueda evaluarse la cantidad de rarefactor necesario para proteger el cable.

La prueba se lleva a cabo disponiendo una cantidad conocida de rarefactor (getter) en un volumen cerrado, desgaseando el material, introduciendo hidrógeno a una presión conocida y midiendo la absorción de hidrógeno por la reducción de presión después de un periodo de tiempo establecido. La prueba se repite después del envejecimiento acelerado del rarefactor para mostrar una velocidad permanente de absorción. Una temperatura de 105 °C durante un mes representa 20 años a temperatura ambiente si se supone un valor de 11 kcal/mol como energía de activación del proceso de envejecimiento.

C.2 Aparato

El aparato consiste en un contenedor metálico con válvulas ajustadas de vacío que pueden evacuarse y llenarse con gas hidrógeno. Un transductor de presión monitoriza continuamente la presión interna.

C.3 Procedimientos de medición

- Pesarse el portador de la muestra hasta una exactitud de 0,1 g.
- Extender 100 ± 1 g de rarefactor uniformemente en el portador de la muestra y pesarse de nuevo.
- Insertar el portador de la muestra y sellar el aparato.
- Desgasear durante 24 h a menos de 10 Pa.
- Introducir hidrógeno a 60 kPa.
- Después de 24 h, anotar la presión de hidrógeno y la temperatura.

C.4 Análisis

La absorción de hidrógeno se expresa como ml de hidrógeno en STP por gramo de compuesto, y se calcula por la siguiente fórmula:

$$\text{Hidrógeno absorbido} = \frac{273(P - P_r)V}{1013(273 + T_r)M}$$

donde:

- P Es la presión inicial en 100 Pa
- P_r Es la presión de hidrógeno después de 24 h
- T_r Es la temperatura (0 °C)
- V Es el volumen del aparato (ml)
- M Es el peso de rarefactor en gramos

Apéndice I

Experiencia del Reino Unido con las concentraciones de hidrógeno en los cables en conductos de fibra óptica con barreras antihumedad

I.1 Experiencia en explotación real

Puede extraerse experiencia práctica de los 1×10^6 km de fibra óptica instalados en el Reino Unido desde los últimos años de la década de los 70. Los cables contienen una barrera antihumedad de cinta laminada de aluminio y muchos de los primeros cables eran no rellenos y presurizados. Ha sido por tanto posible medir la concentración de hidrógeno en cables instalados durante varios años en conductos supervisando el gas extraído contenido en los cables. La concentración de hidrógeno se midió utilizando un *monitor de hidrógeno exhalado* descrito en el anexo B. El valor de cresta registrado de la concentración de hidrógeno en los cables en conductos es de 400 ppm (1). No ha habido informes de ningún aumento detectable de la pérdida óptica con dichas concentraciones de hidrógeno dentro de los cables.

I.2 Análisis

Cuando se ignoran los efectos de solubilidad, la presión parcial del hidrógeno dentro de la pantalla barrera antihumedad viene dada por:

$$P = \frac{H}{Q} \left[1 - \left(1 - \frac{P_0 Q}{H} \right) \exp \left(- \frac{Q \cdot t}{V_0} \right) \right] \quad (1)$$

donde:

- P Es la presión parcial de hidrógeno (atm)
- P_0 Es la presión parcial original de hidrógeno (atm)
- H Es la velocidad de evolución del hidrógeno (ml/cm · s)
- Q Es la velocidad de escape del hidrógeno a través de la barrera (ml/cm · s)
- t Es el tiempo en segundos
- V_0 Es el volumen libre por largo de cable unidad (ml/cm)

Suponiendo que H no es variable y que la constante de tiempo V_0/Q es corta comparada con la vida útil del cable, la concentración de hidrógeno dentro del cable durante el periodo de servicio tenderá asintóticamente a:

$$P = \frac{H}{Q} \quad (2)$$

como muestra la figura I.1.

