

Comunicaciones Eléctricas



Transmisión · Ingeniería e instalación de redes

Comunicaciones Eléctricas, revista técnica trimestral de Alcatel NV, presenta las investigaciones, los desarrollos y las realizaciones conseguidas por las compañías Alcatel en todo el mundo.

Publicada desde 1922 en versión inglesa, se edita actualmente en cuatro idiomas y su distribución es universal.

Comunicaciones Eléctricas

Volumen 63, Número 3 · 1989

Consejo Editorial

- Françoise Sampermans
Relaciones Corporativas y Publicidad
- Dominique de Boisseson
Alcatel Transmission
- Jacques Ernest
Investigación y Tecnología
- Jean-Louis Pernin
Alcatel Business Systems
- Bernard Peronin
Alcatel Cables
- Giorgio Poretti
Alcatel Network Engineering and Installation
- Werner Schmidt
Patentes
- Renaat Van Malderen
Alcatel Public Network Systems

Editores

- Editor-Jefe internacional*
Michael Deason, Romford
- Ediciones locales*
Comunicaciones Eléctricas
Antonio Soto, Madrid
- Revue des Télécommunications*
Catherine Camus, París
- Electrical Communication*
Rod Hazell, Romford
- Elektrisches Nachrichtenwesen*
Wolfgang Schmid, Stuttgart

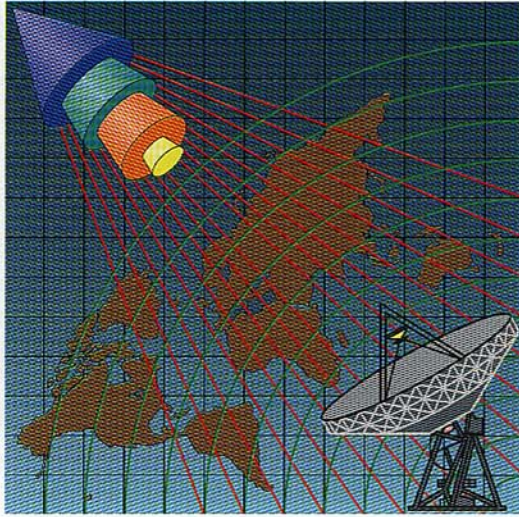
Transmisión · Ingeniería e instalación de redes

- 190 **Presentación**
- 192 **Comunicaciones rurales: problemas y soluciones**
B. Culot, R. Cacheiro, J. Couet y H. K. Ligotky
- 200 **RURTEL: sistema de microondas para telecomunicaciones rurales**
H. K. Ligotky
- 211 **Sistemas de conmutación para aplicaciones rurales**
R. Cacheiro y J. Espantaleón
- 221 **Sistemas submarinos de telecomunicación de Alcatel: tradición e innovación**
J. Devos
- 226 **Cable para sistemas submarinos de telecomunicación**
C. Reinaudo
- 231 **Sistema óptico submarino de telecomunicación S560**
J. P. Trezeguet
- 240 **Selección de dispositivos optoelectrónicos para repetidores submarinos**
J. L. Boussois, J. L. Goudard, M. Gueguen, B. Kramer y D. Sauvage
- 249 **Nueva generación de sistemas de línea de fibra óptica de baja capacidad**
F. Canal Cano y F. Fatuarte Torres
- 257 **Sistema de vigilancia en vídeo por fibra óptica para el metro de Milán**
P. Barzagli y P. Covoni
- 263 **Red de área metropolitana experimental de fibra óptica para la Universidad de Florencia**
P. Boscolo, S. Renault y S. Susini
- 271 **Instalación experimental de un cable de tierra de fibra óptica en líneas de alta tensión**
P. Laurenzi y G. Maraviglia
- 279 **Ingeniería de redes asistida por ordenador**
C. Guthmann
- 286 **Redes de videocomunicación por fibra óptica: ingeniería e instalación de redes de cable**
J. P. Boinet
- 294 **Red telefónica en Tailandia**
J. Swetchine
- 300 **En este número**
-

Publicado en diciembre de 1989
© Alcatel NV, 1989

Las direcciones de los editores se dan en la página 302





Columna vertebral de las redes de comunicación modernas, los sistemas de transmisión permiten enviar voz, datos e imágenes a través del mundo. La gran cobertura de las redes actuales – a menudo países enteros – exige una alta especialización para la ingeniería e instalación de las mismas, incluyendo la planificación, las pruebas y el mantenimiento. Los Grupos de Productos de Alcatel, y en particular Alcatel Transmission y Alcatel Network Engineering & Installation, reúnen toda la experiencia necesaria para suministrar “llave en mano” redes de telecomunicación.

Presentación

Alcatel, una de las principales compañías de telecomunicación del mundo, es capaz de suministrar una enorme diversidad de productos para la mayoría de las aplicaciones de este sector. No obstante, dada la creciente complejidad de los sistemas de comunicación modernos, entregar productos individuales a nuestros clientes y dejarles que se construyan su propio sistema no es ya suficiente; se requiere un enfoque más totalizador que ofrezca soluciones centradas en sistemas, muy probablemente con equipos suministrados por todos los Grupos de Productos Alcatel. El rasgo distintivo de esta óptica global es que las soluciones ofrecidas están cuidadosamente ajustadas a las necesidades de los clientes, tanto en tecnología como en facilidades y costes.

Con gran frecuencia se ofrecen contratos “llave en mano” que incluyen todos los aspectos de un proyecto, desde la planificación de la red y las obras de ingeniería civil a la prueba de la red terminada, pasando por el suministro e instalación del equipo. Muy a menudo tales contratos cubren la capacitación de técnicos de ingeniería y personal de operación y mantenimiento. En todos los casos es esencial prestar una asistencia total al cliente, aun después de la instalación, para asegurar que obtenga toda la utilidad posible de su nueva red.

La transmisión es uno de los campos donde este enfoque global es de particular importancia. Por ejemplo, para Alcatel Transmission es muy corriente instalar llave en mano sistemas completos de microondas o de transmisión por cable submarino. En los artículos de este número de *Comunicaciones Eléctricas* se dan algunos ejemplos de sistemas de transmisión, ofrecidos desde esta óptica global que aborda necesidades específicas de los clientes.

En las zonas rurales, con población escasa y muy dispersa, se precisa un enfoque de sistema para proporcionar a la gente un servicio de telecomunicación igual al disponible en las ciudades, pero sin los costes que suelen entrañar los sistemas rurales. La combinación de los recursos de tres de sus Grupos de Productos – Transmisión, Sistemas de Redes Públicas y Comunicaciones de Empresa – permite a Alcatel lograr este difícil objetivo. Los pequeños sistemas de microondas, los sistemas de línea de fibra óptica de baja capacidad, las pequeñas estaciones terrenas FASTCOM* para redes de satélite, el sistema de distribución de abonados RURTEL* por microondas, las pequeñas centrales autónomas asociadas con unidades remotas de abonados y las PABX potenciadas, tienen todos un papel que desempeñar en la prestación de una gama completa de servicios a los abonados a un coste económico. Este enfoque no solamente favorece a los abonados sino también a los explotadores de la red, que son capaces de elevar al máximo los beneficios sobre sus inversiones y reducir los costes de la operación y el mantenimiento.

Las soluciones globales para sistemas submarinos de telecomunicación combinan los recursos de Alcatel Transmission y Alcatel Cables. Esta aplicación es exigente, y hay pocas compañías que dominen esta técnica y tengan productos con la fiabilidad requerida. Sólo se admiten tres fallos en el equipo submarino en sus 25 años de vida útil. La larga experiencia

* Marca registrada del Grupo Alcatel.

en el entorno adverso del fondo marino, la tecnología innovadora y unos meticulosos procedimientos de diseño y selección son las claves para alcanzar tal fiabilidad. Además, se requieren técnicas y prácticas especiales para tender los cables y depositarlos sobre el lecho submarino. Alcatel Submarcom coordina todas estas actividades y actúa como único intermediario ante el cliente.

La ingeniería e instalación de redes son aspectos esenciales de cualquier proyecto llave en mano. Reconociendo esto, Alcatel ha formado un Grupo de Productos dedicado a esta actividad importante, aunque a menudo subestimada. Después de todo, es inútil producir equipos de la mejor calidad si no se pueden instalar de modo eficaz y económico, ni se prueban exhaustivamente antes de su entrega al cliente. Por ello Alcatel Network Engineering & Installation tiene una misión esencial como suministrador de sistemas llave en mano, y para cumplir sus objetivos trabaja en estrecha unión con los demás Grupos de Productos ayudándoles en este especializado terreno, aprovechándose de sus nuevas tecnologías e informándoles de los resultados de sus trabajos de instalación que pudieran ser de utilidad a los diseñadores de sistemas.

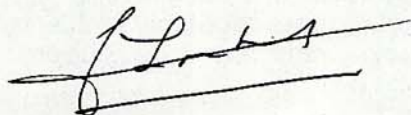
La misión primordial de este Grupo de Productos es la de establecer y reforzar la capacidad de la Compañía para instalar redes de comunicación. Partiendo de la actividad básica de construcción e instalación de planta exterior y las obras de ingeniería asociadas, el Grupo está ampliando su radio de acción para englobar una gama de servicios a explotadores de telecomunicación públicos y privados: planificación y diseño de redes, aprovisionamiento de equipos, instalación, mantenimiento y capacitación. Este enfoque "orientado al servicio" permite a Alcatel satisfacer los deseos de los clientes y proporcionarles los servicios que necesiten en el futuro.

Si bien hoy el área más importante para la ingeniería e instalación de redes son las telecomunicaciones públicas, su ámbito se está ensanchando para incorporar los sistemas y redes de telecomunicación especializados (voz, datos e imagen) para usuarios públicos y privados, como las compañías de transporte, empresas de servicios públicos, universidades y grandes sociedades. Alcatel puede dedicar a ese campo la experiencia acumulada en esa actividad de sus numerosas compañías, siendo así una de las pocas organizaciones capaces de suministrar redes de telecomunicación completas, incluyendo la ingeniería e instalación de la propia red.

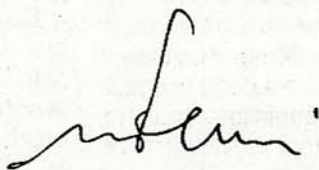
Actualmente la ingeniería e instalación de redes está concentrada en seis emplazamientos principales: Alcatel SIETTE en Italia, principal casa que trabaja en este área, Alcatel REYSSA en España, la Division Chantiers de Les Câbles de Lyon en Francia, kabelmetal electro y Alcatel SEL en Alemania, y Alcatel STK en Noruega que está muy involucrada en redes privadas. Varias de estas compañías trabajan en importantes proyectos llave en mano por todo el mundo. Además hay algunas otras compañías que están entrando en estas actividades.

Como se indica en este número de *Comunicaciones Eléctricas*, las fibras ópticas y la planificación asistida por ordenador son importantes para nuestras futuras tareas de ingeniería e instalación de redes. Las fibras ópticas se utilizan en un número creciente de sistemas que requieren una transmisión rápida y económica de señales de voz, datos o vídeo. A medida que las redes de fibra óptica o de otro tipo se hacen más complejas y cubren extensiones cada vez mayores – a veces países enteros – va siendo imprescindible aplicar técnicas avanzadas de base informática para la planificación y diseño de tales redes. Este enfoque ofrece otra ventaja más: aporta datos valiosos para el control y gestión del proyecto y una cuantiosa información utilizable para producir una documentación de cliente efectiva y exacta.

Esta breve panorámica permite apreciar que el concepto de soluciones de sistema globales es parte esencial en el constante esfuerzo de Alcatel por suministrar redes de alta calidad y buen rendimiento económico. La experiencia en numerosos países de todo el mundo nos permite sostener la afirmación de que podemos transformar equipos modernos y de alta prestación en sistemas eficientes que aprovechen plenamente las posibilidades de dichos equipos para atender durante muchos años las necesidades de los clientes.



J. Imbert
Alcatel Transmission



U. Ferroni
Alcatel Network Engineering and Installation

Comunicaciones rurales: problemas y soluciones

El bajo número de abonados en las zonas rurales y las grandes distancias entre poblaciones plantean ciertos problemas en el suministro de modernos servicios de telecomunicación, a menudo unidos al clima adverso y al terreno inhóspito. Se superan estos problemas desde un enfoque integrado basado en pequeñas centrales compatibles, enlaces por satélite y microondas y sistemas multiacceso por radio.

B. Culot

Alcatel Transmission, Vélizy, Francia

R. Cacheiro

Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España

J. Couet

Alcatel Telspace, Cergy-Saint-Christophe, Francia

H. K. Ligotky

Alcatel SEL, Pforzheim, República Federal de Alemania

Introducción

Aunque no hay diferencia fundamental, en cuanto a arquitectura y servicios requeridos, entre una red de telecomunicación rural y otra regional, las zonas rurales se caracterizan por una población muy esparcida y de escasas rentas. La actividad económica (en granjas, fincas, minas, etc.) suele estar muy dispersa, así como lejana la infraestructura de telecomunicación existente, debiendo acceder a ella por largos enlaces de transmisión. Estas condiciones originan unos costes por línea relativamente altos (sobre todo en transmisión y distribución) y dificultades para encontrar un personal de operaciones y mantenimiento capacitado. Algunas veces los problemas se deben también a la falta de suministro de energía, y también a la dureza del clima y aspereza del terreno.