Considérese una construcción de cable que tenga una barrera antihumedad compuesta de una cinta laminada de aluminio longitudinal aplicada con una superposición de al menos 6 mm. La cinta de aluminio está recubierta por un lado con polímero de hasta 40 μm de espesor. El calor de extrusión de la cubierta de polietileno sella la superposición produciendo un canal de 40 $\mu\text{m} \times 6$ mm a través del cual puede difundirse el hidrógeno. Ésta es la ruta más significativa para que escape el hidrógeno, ya que la difusión a través de 150 μm de cinta de aluminio es mucho más lenta.

Q puede medirse directamente. Se hace pasar a través de las muestras de cable, cada una rodeada por un tubo de cobre sellado, nitrógeno que contenga un porcentaje conocido de hidrógeno. Se observa el nivel de hidrógeno en función del tiempo. Seleccionado cierto número de muestras de prueba de diferente longitud, es posible eliminar los efectos terminales y reducir la posibilidad de un defecto inesperado en la construcción de la superposición en una muestra de prueba.

A 20 °C la velocidad de difusión a través de la barrera antihumedad con superposición perfectamente formada se calcula que es:

$$Q = 6,1 \times 10^{-10} \text{ ml/sec.atm.cm}$$

Como la superposición no está perfectamente formada a lo largo del cable, el valor medio de la velocidad de difusión obtenido de las mediciones es:

$$Q = 3,7 \times 10^{-8} \text{ ml/sec.atm.cm}$$

Si la temperatura del cable instalado es 5 °C, esta velocidad de difusión media, cuando se corrige a la temperatura de explotación real, resulta:

$$Q = 1,58 \times 10^{-8} \text{ ml/sec.atm.cm}$$

La velocidad de evolución del hidrógeno, que depende principalmente del hidrógeno liberado por la corrosión de la cinta de aluminio, se determina por medición que es:

$$H = 1,5 \times 10^{-11} \text{ ml/sec.atm.cm}$$

Llevando este valor a la ecuación (2) se obtiene que la presión parcial de hidrógeno es:

$$P = 1,5 \times 10^{-11} / 1,58 \times 10^{-8} = 949 \text{ ppm}$$

El valor en explotación real registrado de 400 ppm es mucho menor, porque habrá siempre algún flujo de gas en un sistema presurizado estático causado por las fugas.

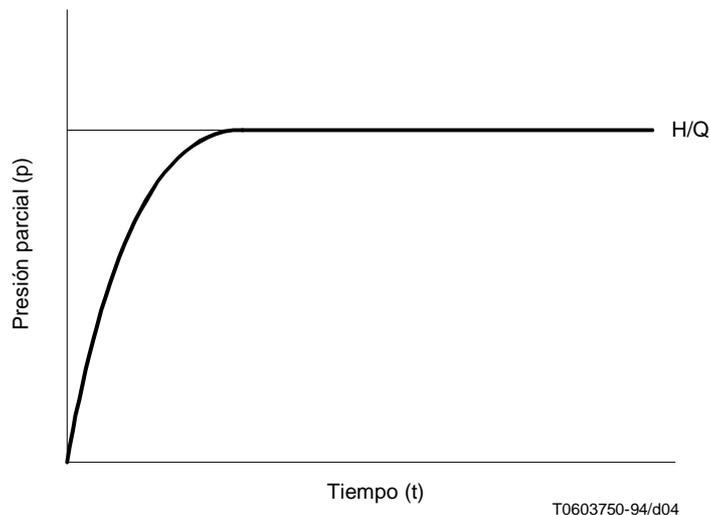


Figura I.1/L.27 – Presión parcial de hidrógeno en función del tiempo para una muestra de cable típica

I.3 Referencias

- HORNING (S.), CASSIDY (S.A.), REEVE (M.H.) The distribution of H₂ gas along an inland optical fibre cable. Symposium of Optical Fibre Measurements, 1984, *National Bureau of Standards*, NSB-SP-683, pp. 85-88, octubre de 1984.

Apéndice II

Experiencia japonesa en el aumento de pérdida debido a la generación de hidrógeno en un cable de fibra óptica con cinta impermeabilizante

II.1 Estructura y materiales del cable con cinta impermeabilizante

Para asegurar la estabilidad a largo plazo de la característica de un cable de fibra óptica, es importante evitar la penetración de agua en el cable y la generación de hidrógeno en su interior. Se ha desarrollado un cable impermeabilizado en el que las cintas impermeabilizantes se arrollan en torno a cada varilla ranurada y también al núcleo del cable. Estos cables son fáciles de fabricar y tratar. Las cintas impermeabilizantes se hinchan cuando absorben agua y forman una especie de dique para evitar su penetración. El agua puede detenerse a 3 metros de la entrada. La estabilidad a largo plazo en función del aumento de la pérdida óptica requeriría verificación debido al posible humedecimiento de una corta sección de cable.

Una sección transversal del cable, presentada en la figura II.1, muestra las varillas ranuradas trenzadas en torno a un elemento central de resistencia mecánica. Cada varilla ranurada se compone de un hilo de acero central envuelto en polietileno. Las cintas de fibra óptica se insertan ajustadamente en cada ranura, y la varilla se envuelve con cinta impermeabilizante. Se aplica una envoltura de cinta impermeabilizante a las varillas extendidas y se aplica al conjunto una cubierta de polietileno. Todos los hilos de acero se cubren con un fino recubrimiento de cobre. Las cintas impermeabilizantes y los recubrimientos de las cintas de fibra óptica son de materiales que generan poco hidrógeno.

II.2 Hidrógeno generado por los componentes de cable

Se midieron las cantidades de hidrógeno generadas por los recubrimientos de cinta, los hilos de acero y la cinta impermeabilizante de acuerdo con el anexo A. Se midieron las cintas secas y las que habían absorbido agua marina artificial. El hidrógeno generado para los diferentes materiales por cm^2 a 80°C se muestra en la figura II.2.

II.3 Evaluación del aumento de la pérdida debido a la generación de hidrógeno

El aumento de la pérdida óptica debido al hidrógeno puede clasificarse en dos tipos:

- el debido a las moléculas de hidrógeno (H_2);
- el debido al oxhidrilo (OH).

El aumento de pérdida óptica debido a H_2 es un fenómeno reversible y es proporcional a la presión parcial del hidrógeno en el cable de fibra óptica. La cantidad viene dada por:

$$L_{\text{H}_2}(\lambda) = C_{\text{H}_2}(\lambda) \cdot e^{2,24/RT} \cdot p \quad (\text{dB/km}) \quad (1)$$

donde:

R Es la constante del gas, con un valor de $1,986 \times 10^{-3}$ (kcal/mol $^\circ\text{K}$)

T Es la temperatura absoluta ($^\circ\text{K}$)

p Es la presión parcial de hidrógeno en el cable

$C_{\text{H}_2}(\lambda)$ Es un coeficiente dependiente de la longitud de onda y es el mismo para las fibras ópticas monomodo y multimodo, ya que no depende de las concentraciones de dopante.

Los valores de $C_{\text{H}_2}(\lambda)$ a $1,31 \mu\text{m}$ y $1,55 \mu\text{m}$ se estiman en 0,0102 y 0,0195, lo que hace respectivamente el aumento de pérdida a $1,55 \mu\text{m}$ casi el doble que a $1,31 \mu\text{m}$.

La pérdida óptica debida al OH es irreversible y dependiente del tiempo. La magnitud $L_{\text{OH}}(\lambda)$ viene dada por:

$$L_{\text{OH}}(\lambda) = C_{\text{OH}}(\lambda) \cdot e^{-10,79/RT} \cdot p^{0,5} \cdot t^{0,38} \quad (\text{dB/km}) \quad (2)$$

donde:

t Es el tiempo en horas

$C_{OH}(\lambda)$ Es un coeficiente dependiente de la longitud de onda, y es diferente para fibras monomodo y multimodo, ya que depende de las concentraciones de dopante. Los valores a 1,31 μm y 1,55 μm para fibra óptica monomodo se estiman en $2,1 \times 10^4$ y $1,7 \times 10^4$ respectivamente.

La presión parcial, p , puede estimarse a partir del volumen de cable en el que el hidrógeno puede difundirse y de las mediciones de hidrógeno generado en los componentes de cable.