No obstante, el establecimiento de redes de telecomunicación en áreas rurales es importante para generar actividad económica y mejorar el nivel educativo y la calidad de vida de los habitantes de dichas zonas.

Para reducir costes es esencial un enfoque global basado en subsistemas flexibles, asegurando que el sistema instalado tenga la capacidad adecuada y cumpla los requisitos operacionales en cuanto a servicio, calidad, fiabilidad y facilidad de uso. La consecución de estos objetivos requiere una estrecha cooperación entre la Administración y el suministrador que va a entregar,

instalar y poner en funcionamiento el sistema completo.

Alcatel adopta este enfoque global, partiendo de varios subsistemas importantes: centrales rurales, microondas de baja capacidad, estaciones terrenas con rutas de bajo tráfico y sistemas multiacceso por radio.

Sistemas de telecomunicaciones rurales

Según la definición del CCITT, una red rural se constituye en torno a una central local unida a una central interurbana de la red general a través de un enlace de transmisión. Por lo tanto incluye la transmisión entre centrales, las centrales locales y la planta de distribución de abonados. La red que une a los abonados con la central local suele ser en estrella o en doble estrella con concentradores intermedios, y ocasionalmente es una red lineal con subsistemas de inserción/segregación.

Dado que una red rural de este tipo incorpora varios subsistemas esenciales, la planificación de redes debe tener en cuenta la conmutación, transmisión y distribución de abonados (Fig. 1).

Conmutación

La tecnología digital es ahora la base de las redes rurales, ya que es capaz de integrar

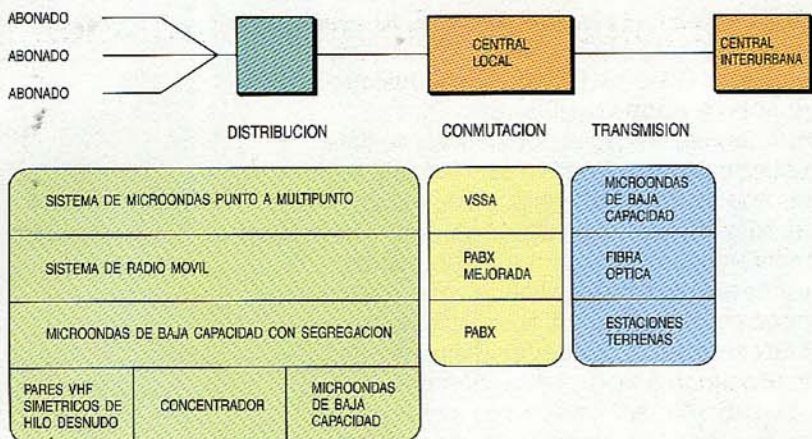


Figura 1
Estructura general de una red rural de telecomunicación.
VSSA - central de muy pequeña capacidad.

una amplia gama de servicios y ofrece las siguientes ventajas:

- flexibilidad para proporcionar, a un coste económico, una gama de capacidades que satisfagan las necesidades actuales y el crecimiento previsto
- eficaz realización de los servicios, incluyendo operación y mantenimiento centralizados.

Estación de microondas alimentada por energía solar.

Además, debe ser apta para funcionar a la intemperie en climas rigurosos y utilizar diversas fuentes de energía eléctrica, incluidas las células solares.

Transmisión

Los subsistemas de transmisión deben ser capaces de funcionar, a reducido coste, en distancias hasta de centenares de kilómetros. Dado el escaso número de abonados en las zonas rurales, suele bastar con un número de canales de enlace relativamente pequeño.

El subsistema de transmisión debe ser fiable y capaz de funcionamiento no atendido bajo control y supervisión remotos de un centro de operación y mantenimiento. El consumo debe ser suficientemente bajo para que el equipo pueda ser alimentado por células solares con un coste moderado, allí donde no haya otra fuente de energía.

En muchos casos el subsistema de transmisión debe ser apropiado para cruzar áreas difíciles como selvas, ciénagas y sierras. En tales condiciones la mejor solución suele consistir en un enlace de microondas punto a punto de baja capacidad o en pequeñas estaciones terrenas.



Distribución de abonados

Actualmente se utilizan muchos sistemas para esta función, entre ellos los de líneas aéreas desnudas, cables, radio en UHF, inserción/segregación en microondas y sistemas multiacceso por radio. Cuando la distancia entre los abonados y la central local es mayor de 3 km, el sistema más comúnmente usado es la radio multiacceso.

Enfoque global

Para hacer un uso óptimo de estas facilidades es esencial un enfoque global, tal como se muestra en la figura 2.

Conmutación

Alcatel desarrolla y fabrica toda la gama de equipos de conmutación para redes rurales, desde centrales de media y gran capacidad (Sistema 12 y Alcatel E10) hasta sistemas autónomos muy pequeños. Incluye una PABX potenciada (central FASTCOM*), adecuada para varias aplicaciones y que ahora está integrada en redes basadas en satélites¹.

La arquitectura modular de los sistemas de conmutación digital Alcatel E10 y Sistema 12 permite situar el equipo de la central en áreas remotas, cercanas a los

* Marca registrada del Grupo Alcatel

abonados. En el caso del Alcatel E 10 esta unidad remota se denomina CSN, mientras que en el Sistema 12 es la URA (unidad remota de abonados). Estas unidades remotas, conectadas por enlaces de fibra óptica o de microondas a centrales principales que aportan las funciones de tratamiento de llamadas, administración y operación y mantenimiento, ofrecen a los abonados rurales las mismas facilidades que la central principal a sus propios abonados. Tanto el CSN como la URA pueden instalarse en contenedores a prueba de intemperie.

La VSSA (*very small stand alone*, central de muy pequeña capacidad), basada en la arquitectura modular y la tecnología del Sistema 12, ha sido optimizada para pequeñas capacidades de abonados. Puede funcionar como central autónoma o supervisada, constituyendo una central digital compacta con todas las facilidades, con operación y mantenimiento anexos o a distancia.

Los servicios de abonado, señalización y facilidades son los mismos que ofrecen las grandes centrales en zonas urbanas. Los enlaces pueden ser digitales o analógicos (mediante un conversor analógico/digital suplementario). La VSSA funciona con los sistemas de señalización más corrientes, por lo que se adapta a cualquier tipo de red rural.

La central VSSA se instala generalmente en el interior, en bastidores de conmutación

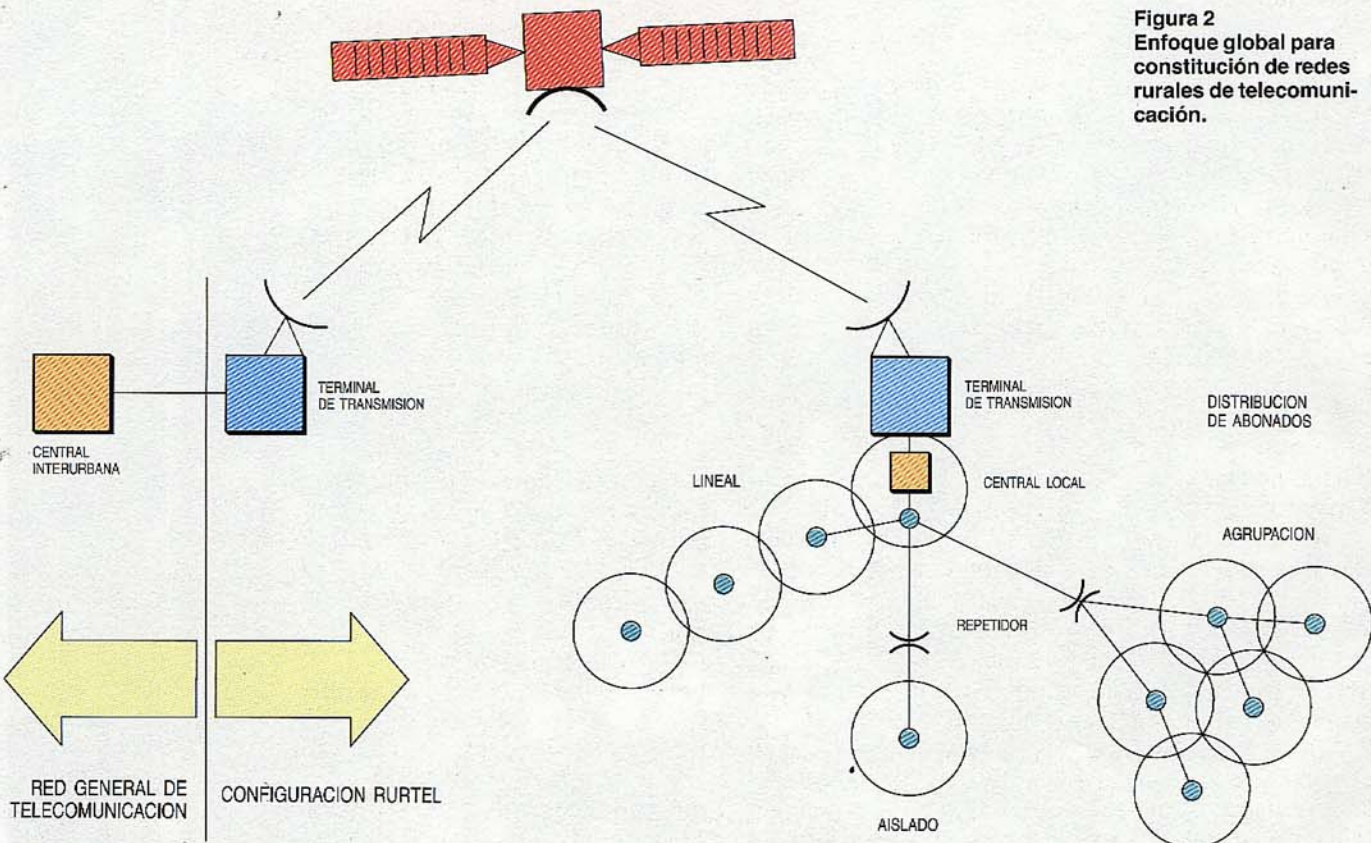


Figura 2
Enfoque global para constitución de redes rurales de telecomunicación.

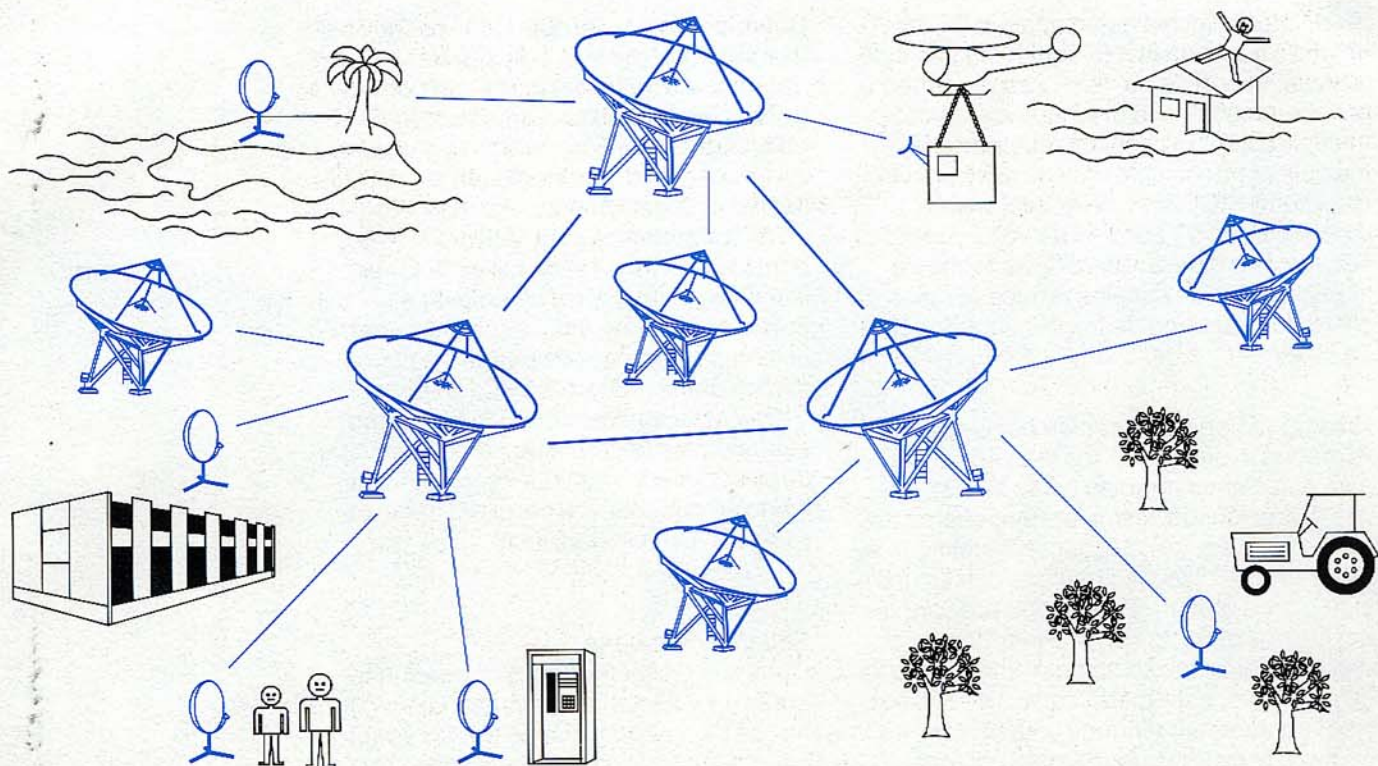


Figura 3
Red DOMSAT.

normalizados, aunque existe una versión para instalar en armario a prueba de intemperie. La evolución de la VSSA está en línea con la de la familia del Sistema 12, incluyendo la introducción de líneas RDSI.