Los aumentos calculados de la pérdida a temperatura ambiente durante 20 años se resumen en el cuadro II.1:

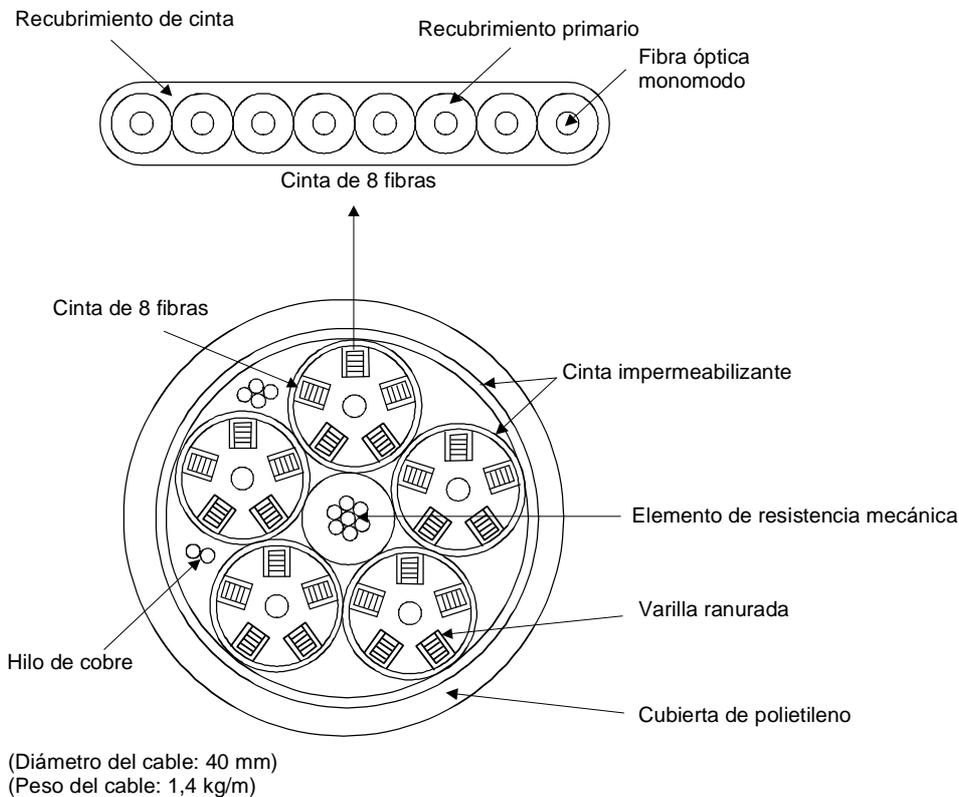
Cuadro II.1 – Aumento de pérdida calculado en una fibra monomodo

Longitud de onda	En el aire		En el agua	
	1,31 μm	1,55 μm	1,31 μm	1,55 μm
L_{H_2}	0,0001	0,0003	0,0000	0,0001
L_{OH}	0,0005	0,0027	0,0002	0,0016
Total	0,0006	0,0030	0,0002	0,0017

El exceso de pérdida se estima inferior a 0,005 dB/km a 1,31 μm y a 1,55 μm .

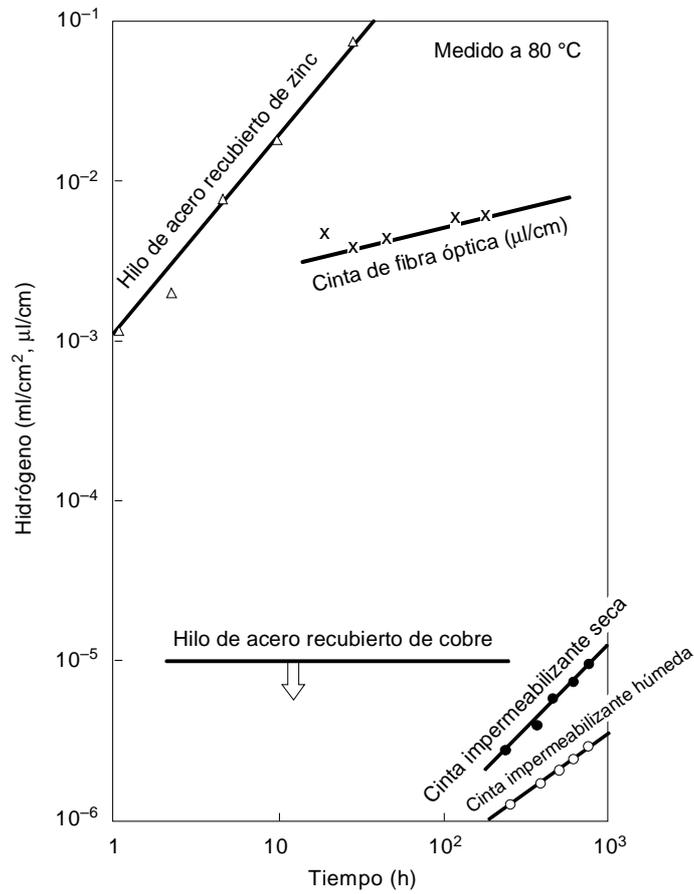
II.4 Aumento de la pérdida en un cable penetrado por el agua