Transmisión

Microondas de baja capacidad

Los sistemas de radioenlace digital de largo alcance se utilizan normalmente para conectar centrales rurales a la red principal, salvando distancias de hasta 50 km en un solo tramo y de algunos centenares de kilómetros con estaciones repetidoras. Las frecuencias más usuales pertenecen a las gamas de 0,45 GHz, 0,9 GHz, 1,5 GHz y 2,5 GHz. Alcatel produce una gama de equipos adecuados que funcionan a 2, 2 × 2, 4 × 2 y 8 Mbit/s, ofreciendo una capacidad máxima de 120 canales telefónicos.

Estaciones terrenas

Alcatel ha desarrollado, a un coste económico, la pequeña estación terrena Fastcom para conectar vía satélite zonas remotas y aisladas. Los servicios telefónicos y de transmisión de datos están normalmente distribuidos entre un conjunto de estaciones terrenas de tamaño pequeño y medio dispuestas en configuración de estrella o malla que conecta diversas redes rurales. Esta estructura, capaz de cubrir la totalidad de un país, generalmente requiere una red DOMSAT (satélite doméstico) (Fig. 3). Las

estaciones Fastcom pueden atender unos pocos enlaces, normalmente de 3 a 12, o largas líneas de abonado de 2/4 hilos. Las estaciones están equipadas con antenas de 3,5 a 7 m (banda C) ó de 1,8 a 3,5 m (banda Ku). En muchos casos pueden utilizarse fuentes de energía solar.

Las estaciones Fastcom pueden conectar enlaces telegráficos y de transmisión de datos, además de telefónicos, y como opción recibir radiodifusión de audio y vídeo.

Todos estos servicios aprovechan las ventajas de la comunicación por satélite: rápida instalación, arranque inmediato y comunicación fiable con una disponibilidad alta, no afectada por la distancia ni las condiciones geográficas y climáticas.

Como dichas estaciones están concebidas para atender un pequeño número de circuitos telefónicos, ofreciendo la posibilidad de asignar tales circuitos a varios destinos, la transmisión se realiza predominantemente canal por canal, en el modo AMDF/SCPC (acceso múltiple por distribución en frecuencia/un solo canal por portadora). La modulación SCPC puede ser analógica (p. ej., en el servicio VISTA de Intelsat) o digital.

Cuando se necesita, especialmente en rutas de media y alta capacidad, los canales (de 64 kbit/s) suelen multiplexarse sobre una o más portadoras sincronicas (de 2 u 8 Mbit/s) utilizando técnicas MCPC (canal múltiple por portadora). Dichos sistemas se utilizan habitualmente para conectar las

estaciones principales de una red DOMSAT en malla o semimalla. El equipo de canal de la estación terrena se diseña especialmente para conectarse con el equipo digital de multiplicación de circuitos, que permite multiplicar por cinco o más la capacidad de cada canal MCPC. Por ejemplo, puede proporcionar 150 canales de voz por medio de un modem de 2 Mbit/s. Esta forma de multiplicación de canales reduce también el coste de utilización de los transpondedores de satélite.

Preasignación y asignación por demanda

Al menos inicialmente, los circuitos SCPC para estaciones remotas están preasignados y, en muchos casos, permanecerán así a menos que el tráfico por canal justifique el uso de AMAD (acceso múltiple con asignación por demanda). En el modo preasignado, los dos semicircuitos requeridos para una comunicación se asignan a frecuencias de radio fijas. Este modo es fácil de realizar y no requiere que ninguna estación central controle el sistema. Al utilizarlo con una estación Fastcom, el tráfico local se concentra en la estación terrena de dos maneras:

- concentración de conmutación (p. ej., 6 líneas para 50/150 abonados locales)
- inscripción automática en cola de Fastcom, una facilidad incorporada que vuelve a llamar automáticamente al abonado en caso de estar todas las líneas de la estación ocupadas, mejorando así la carga del transpondedor.

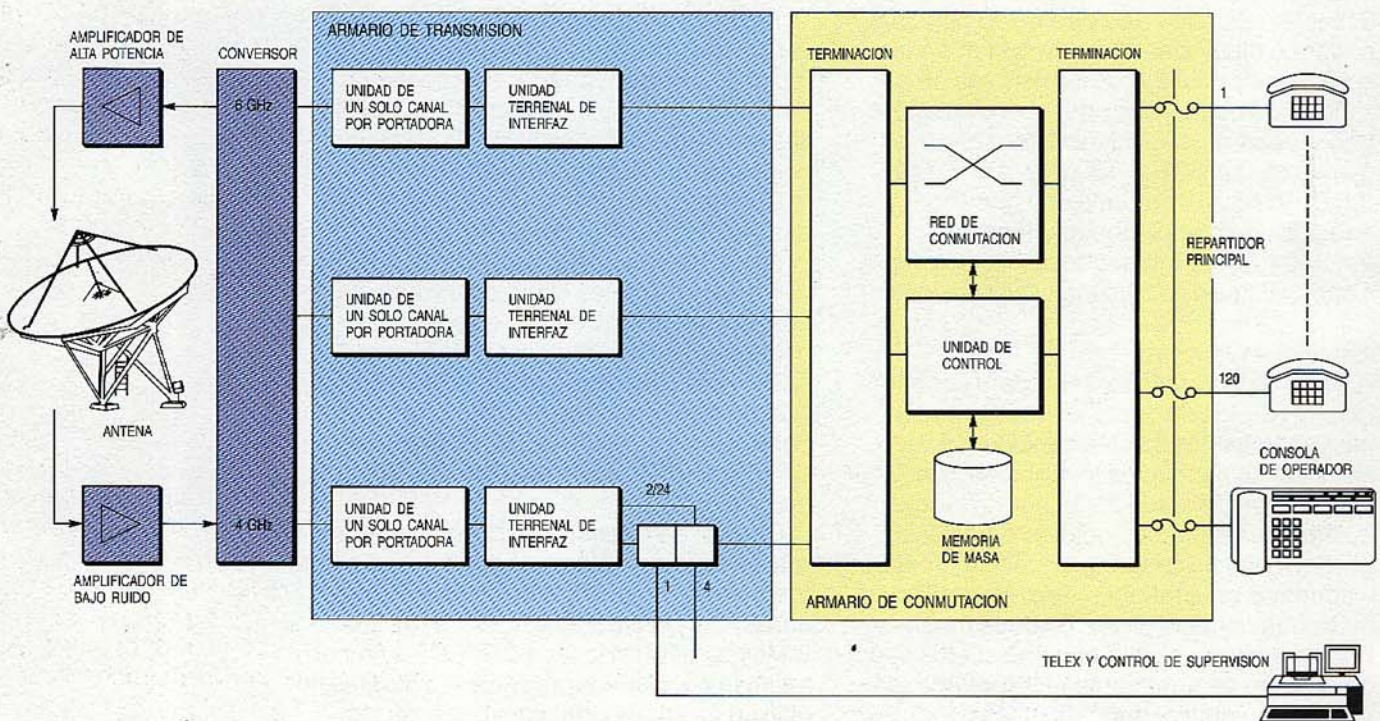
Cuando el tráfico de abonados es muy bajo, y también en algunas configuraciones de red en malla, las estaciones Fastcom pueden equiparse con un sistema AMAD en el que la estación central asigna canales de frecuencia a las estaciones llamante y llamada. La estación central utiliza canales de radiofrecuencia para activar los sintetizadores en los modem de las estaciones llamante y llamada, valiéndose para ello cualquier canal por no estar especializados. La estación más pequeña puede equiparse con un único módem SCPC.

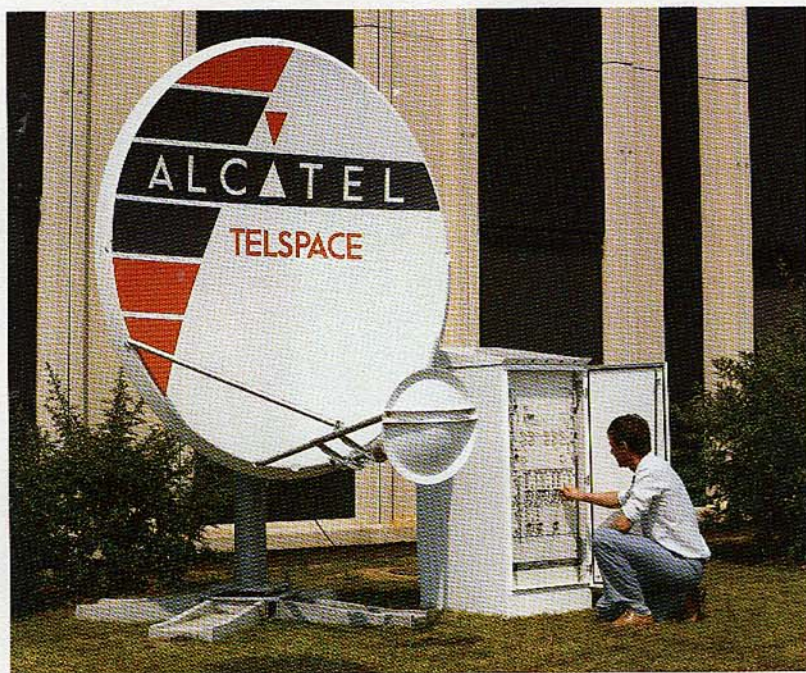
Una estación Fastcom consta de dos subunidades: sistema de antena y equipo de telecomunicación. La figura 4 indica cómo se conecta una pequeña estación Fastcom a una central local.

Sistema de antena

Consta de reflector principal y secundario, duplexor y alimentación primaria, amplificador de bajo ruido y dispositivo de seguimiento automático. El amplificador, que no necesita refrigeración, está contenido en un alojamiento a prueba de humedad adosado directamente a la antena. Se requiere el dispositivo de seguimiento automático cuando la directividad de la antena es mayor que la estabilidad angular del satélite visto desde la Tierra. En la mayoría de los casos, los satélites Intelsat que funcionan en la banda C (transmisión en 6 GHz, recepción en 4 GHz) con antenas de 7 m o menos, no necesitan dispositivos de seguimiento.

Figura 4
Conexión entre una estación Fastcom y la central local.





Sistema Fastcom de tres canales alojado en el armario autónomo de intemperie.

El tamaño de la antena depende de:

- la PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente, o sea la potencia de transmisión multiplicada por la ganancia de la antena) recibida desde el satélite
- la PIRE transmitida por la estación
- la potencia autorizada transmitida en los lóbulos laterales.

En las estaciones rurales suelen utilizarse antenas de 4,5 m con satélites Intelsat de banda C, aunque se necesitan antenas de 7 m para recepción de programas de televisión o para optimizar el uso del segmento espacial en redes que trabajan con repetidores alquilados. Las antenas de 11 m que actualmente se emplean en las estaciones centrales de las redes en estrella cumplen las normas Intelsat D2 y Z, así como las normas B para conexiones internacionales.

Pueden utilizarse pequeñas antenas de 3,7 m, y hasta de 1,8 m, con satélites nacionales de uso exclusivo (Palapa de Indonesia, Insat de La India, Brazilsat) o con satélites regionales como Arabsat, e incluso con haces puntuales alquilados en satélites que ofrezcan tal opción (p. ej., Intelsat).

Equipo de telecomunicaciones

Este equipo, alojado en un pequeño armario (1,3 x 0,6 x 0,65 m) puede funcionar a la intemperie en condiciones climáticas rigurosas. La señal a transmitir modula una portadora cuya frecuencia la determina un sintetizador dentro de la banda de frecuencia intermedia de 121 a 158 MHz (correspondiente a la anchura de banda de 36 MHz habitual de un transpondedor de satélite).

Los sintetizadores son sintonizables en pasos de 0,5 MHz.

Las diversas frecuencias SCPC se suman en un combinador, convirtiéndose luego a la banda RF. Antes de ser transmitidas, las portadoras RF pasan por un amplificador de potencia común. En el lado receptor, las portadoras SCPC procedentes del satélite se llevan a un amplificador de bajo ruido, y luego sufren una doble reducción de frecuencia. El segundo oscilador local se enclava mediante un dispositivo CAF (control automático de frecuencia) sobre una portadora piloto transmitida por el satélite, con lo que se compensa automáticamente el efecto Doppler causado por la deriva del satélite. El nivel recibido de la portadora piloto se utiliza también para control automático de ganancia.

Tras su conversión a la banda de 121 a 158 MHz, las portadoras recibidas se distribuyen a las diversas unidades de canal SCPC mediante un divisor de frecuencia intermedia. Cada unidad de canal recibe todas las portadoras SCPC, pero el sintetizador sólo selecciona una de ellas.

Un receptor de TV opcional incorpora un sintetizador que permite seleccionar un programa de TV entre los varios que retransmite un transpondedor de satélite. Tras la demodulación, el receptor entrega una señal de vídeo y de audio. También puede transmitirse y recibirse sonido de TV de alta calidad por un canal SCPC especial.

Instalación, operación y mantenimiento

Las estaciones Fastcom son de rápida instalación, incluso en lugares poco preparados. Las antenas de pequeño diámetro pueden instalarse sobre una simple losa de hormigón. No se requiere ningún edificio, ya que el equipo se encierra en un armario a prueba de arena diseñado para sufrir rigores climáticos. Como la estación es totalmente autónoma y puede ser supervisada a distancia, no se necesita operador local.

En zonas aisladas donde se carece de electricidad, el bajo consumo del equipo permite obtener la energía de células solares.

Distribución

Acceso por radio punto a multipunto

Una de las características principales de las zonas rurales es que las líneas de abonado son de longitud relativamente grande, por la dispersión de la población en torno a la central local. Cuando la distancia excede de tres kilómetros, los sistemas de radio para el acceso punto a multipunto proporcionan el mejor medio de realización de redes locales.

El sistema RURTEL* puede atender hasta 320 abonados² repartidos en una extensa zona (de 300 km con repetidores), y les ofrece los mismos servicios al alcance de los abonados de grandes áreas urbanas:

- conexiones de línea de abonado para teléfonos convencionales y de monedas
- transmisión de datos
- funcionamiento télex hasta 300 baudios.

El sistema Rurtel funciona como un concentrador mediante técnicas AMDT (acceso múltiple por distribución en el tiempo). La transmisión se verifica por radioenlaces punto a multipunto en las bandas de 1,5 ó 2,4 GHz, por ser éstas adecuadas para largo alcance. Se consigue una alta calidad de transmisión merced a la modulación digital y regeneración en las estaciones repetidoras.

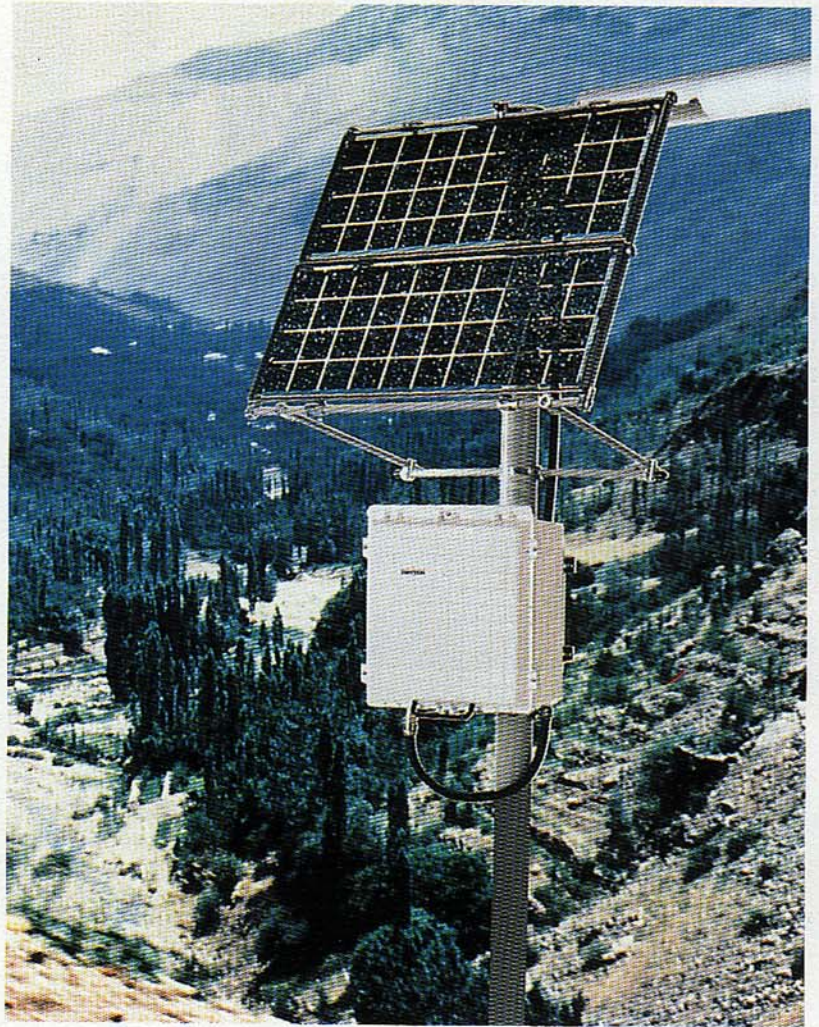
Hasta 250 abonados pueden conectarse a una central local con un tráfico medio de 0,08 erlangs por abonado y un grado de servicio tolerable de 3%. Pueden utilizarse simultáneamente 28 canales telefónicos para conectar estos abonados a otros, dentro o fuera de la red rural. El sistema proporciona además 18 canales telegráficos.

La conexión con la central se efectúa bien por un interfaz de 2 Mbit/s o bien por un interfaz de línea analógica por abonado. En el último caso el sistema es totalmente transparente.

Conexión

Hay tres tipos de conexión posibles:

- Entre un abonado Rurtel y otro no Rurtel, se necesita un canal. El tráfico se encamina desde la estación del abonado Rurtel a la estación central, y de ahí a la central local del abonado no Rurtel.
- Entre dos abonados Rurtel conectados a diferentes estaciones de abonado, se sigue necesitando conexión a través de la central local y se requieren dos canales Rurtel.
- Cuando dos abonados Rurtel se conectan a la misma estación de abonado, en dicha estación existe una unidad de conmutación "intrallamada" merced a la cual no se requiere ningún canal Rurtel una vez establecida la conexión. Sin embargo, la central local todavía controla el establecimiento y liberación de la conexión (p. ej., para tarificación), y por tanto se necesita un canal mientras el abonado llamante marca, y dos para el envío de llamada al abonado deseado.



Estación exterior Rurtel.

Subsistema de operación y mantenimiento

Este subsistema se basa en un ordenador personal estándar conectado a la estación central, bien directamente o a través de modems. Pueden conectarse también periféricos normalizados (teclado, impresora de gráficos, ratón, disco rígido y flexible, etc.). Están controladas todas las unidades y funciones esenciales del sistema, y un análisis de los mensajes de alarma permite identificar y localizar con rapidez las faltas.

Alojamiento de la estación de abonado

El diseño de las estaciones de abonado facilita su instalación, y están construidas para resistir condiciones ambientales rigurosas. Su bajo consumo permite el uso económico de células solares.

Las estaciones de abonado normalizadas se encierran en una caja a prueba de humedad (aprox. de 0,6 × 0,6 × 0,3 m) que contiene el transceptor de radio, la conexión a las antenas y la alimentación. La antena, el armario electrónico y las células solares pueden montarse en el mismo poste.

* Marca registrada del Grupo Alcatel.

Conclusiones

Una solución global que combine transmisión, conmutación y facilidades de distribución compatibles, puede optimizar las redes de telecomunicación en zonas rurales, satisfaciendo las necesidades actuales y permitiendo una futura expansión. Para reducir a un mínimo la inversión global y los costes de explotación es eficaz contemplar el sistema en su conjunto, compuesto de varios subsistemas desarrollados para atender las principales exigencias de las redes rurales, esto es: sencillez y bajo coste, facilidad de instalación, operación y mantenimiento, un bajo consumo que permita el uso de células solares (la mayoría de los fallos de red en zonas remotas se deben a la alimentación), aptitud para el uso en climas difíciles y flexibilidad.

Los sistemas rurales de Alcatel se basan en tres subsistemas principales:

- Transmisión: microondas digital de baja capacidad (2 a 8 Mbit/s) que permite una configuración 1+0 ó 1+1 con un sencillo sistema supervisor remoto y pequeñas estaciones terrenas SCPC (analógicas o digitales).
- Conmutación: sistema de muy pequeña capacidad que proporciona todos los servicios de las grandes centrales digitales, completadas por PABX potenciadas que ofrecen facilidades esenciales tales como tarificación y señalización de abonado y enlace.
- Distribución: sistema multiacceso por radio combinado con instalaciones tradicionales de cable para distancias cortas.

La supervisión y el control de la transmisión, la conmutación y la distribución pueden integrarse en un centro remoto, y la información necesaria unida a los datos de tarificación se transmite a través de los canales de servicio.

Todos estos subsistemas pueden fácilmente utilizarse juntos o integrarse en las infraestructuras existentes mediante interfaces normalizados. El resultado es una gama flexible de soluciones que satisfacen de modo eficaz las diversas necesidades de las zonas rurales.

Referencias

- 1 J. Esculier, A. Parnière y J. Salomon: Sistema de comunicación por satélite para países en desarrollo: *Comunicaciones Eléctricas*, 1988, volumen 62, n° 1, págs. 42-48.
- 2 H. K. Ligotky: RURTEL: sistema de microondas para telecomunicaciones rurales: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, n° 3, págs. 200-210 (en este número).

Bernard Culot nació cerca de París, en 1938.

Se graduó en la Ecole Polytechnique y la Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications. En 1980 el Sr. Culot ingresó en Thomson CSF. Actualmente es vicepresidente, microondas, dentro del Grupo de Productos de Transmisión.

Ramón Cacheiro Varela nació en La Coruña, España, en 1944. Se graduó en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Madrid, en 1968. Al año siguiente ingresó en Standard Eléctrica, donde trabajó inicialmente en el Sistema Pentaconta* y luego en diseño de soporte lógico para el Sistema Metaconta*. Desde 1980 en adelante trabajó en el Sistema 12, en diversas áreas de soporte lógico y equipo físico. El Sr. Cacheiro es actualmente responsable del grupo de arquitectura dentro de la Ingeniería de Sistemas.

J. Couet nació cerca de París, en 1946. En la Universidad de aquella ciudad se graduó Master y DEA en ciencias físicas y electrónica. En 1972 ingresó en el laboratorio de microondas de Thomson CSF, llegando posteriormente a dirigir el laboratorio de sistemas con responsabilidad sobre el diseño del sistema y desarrollo del soporte lógico. El Sr. Couet ingresó en Alcatel Telspace en 1986, donde es ahora director de marketing.

Harri L. Ligotky nació en Alemania, en 1926. En 1949 se graduó en ingeniería eléctrica en el Technische Lehranstalt de Dresde. En 1951 el Sr. Ligotky ingresó en SEL donde trabaja actualmente en planificación de sistemas para telecomunicaciones rurales.

* Marca registrada del Grupo Alcatel.

RURTEL: sistema de microondas para telecomunicaciones rurales

Uno de los cometidos más difíciles en el campo de la telefonía es proveer a las comunidades rurales de un servicio telefónico moderno de alta calidad, a un coste económico. Actualmente, el RURTEL*, que es un avanzado sistema de microondas para las comunicaciones punto-multipunto digitales, ofrece un fiable y económico servicio de teléfono, datos y télex, respaldado por un subsistema eficaz de operación y de mantenimiento.

H. K. Ligotky

Alcatel SEL, Pforzheim, República Federal de Alemania

Introducción

Las comunidades rurales, especialmente en los países en vías de desarrollo, tienen urgente necesidad de servicios telefónicos modernos. Sin embargo, en tiempos pasados ello entrañaba problemas, ya que los sistemas y equipos requerían fuertes inversiones y costes de explotación para dar servicio sólo a grupos de abonados peque-

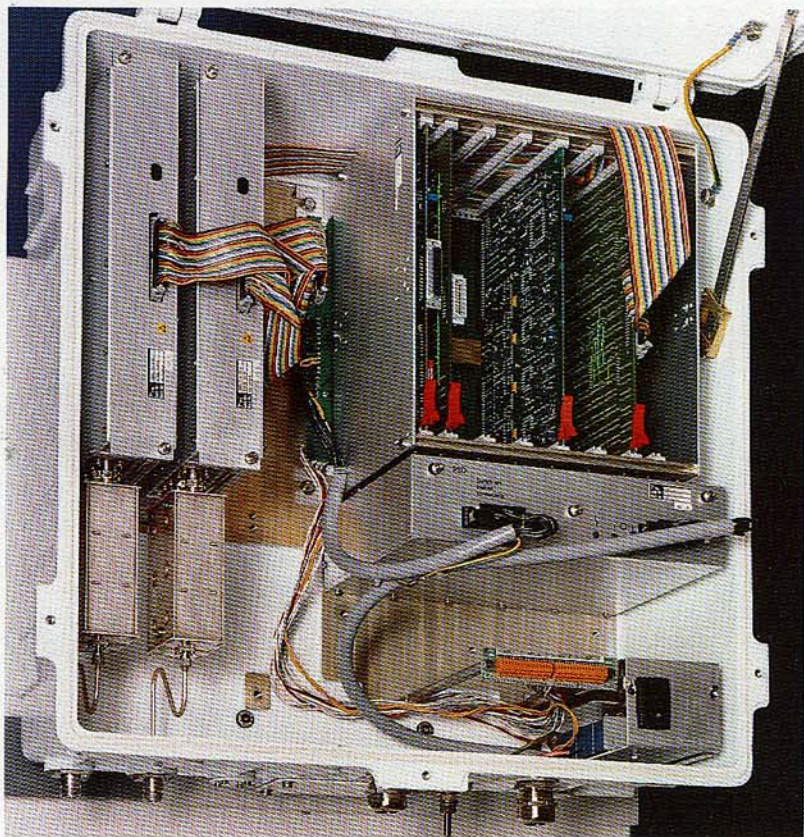
ños y muy dispersos. Al mismo tiempo, los ingresos de la Administración se veían limitados por el escaso tráfico y las bajas rentas. Tales factores no hacían precisamente atractivas las comunicaciones rurales en el terreno económico.