A fin de investigar la estabilidad a largo plazo de un cable penetrado por el agua, se bombeó agua a través de un largo de cable de 50 m, que se mantuvo luego a 60 °C en una cámara de prueba a 90% RH. Se empalmaron 20 fibras en una ranura en un largo de 1 km. Los resultados de la medición de la pérdida óptica se muestran en la figura II.3. No pudo detectarse ningún aumento de la pérdida a 1,24 μm después de cinco meses. Una reducción de la pérdida a 1,55 μm indica cierta relajación en el agrupamiento de fibras durante este periodo.



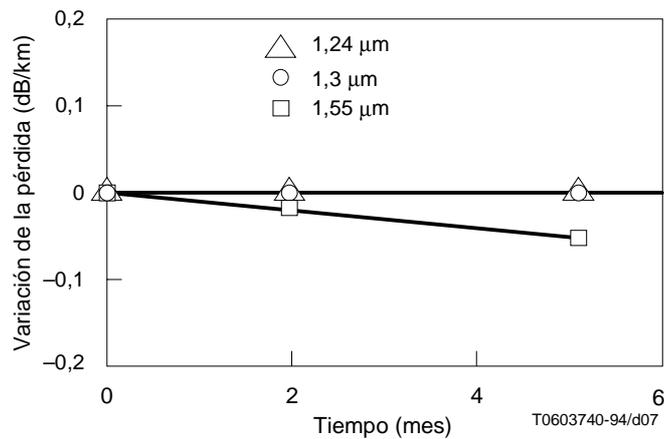
T0603720-94/d05

Figura II.1/L.27 – Cable de fibra óptica impermeabilizado de 1000 fibras



T0603730-94/d06

Figura II.2/L.27 – Hidrógeno generado por diversos materiales de cable



T0603740-94/d07

Figura II.3/L.27 – Variación de la pérdida de un cable impermeable humedecido (a 60 °C y 90% RH)

Apéndice III

Experiencia española de generación de hidrógeno en los cables de fibra óptica con barrera antihumedad

III.1 Estructura de los cables

Entre 1985 y 1990 Telefónica instaló cables de fibra óptica monomodo que se construyeron con una barrera antihumedad de copolímero-aluminio y un elemento de resistencia mecánica central de acero galvanizado trenzado. Todos estos cables tenían relleno de gelatina.

III.2 Experiencia en explotación real

Aun cuando la experiencia en explotación real nos reveló que esta concentración de hidrógeno en los cables no es importante, hemos encontrado en algunos casos cables instalados en los que la concentración de hidrógeno es suficiente para producir aumentos de la atenuación en todas las fibras del cable, en la segunda y en la tercera ventanas de transmisión. El máximo aumento de atenuación medido fue de 0,3 dB/km en la segunda ventana y de 0,6 dB/km en la tercera ventana, correspondiente a una presión parcial de hidrógeno en torno a 1 atm en el núcleo del cable.

La figura III.1 muestra la atenuación especial de una fibra en un cable averiado (afectado por el hidrógeno).