Por esta razón, hace largo tiempo que se necesitan equipos y sistemas de telecomunicación técnica y económicamente viables para uso en zonas rurales. Los diseños avanzados, las tecnologías modernas, y los métodos de fabricación eficaces hacen posible fabricar un equipo adecuado que ofrezca unos económicos costes de equipo, sistema, y operación y mantenimiento, además de una fiabilidad reforzada.

Las zonas rurales de los países en vías de desarrollo a menudo se caracterizan por un entorno hostil (altas temperaturas y fuerte humedad, lluvias torrenciales, tormentas violentas, riadas, inaccesibilidad estacional), desfavorable geografía (bosques espesos, altas cadenas montañosas, desiertos, pantanos, lagos) e infraestructura deficiente (carreteras malas o inexistentes, carencia o precariedad de la energía eléctrica, falta de agua, etcétera). Estos problemas se suman a la escasez de personal medianamente capacitado para el mantenimiento y reparaciones.

Por consiguiente, los sencillos procedimientos de ahorro de tiempo utilizados para la instalación y puesta a punto del equipo y sistema, se consideraron de importancia durante el desarrollo del RurTel. Se necesitaba además un elaborado sistema de operación y mantenimiento que permitiera de modo rápido y sencillo la supervisión, el control y la localización del fallo.

Estación repetidora parcialmente equipada, mostrando los transceptores RF compactos, en la parte izquierda.



* Marca registrada del Grupo Alcatel.

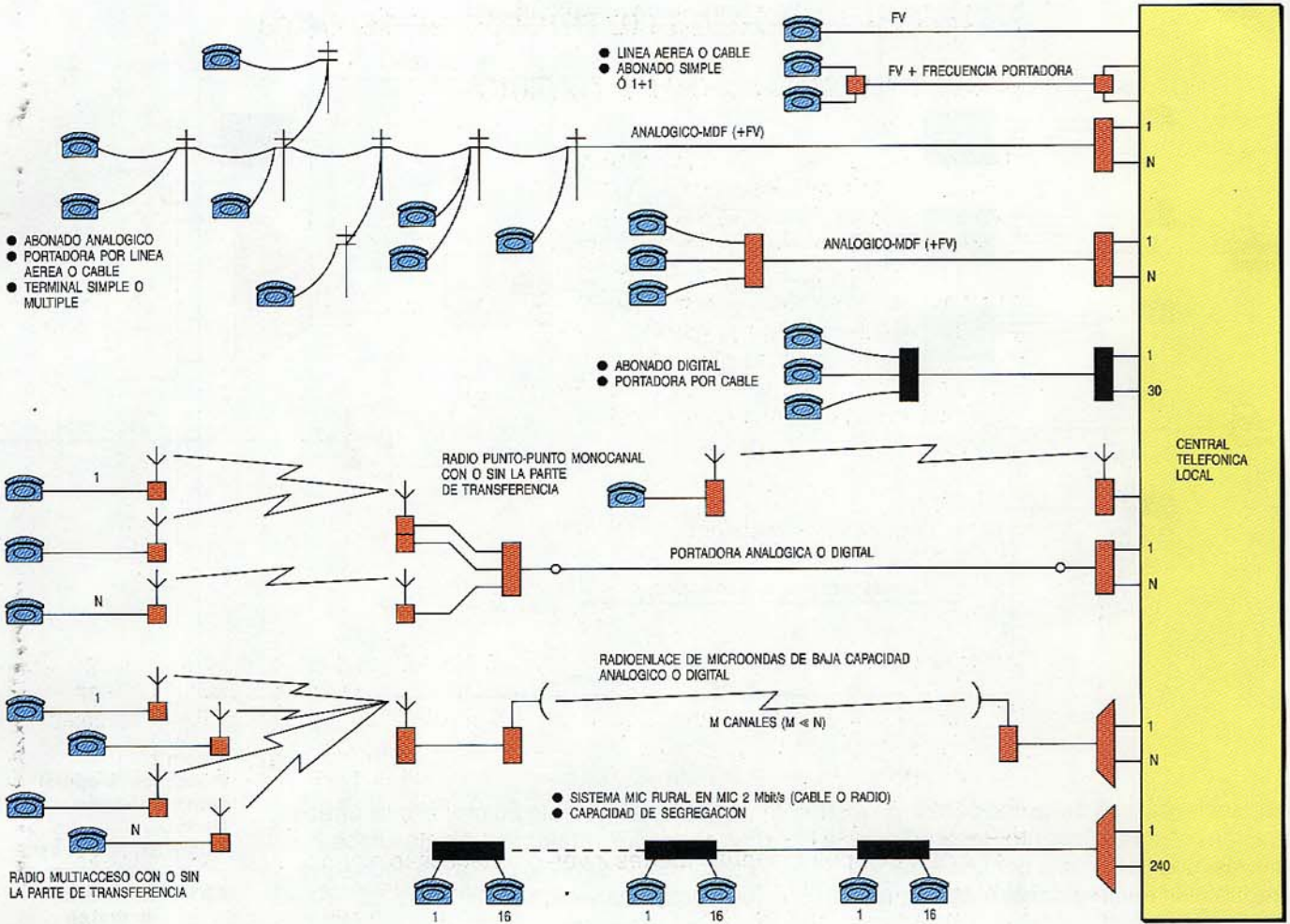


Figura 1
Posibles métodos de transmisión para uso en zonas rurales.

Redes rurales

La estructura general de las redes rurales incluye una central de conmutación local (como es la VSSA de Alcatel¹, central autónoma de muy pequeña capacidad) con enlaces al nivel próximo superior de centrales, así como la distribución a los abonados y la transmisión desde la estación central a la central local.

Existen muchos modelos de distribución rural de población/abonados, pero en gran número de casos hay pequeños grupos de personas que viven y trabajan separados por distancias de un kilómetro aproximadamente, aunque otros grupos de población pueden distar decenas o en ocasiones centenares de kilómetros. Por supuesto, hay excepciones como los abonados aislados individuales y núcleos más grandes con docenas de abonados.

La evaluación de los métodos de transmisión actuales (Fig. 1) indica que un concentrador digital de radio, en particular un sistema punto a multipunto con asignación por demanda y acceso múltiple por distribución en tiempo (AD-AMAD), es adecuado para la mayoría de zonas rurales por su economía, fiabilidad, flexibilidad y seguridad ante

el futuro. Además, varios otros sistemas expuestos en la figura 1 son aptos para aplicaciones concretas, tal vez en conjunto con un concentrador digital de radio. Seguirá utilizándose un cable metálico bifilar para conectar el aparato telefónico de abonado a una estación de abonado próxima del sistema Ruritel.

Generalmente es adecuado un sistema de distribución que cubra alrededor de 200 abonados. Asimismo, como la transmisión es digital, es prudente adoptar la velocidad estándar de 2 Mbit/s o un múltiplo de ella para la transmisión por enlaces. Además de los canales telefónicos, debería disponerse de algunos canales télex para el uso de empresas y entidades oficiales, preferiblemente sin utilizar un canal telefónico. Todos estos aspectos fueron considerados durante el diseño del sistema Ruritel.

Los límites impuestos al tamaño máximo de un sistema rural se rigen primordialmente por factores comerciales más que por consideraciones técnicas. En principio, no existen problemas técnicos ni de operación para dar cobertura a una superficie de 300.000 km² o mayor, con un sistema básico. No obstante, se ha fijado de forma un tanto arbitraria un límite de unos 300 km a la

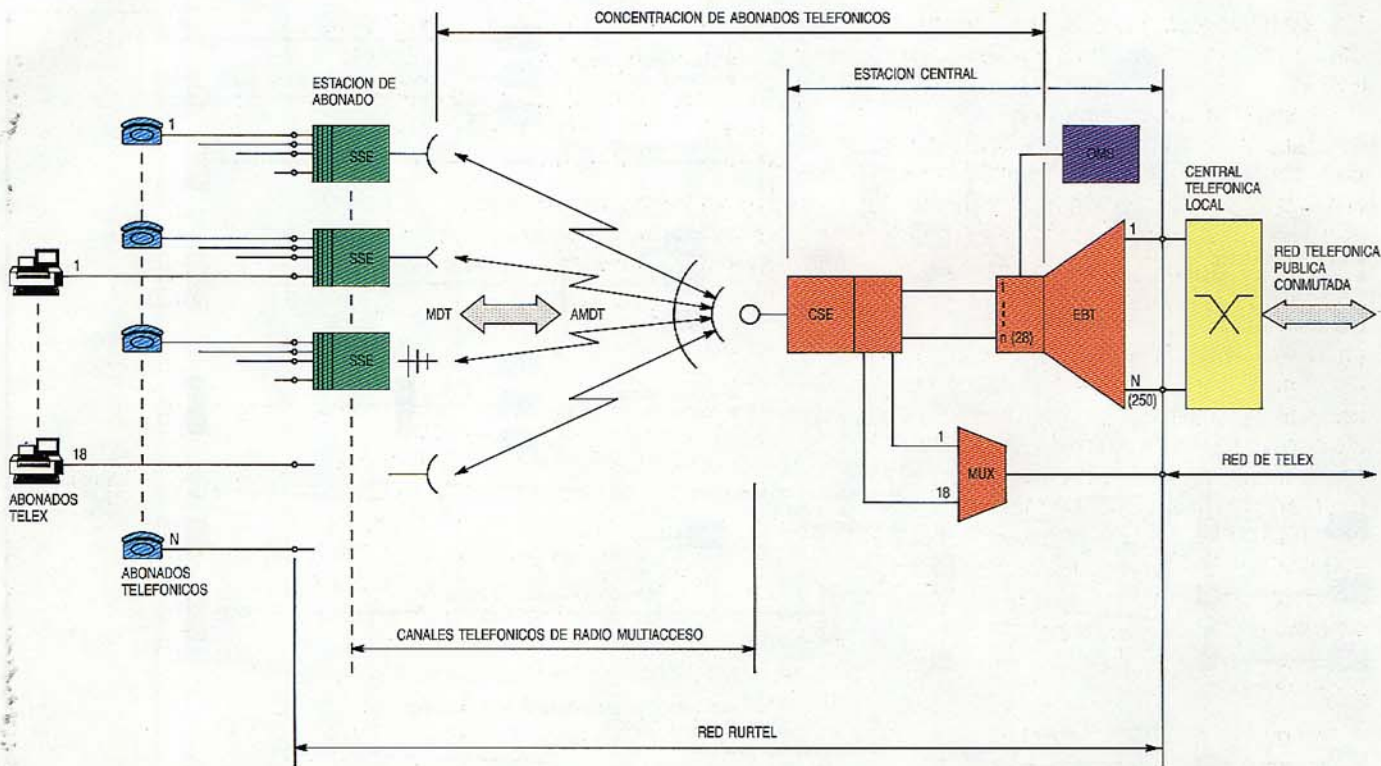


Figura 2
Principios de operación del sistema Rurtel.

- CSE** – equipo de estación central
- EBT** – terminal de central en banda base
- OMS** – subsistema de operación y mantenimiento
- SSE** – equipo de estación de abonado.

distancia máxima del punto central de distribución (cerca de la central local). En general, las áreas cubiertas por una estación central son notablemente más pequeñas.

Rurtel, sistema de telecomunicación rural

El Rurtel opera como un concentrador de radio digital, en las bandas de 1,5 ó 2,4 GHz, utilizando las técnicas AD-AMDT (asignación por demanda-acceso múltiple por distribución en el tiempo). Un sistema puede dar servicio a un máximo de 320 abonados rurales (valor típico, 250) diseminados en una extensa zona en torno de una central local, dando acceso a uno de los 28 canales telefónicos cuando el abonado lo requiere. Además, se dispone de 18 canales télex (datos asíncronos) para conectar unos abonados télex prefijados a una central télex.

La red Rurtel realiza concentración, transmisión y distribución entre la central local y sus abonados en un solo paso (Fig. 2).

Pueden atenderse fácilmente mayores áreas y más abonados mediante una red celular de sistemas individuales Rurtel, conectados a la misma o diferente central local.

El sistema es transparente, y ni la central local ni los propios terminales de abonado pueden distinguir entre la conexión por cable convencional bifilar de cobre o por el sistema Rurtel, salvo en la calidad y fiabili-

dad superior de este último, el cual ofrece a los abonados rurales los mismos tipos y calidades de servicio que a los abonados urbanos, incluyendo:

- servicio telefónico convencional (por corriente de bucle o DTMF multitono) en líneas conmutadas, estándar o de prioridad, o líneas alquiladas
- servicio telefónico de pago previo
- servicio de télex (líneas alquiladas, hasta 300 baudios)
- transmisión de datos a través de módem y líneas conmutadas
- servicio de transmisión de datos por líneas alquiladas a un máximo de 64 kbit/s.

Los sistemas Rurtel se instalan con facilidad y rapidez, y son sencillos de mantenimiento y reparaciones. Asimismo son flexibles en cuanto a estructuras de red y expansiones futuras, y cumplen las recomendaciones relevantes del CCITT y CCIR.

Componentes del sistema

Existen tres tipos básicos de estación:

- estaciones centrales, que se componen de equipo radio, terminal de central en banda base y subsistema de operación y mantenimiento
- estaciones de abonado
- estaciones repetidoras.

Cada estación admite diferentes formas de configuración, según las necesidades locales.