III.3 Origen del problema

Después de llevar a cabo varias pruebas, llegamos a la conclusión de que el problema se debía a la presencia de agua o de humedad dentro del cable, en contacto con un elemento de resistencia mecánica de acero galvanizado.

La hipótesis más probable es que los cables se fabricaron en malas condiciones (con un elevado contenido de agua o de humedad), o que el acero galvanizado no fue tratado adecuadamente.

III.4 Solución del problema

Se ha utilizado con éxito en las pruebas de laboratorio un método para eliminar el hidrógeno. El método consiste en la conexión del elemento de resistencia mecánica de acero galvanizado (en nuestro caso recubierto con polietileno) a una fuente de aire seco a una presión de 5 atm (véase la figura III.2). Después de varias semanas (entre dos y ocho según la longitud del cable), el nivel de hidrógeno se redujo a valores insignificantes. Cuatro meses después de desconectarse el aire seco, no se ha detectado ninguna nueva generación de hidrógeno.

La figura III.3 muestra la disminución de la atenuación espectral en un cable de 1150 m de longitud durante las cuatro semanas posteriores a la conexión a la fuente de aire seco.

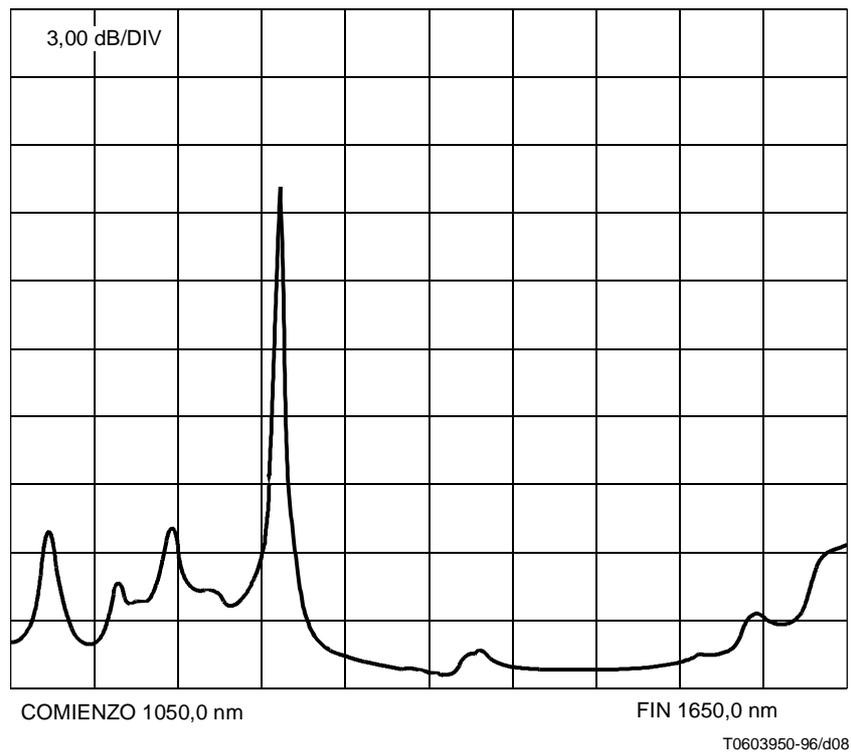


Figura III.1/L.27 – Atenuación especial de una fibra en un cable averiado de 1920 m de longitud (afectado por el hidrógeno)