Un sistema consiste en una estación central y cierto número de estaciones de abonado, juntamente con estaciones repetidoras utilizadas cuando hay estaciones de abonado remotas o cuando la vía radioeléctrica está obstruida. Además del propio equipo Rurtel, cada estación requiere una estructura de soporte de antena, una o dos antenas con su cableado de RF, y la fuente de alimentación primaria. No se necesitan casetas ya que el equipo compacto viene alojado en cajas de aluminio herméticas, con refrigeración pasiva, que pueden montarse en paredes, postes o mástiles. Se exceptúa el armario del terminal de central en banda base, que se instala en el edificio o caseta de la central local, preferentemente cerca del repartidor principal.

La estación central, como núcleo del sistema, se responsabiliza de:

- interrogación cíclica de estaciones externas (abonados y repetidores)
- tratamiento de las llamadas de abonado (asignación de canales e intervalos de tiempo)
- señalización de abonado, supervisión y control
- generación de trama y formato
- sincronización del sistema y control de temporización de las ráfagas
- interfaz con la central local
- transmisión en RF desde la estación central a las estaciones externas
- funcionamiento del subsistema de operación y mantenimiento.

La estación se compone de tres subsistemas, según se muestra en la figura 2:

Equipo radio de la estación central, que trata la parte de radio así como el control de la estación, combinación de las ráfagas y formato de la trama de la señal en banda base. Generalmente se sitúa en el lugar de la antena omnidireccional.

Terminal de central en banda base, que realiza el tratamiento de llamadas, proceso del terminal (con interfaz al subsistema de operación y mantenimiento), y además, a través de las unidades de control del terminal y unidades de línea de central para abonados de 2 hilos, ofrece interfaz al repartidor de la central local, por lo que suele ubicarse cerca del mismo en dicha central.

Subsistema de operación y mantenimiento, basado en un ordenador personal que

ofrece un sencillo interfaz hombre-máquina, con menús por gráficos.

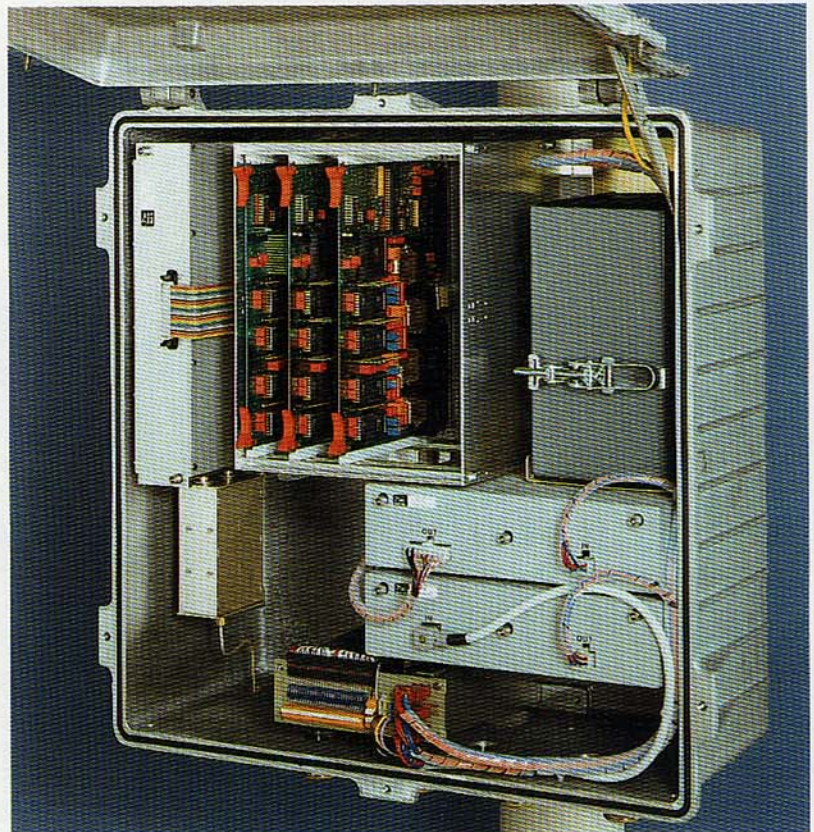
Las estaciones de abonado forman la terminación del sistema Rurtel en el lado de abonado y proporcionan:

- recepción continua de señal de sincronismo, temporización de ráfagas, y tratamiento de llamadas
- transmisión de ráfagas en el intervalo asignado
- interfaz a 2 hilos (cable) al abonado.

Las estaciones repetidoras transmiten señales en ambos sentidos entre las estaciones de abonado y la estación central. Pueden también funcionar como estación de abonado para conectar abonados locales por cable de 2 hilos. Gracias a su bajo consumo, las estaciones de abonado, las repetidoras y la estación central pueden ser alimentadas de forma económica por células solares, allá donde no se disponga de suministro de red CA.

Las distancias de la estación central o repetidoras a las estaciones de abonado, y de estación central a la repetidora más próxima, suelen ser inferiores a 30 km (valor típico, 25 km), y entre estaciones repetidoras, menores de 50 km (usualmente 40 km), suponiendo siempre una propágación sin obstáculos. Las estaciones de abonado no suelen distar más de 3 km

Estación de abonado parcialmente equipada, mostrando el receptor RF con diplexor en la parte alejada izquierda, puertos analógicos de telefonía (superior centro), convertidor de CA/CC y CC/CC (inferior derecha), y la batería de reserva.



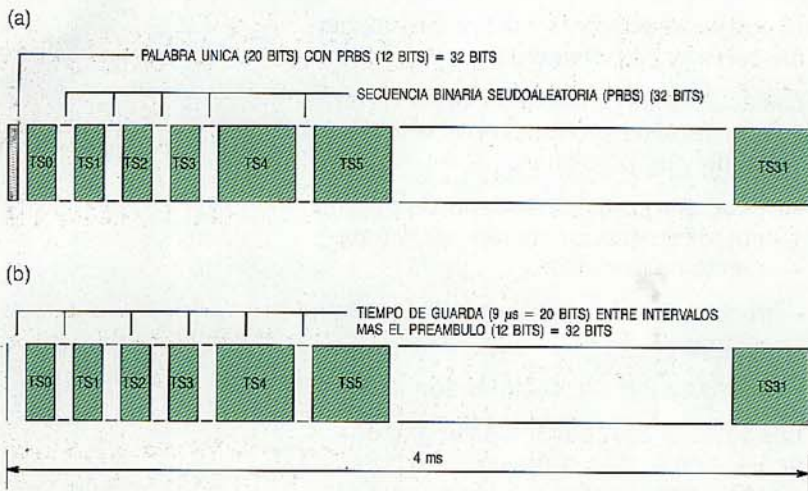


Figura 3
Estructura de trama para (a) MDT, y (b) AMDT.
TS - intervalo de tiempo.

del propio abonado - aunque se puede llegar a 10 km -, ya que para mayores distancias es más económico instalar una estación de abonado adicional que un ruta de cable bifilar.

Esquema de operación

La señal telefónica digitalizada y las señales muestreadas de télex o datos se multiplexan en el tiempo, formando tramas que constituyen la señal de banda base para la transmisión radio de punto a multipunto. La figura 3 muestra las estructuras de trama MDT (descendente, hacia estación de abonado) y AMDT (ascendente, hacia estación central). La velocidad de transmisión resultante es de 2176 kbit/s (múltiplo de 64 kbit/s). Cada trama se divide en 32 intervalos (TS): los TS0 a TS3 llevan cada uno una señal de 25 kbit/s, mientras que los TS4 a TS31 transportan 65 kbit/s.

La señalización por canal común se transporta en el TS0, las señales de télex en los TS1 a TS3, y las señales MIC de telefonía

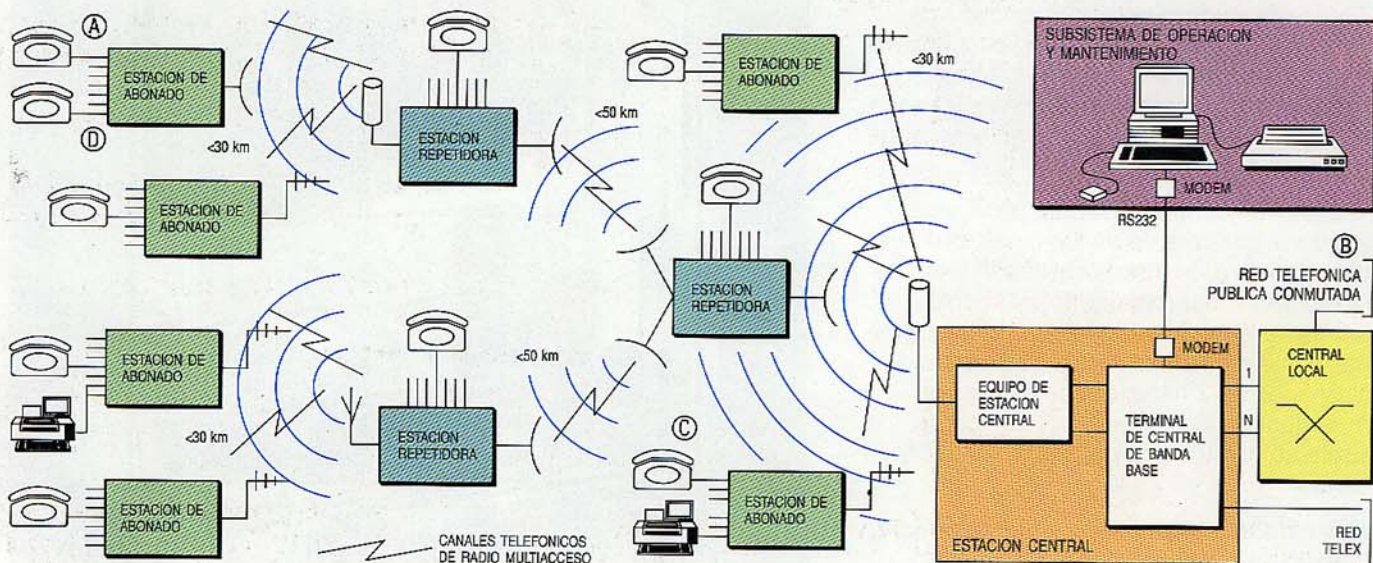
en los TS4 a TS31. Los intervalos TS1 a TS31 llevan también la información de señalización asociada al canal. El TS0 se utiliza como vía interna de señalización del sistema entre la estación central y todas las estaciones externas; para la señalización por canal común se implanta un modo de respuesta simplificada normal en HDLC.

La trama MDT es generada en la estación central. Tras la codificación y modulación en fase de la portadora radio, se la transmite continuamente a las estaciones externas. Se inicia con una palabra de encabezamiento única de 20 bits, utilizada para el sincronismo que asegura el ajuste de trama en las estaciones externas con el fin de establecer la referencia para temporización de la transmisión por ráfagas de las tramas AMDT. Entre los intervalos que transportan información, se transmite una secuencia binaria pseudoaleatoria, con lo que todos los relojes de estaciones externas se sincronizan continuamente con el reloj maestro de la estación central, incluso en ausencia de tráfico.

Los intervalos de la señal AMDT (ascendente) están separados por un tiempo de guarda de unos 9 μs (20 bits), con el fin de eliminar las interferencias entre ráfagas adyacentes provocadas por transitorios, desviaciones de temporización de ráfagas, y otras causas. Cada ráfaga (en un intervalo) comienza con una secuencia de 12 bits para sincronizar la portadora RF del receptor de estación central, como requiere la demodulación coherente. En general, las ráfagas adyacentes llegan desde diferentes estaciones externas con muy distintos niveles de entrada RF.

En el sentido ascendente, la portadora RF de cada estación externa, modulada en fase por la información codificada en el intervalo (o intervalos) asignado, se trans-

Figura 4
Configuración típica del sistema Rurtel.



mite hacia la estación central. Tratándose de un sistema AMDT que opera en una sola frecuencia de radio, las ráfagas procedentes de estaciones externas deben ser transmitidas una tras otra para que las reciba el receptor de la estación central o de la estación repetidora sin solapamientos que produzcan interferencias mutuas. La estación central controla, por medio del TSO (CCS), la temporización de la transmisión de ráfagas desde las estaciones de abonado, con precisión de una fracción del intervalo de bit. Dado que las distancias, y por consiguiente los tiempos de transmisión de ida y vuelta entre estación central y estaciones externas, son bastante diferentes, la posición dedicada a la ráfaga de cada estación externa se desplaza con el fin de compensar los diferentes retardos de transmisión. Inicialmente, durante la puesta en marcha del sistema, se carga en la estación externa, a través del TSO que es el camino interno de señalización de sistema, una desviación prefijada de tiempo entre las tramas de transmisión y recepción.