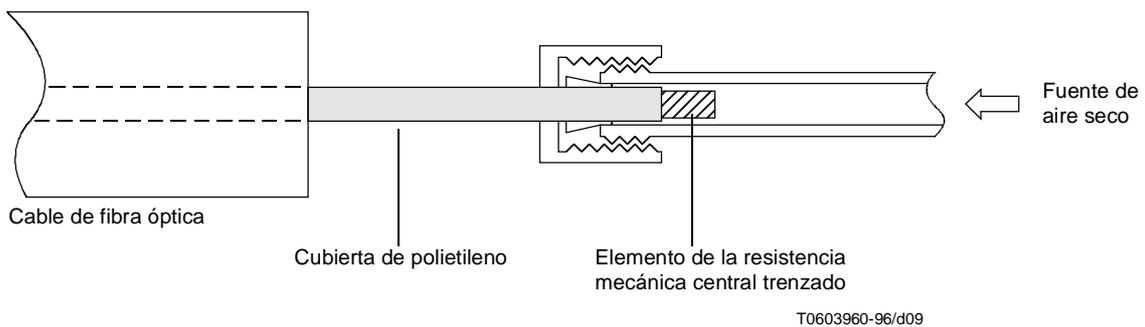


Figura III.2/L.27 – Conexión del cable a la fuente de aire seco

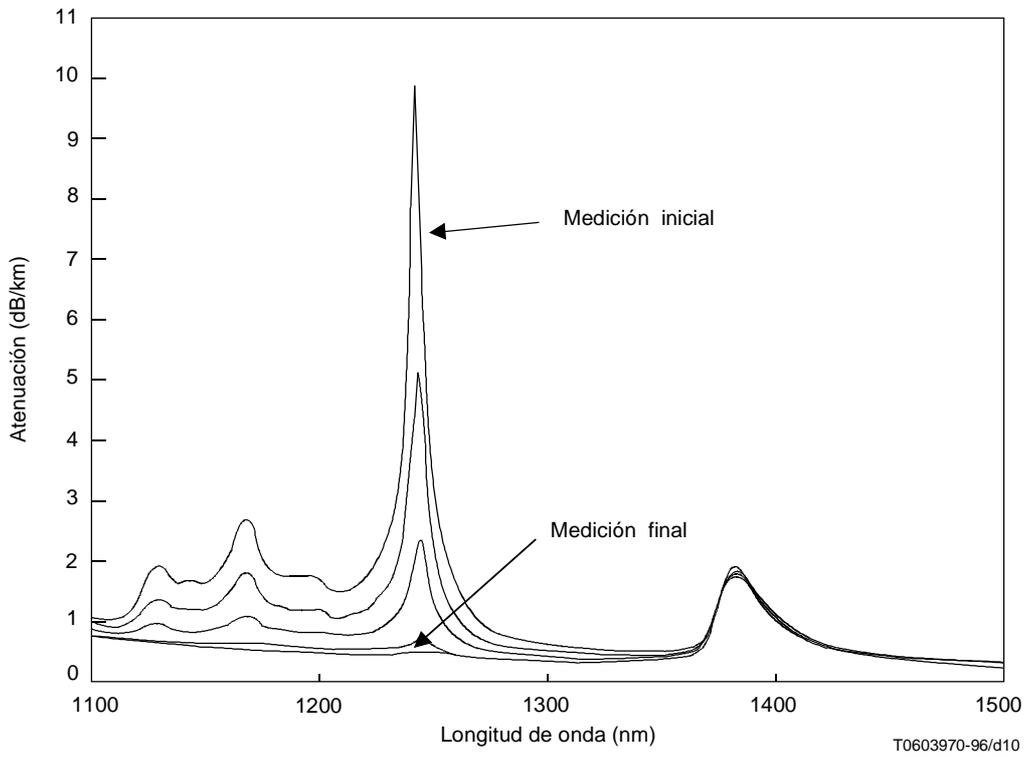


Figura III.3/L.27 – Disminución de la atenuación espectral en un cable de 1150 m durante cuatro semanas después de la introducción de aire seco

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

- Serie A Organización del trabajo del UIT-T
- Serie B Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
- Serie C Estadísticas generales de telecomunicaciones
- Serie D Principios generales de tarificación
- Serie E Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
- Serie F Servicios de telecomunicación no telefónicos
- Serie G Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
- Serie H Sistemas audiovisuales y multimedios
- Serie I Red digital de servicios integrados
- Serie J Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
- Serie K Protección contra las interferencias
- Serie L Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior**
- Serie M Mantenimiento: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
- Serie N Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
- Serie O Especificaciones de los aparatos de medida
- Serie P Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
- Serie Q Conmutación y señalización
- Serie R Transmisión telegráfica
- Serie S Equipos terminales para servicios de telegrafía
- Serie T Terminales para servicios de telemática
- Serie U Conmutación telegráfica
- Serie V Comunicación de datos por la red telefónica
- Serie X Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
- Serie Z Lenguajes de programación