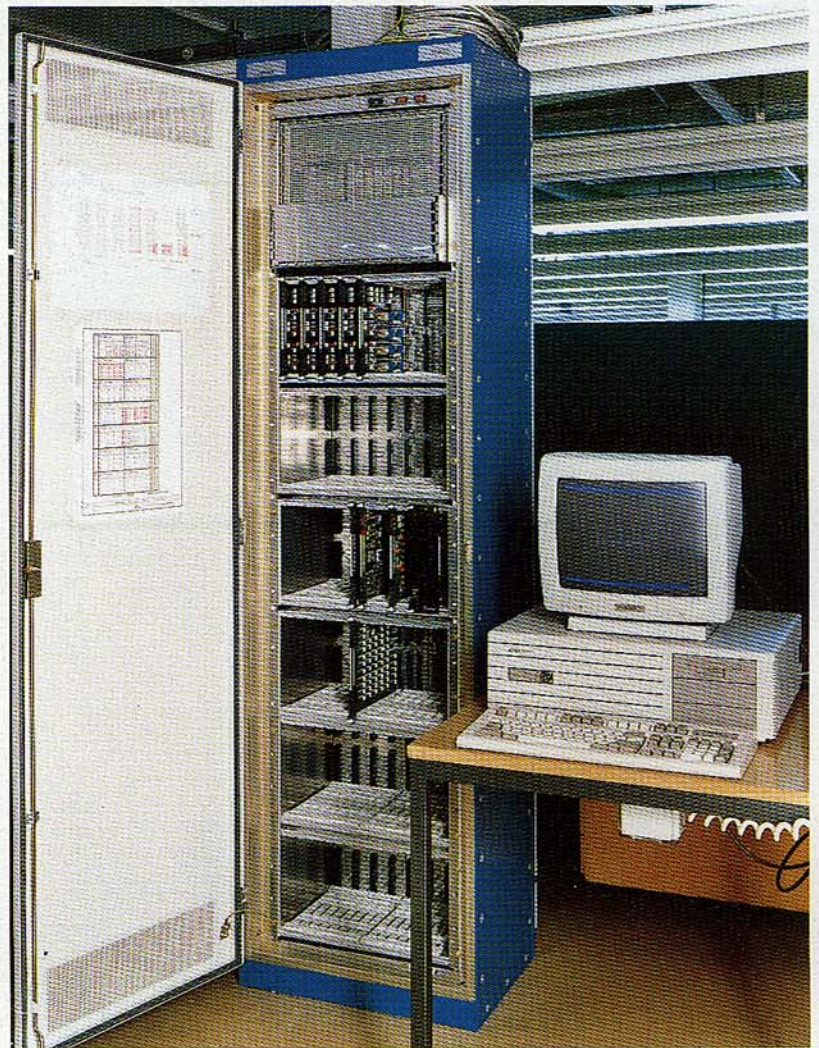
La sincronización final de la trama en régimen permanente se consigue y mantiene merced a una realimentación controlada por microprocesador, con lo que las estaciones externas no precisan de ajuste manual y su distancia debe conocerse con precisión de ± 4 km ($\pm 13,3 \mu\text{s}$) solamente. Por lo tanto, todas las ráfagas llegan a la estación central en las posiciones (intervalos) que tienen asignadas con respecto a la referencia AMDT, de modo que a la salida del demodulador se obtenga la trama AMDT completa para su posterior proceso.

La asignación por demanda se realiza dentro de TSO: la estación central interroga periódicamente a cada estación de abonado para detectar cualquier solicitud de línea (intervalo), y asignar una seguidamente al recibir confirmación (señal de descuelgue).

Tráfico

Existen tres diferentes tipos de conexión entre los abonados, según indica la figura 4:

- De abonado Rurtel a abonado no Rurtel (A a B), que requiere un canal del sistema (intervalo de tiempo). El tráfico va desde el abonado A al abonado exterior B, a través de las dos estaciones repetidoras, la estación central y la central local.
- Entre dos abonados Rurtel (de A a C), conectados a estaciones de abonado diferentes, necesitando dos intervalos de tiempo. El tráfico sale del abonado A, atraviesa dos estaciones repetidoras, la estación central, la central local, y vuelve (sentido descendente) a través de la



Terminal de la central en banda base, incluyendo subsistema de operaciones y mantenimiento.

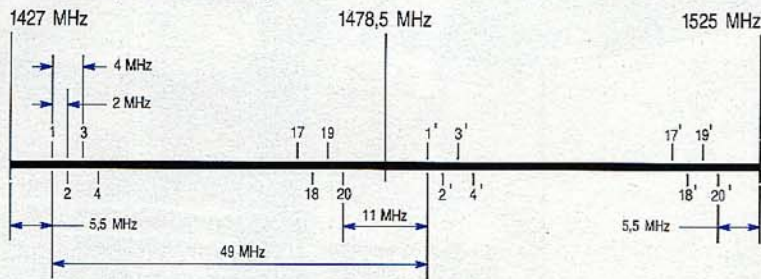
estación central y la estación repetidora siguiente, a la estación repetidora donde está conectado el abonado C.

- Entre dos abonados Rurtel (de A a D), conectados a la misma estación de abonado, que necesita dos intervalos durante el establecimiento de la llamada, pero ninguno a partir de entonces. El establecimiento de la llamada involucra la estación de abonado, dos estaciones repetidoras, la estación central y la central local. La estación central identifica el abonado llamado como perteneciente a la misma estación de abonado que el llamante, y envía una señal de control que faculta a la unidad de llamada local (intra-call), de dicha estación de abonado, a conectar al abonado A con el D. En ese instante los dos intervalos quedan libres.

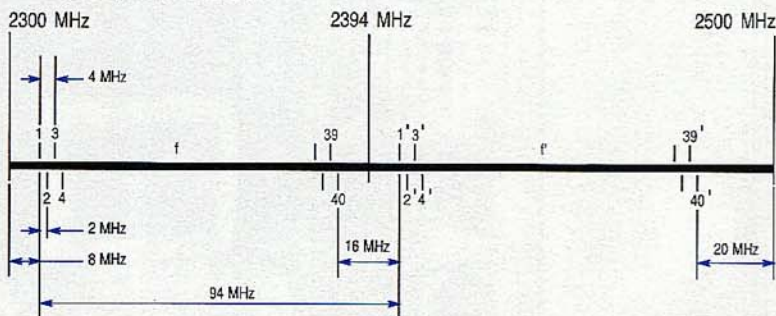
Capacidad de abonados y grados de servicio

Puesto que el sistema Rurtel trabaja como concentrador, es preciso estimar el máximo número de abonados que pueden atenderse y con qué grado de servicio.

BANDA DE 1,5 GHz (INFORME CCIR 379/4)



BANDA DE 2,4 GHz (INFORME CCIR 933)



Asignación de intervalos		bits/ intervalo	intervalos/ trama	bits/trama
Trama MDT	palabra única + PRBS*			32
Trama MDT	PRBS	32	31	992
Trama AMDT	(tiempo de guarda + PRBS)	(32)	(32)	(1024)
TS0	canal común de control del sistema	100	1	100
TS1–TS3	canales télex de 4 kbit/s + señalización asociada**	96	3	288
		4	3	12
TS4–TS31	canales de voz de 64 kbit/s + señalización asociada***	256	28	7168
		4	28	112
Trama completa				8704

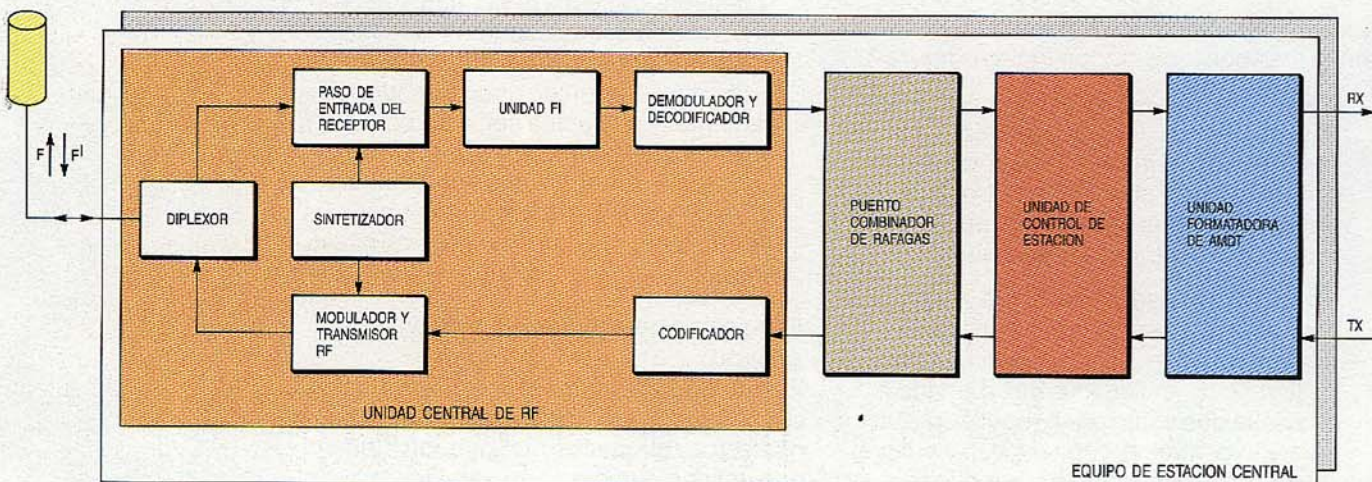
* Secuencia binaria pseudoaleatoria.

** Cada línea télex aparece una vez por cada seis tramas, de aquí el total de $3 \times 6 = 18$ canales télex (de 4 kbit/s) por trama.

*** Con cuatro bits de señalización interna (puntos de exploración/distribución) cada uno para señales de línea télex y telefónicas (cuelgue/descuelgue, llamada, cómputo, etc.).

Figura 5 Bandas de RF y asignación de canales de RF.

Figura 6 Configuración de la unidad RF de la central.



Se supone que los valores típicos de tráfico para abonados rurales son:

- abonado privado, de 0,03 a 0,06 erlang
- abonado empresarial, de 0,06 a 0,12 erlang
- teléfono de pago previo, de 0,12 a 0,40 erlang.

Por supuesto, la carga media total de tráfico por abonado depende de su distribución y aportación relativa. Los resultados estimados se basan en un tráfico medio de 0,085 erlang por abonado. Así, para un grado de servicio del 3% y 28 canales (intervalos de tiempo), la capacidad de tráfico se aproxima a 21,2 erlang, lo que permite conectar unos 250 abonados a un solo sistema Rurtel.

En la práctica, la capacidad total de tráfico superará algo este valor, gracias a la característica de "llamada local"; sin embargo, esta mejora es difícil de evaluar en una red real, ya que depende de una serie de factores, en particular del número de abonados atendidos por cada estación de abonado y su interés social común.

Transmisión radio

Plan de frecuencia

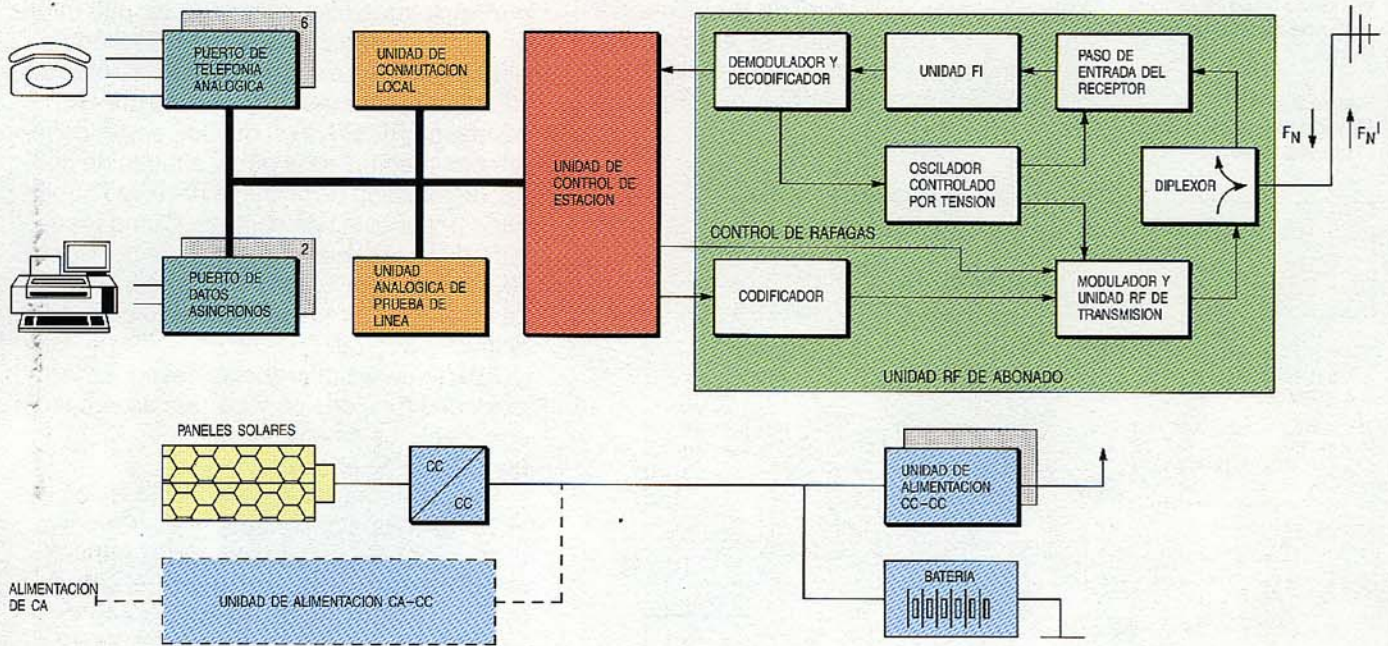
En la actualidad se dispone de las bandas RF de 1,5 GHz y 2,4 GHz. La figura 5 muestra los límites de las bandas, las frecuencias centrales, las separaciones de canales de transmisión y recepción, y la asignación de los canales RF. Para cada estación central se necesita una pareja de canales RF, y dos parejas para la estación repetidora. A distancias de la estación central o repetidora menores de los 100 km, se requieren canales RF diferentes, pero más allá de este área es posible funcionar en cocanal. Por consiguiente, pueden cubrirse zonas rurales inmensas por sistemas Rurtel adyacen-

tes, utilizando un número limitado de canales RF (estructura de "colmena"). El número de canales RF necesario depende de la topografía del área de servicio, del tamaño de las células, de la distribución de abonados y su densidad, de la situación de las centrales, de la planificación de la red, y de varios otros factores. Las cantidades varían desde 7 a 14 pares de canales RF para cubrir un área de cualquier tamaño.

Una sola antena puede dar servicio a dos transceptores en paralelo, si sus frecuen-

incluye considerar las futuras ampliaciones de la red y el aumento del número de abonados. En particular, y con el fin de evitar o por lo menos reducir al mínimo los posibles problemas de interferencias, son importantes factores como la atribución de canales RF, los adecuados niveles de transmisión y sensibilidades de recepción, y los emplazamientos elegidos. Estas consideraciones son válidas para cualquier sistema de radio de punto a multipunto, dispuesto en configuración celular.

Figura 7
Esquema de bloques de la estación de abonado, totalmente equipada.



cias de trabajo están separadas por lo menos en 12 MHz. En la figura 5, f y f' corresponden a las frecuencias de transmisión y de recepción, o viceversa, de la misma pareja de canales RF. Los canales de una mitad de la banda RF se utilizan para transmisión hacia las estaciones de abonado, y los canales correspondientes de la otra mitad de la banda, para transmisión hacia la estación central.

En general, las estaciones centrales utilizan antenas omnidireccionales o bien sectoriales, mientras que las estaciones de abonado emplean antenas direccionales (su tipo y tamaño dependen de la ganancia y directividad requeridas, así como de los aspectos de interferencia). Las estaciones repetidoras sin función de distribución utilizan antenas direccionales en ambos sentidos de transmisión, y en cambio las que incorporan distribución (servicio a estaciones de abonado "locales") utilizan antenas omnidireccionales o sectoriales en la dirección "descendente".

Se requiere una gran atención durante la fase de planificación de la red radio, lo que

Transceptores

Existen dos tipos básicos de transceptor RF. El primero, la unidad central de RF mostrada en la figura 6, se emplea en dirección hacia el abonado (descendente). Esta unidad se instala en las estaciones centrales y en las direcciones "descendentes" de las estaciones repetidoras, para la transmisión continua de las tramas MDT y la recepción en ráfagas de las tramas AMDT ("ascendentes"). La otra unidad de RF, la del abonado que aparece en la figura 7, se utiliza en dirección hacia la central local (ascendente), y es necesaria en todas las estaciones de abonado y en la dirección "ascendente" de las estaciones repetidoras para la transmisión en ráfagas de las tramas AMDT, así como para la recepción continua de las tramas MDT (descendentes).

La portadora de la unidad central de RF, generada por un oscilador controlado por tensión (VCO) y enclavada en fase con el sintetizador de frecuencia, controlado por cristal de cuarzo, está directamente modulada en fase por la señal de datos digitales, codificados, en el modulador RF de tipo

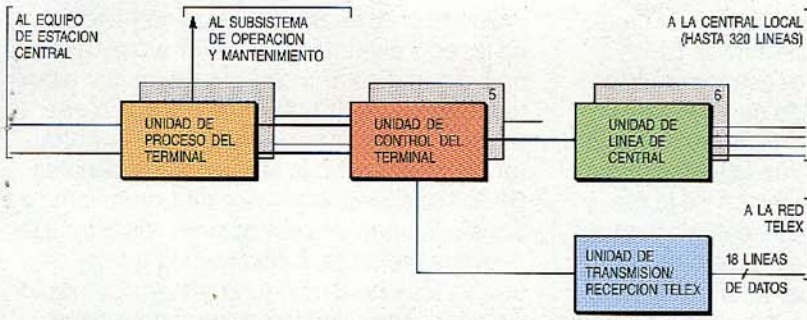


Figura 8
Esquema de bloques del terminal de central en banda base de la estación central de Rurtel.

Figura 9
Métodos de acceso a la central local.

MDP4, y después llevada al diplexor a través de los amplificadores de RF. La misma portadora RF (sin modular) se emplea para mezclar y convertir a frecuencias bajas las correspondientes portadoras de RF reci-

das como ráfagas desde las estaciones externas, lo cual produce la primera frecuencia intermedia, FI1, que corresponde a la desviación entre las frecuencias de transmisión y de recepción. FI1 seguidamente se convierte a una segunda frecuencia intermedia más baja, FI2, principalmente por motivos de selectividad y de recuperación de la portadora, necesaria para la demodulación coherente de las ráfagas recibidas.

La portadora RF de la unidad de abonado se extrae de un VCO referenciado a la portadora RF continuamente recibida (descendente), a través del demodulador que utiliza un bucle de enganche de fase. El modulador MDP4 y los amplificadores de potencia RF, son los mismos que utiliza la unidad central de RF, salvo en que los amplificadores son manipulados por el circuito de control de posición de la ráfaga (a su vez gobernado por la estación central). Como resultado de la continua recepción de portadora RF, el circuito del demodulador coherente es en cierta manera más sencillo que el de la unidad central.

Aparte de las diferencias descritas, las unidades funcionales y los demás circuitos son idénticos en ambas unidades RF, la central y la de abonado.

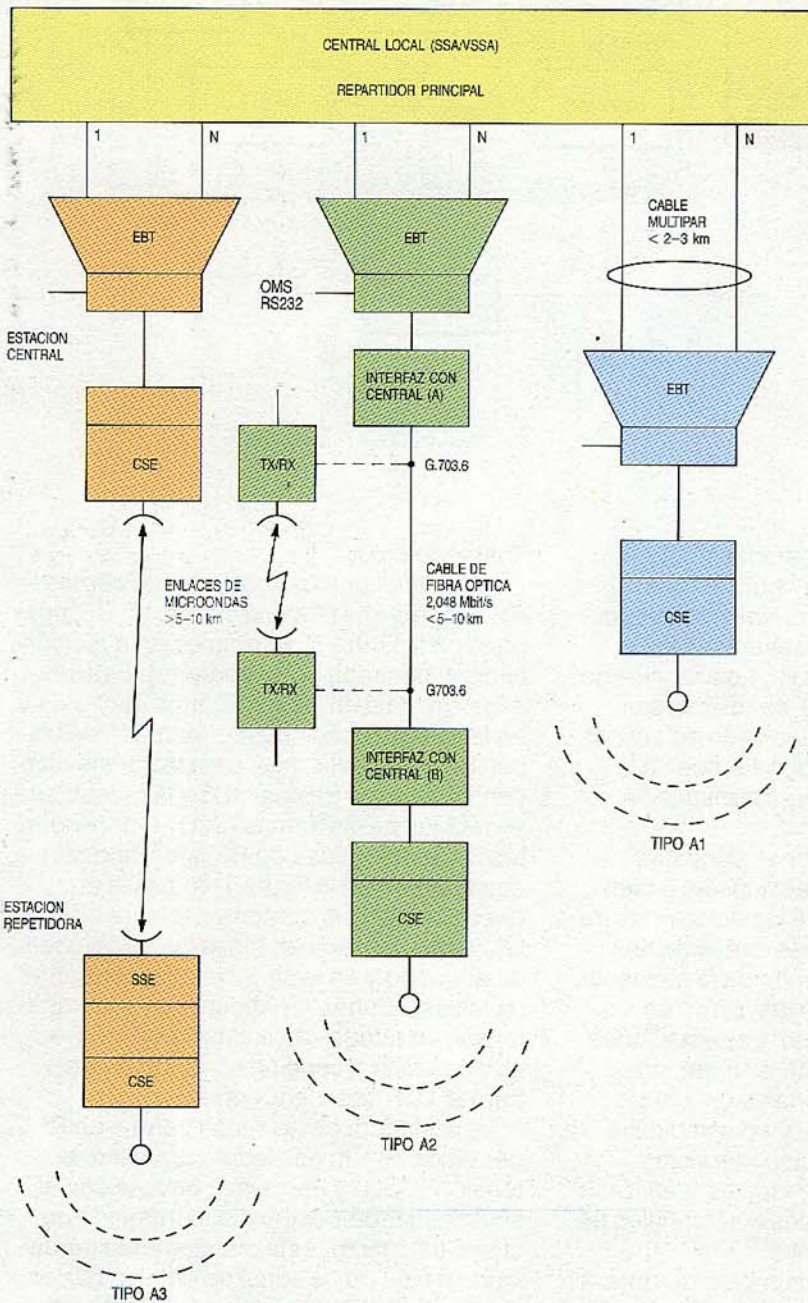
El nivel nominal de transmisión RF es de +30 dBm (opcionalmente +21 dBm para distancias más cortas); el umbral nominal de RF de recepción, para una $TEB \leq 10^{-3}$, es de -94 dBm, ambos referidos a la entrada de antena del diplexor RF, para ambas unidades RF de central y de abonado.

Configuraciones de estación/equipo

Estación central

La estación central (Figs. 6 y 8) incluye todas las funciones de control central, de supervisión y de vigilancia de la red, y facilita la interconexión con la red Rurtel y la central local.

Hay tres métodos de acceso a la central local (Fig. 9), dependiendo de la distancia y de los medios de transmisión existentes para acceder a la central. Si la distancia es inferior a 2-3 km, se instala un cable estándar multipar (tipo A1). Para distancias superiores, es posible emplear un enlace adicional de 2,048 Mbit/s, consiguiendo un interfaz según CCITT G703-6 por instalación de unidades de interfaz con la central. La transmisión digital se realiza a través de un sistema de fibra óptica (de 5 a 10 km), o bien aprovechando un enlace de microondas de 2 Mbit/s existente con capacidad de segregación/inserción (tipo A2). Para distancias aún más largas, en las que se carece de



otros medios de transmisión, la estación central puede ser conectada al primer punto de distribución por medio de la estación repetidora sincronizada Rurtel, según se muestra en la figura 9 (tipo A3).

El sistema de operación y mantenimiento se conectará al emplazamiento del centro correspondiente por un interfaz RS232, cableado directo, o línea telefónica vía modems si de largas distancias se tratara.

Estación de abonado

La estación de abonado proporciona un interfaz entre la red Rurtel (enlace de RF) y los abonados (bucle de 2 hilos). La figura 7 presenta el diagrama de bloques de una

atendido por la misma estación de abonado. La unidad analógica de prueba de línea permite la prueba cíclica o a demanda de la línea de abonado, bajo control del sistema de operación y mantenimiento y del operador. Esto ayuda a garantizar una rápida localización e identificación de fallos.

Estación repetidora

Dos son los tipos básicos de estación repetidora, uno para la retransmisión directa y otro para segregación en sentido "descendente". Uno y otro puede ser equipado con acceso de abonado local de 2 hilos.

La figura 10 muestra el diagrama de bloques para una estación repetidora con

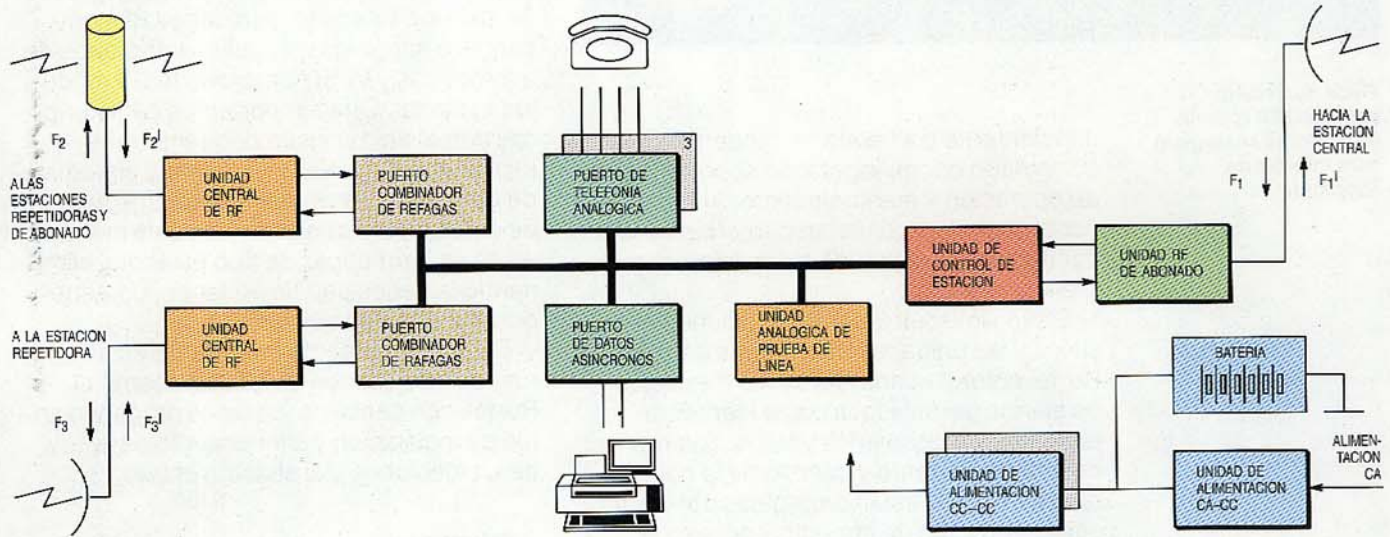


Figura 10
Diagrama de bloques de una estación repetidora con segregación que atiende localmente 12 abonados y dos líneas de télex/datos.

estación totalmente equipada para 24 abonados telefónicos y cuatro abonados de télex/datos.

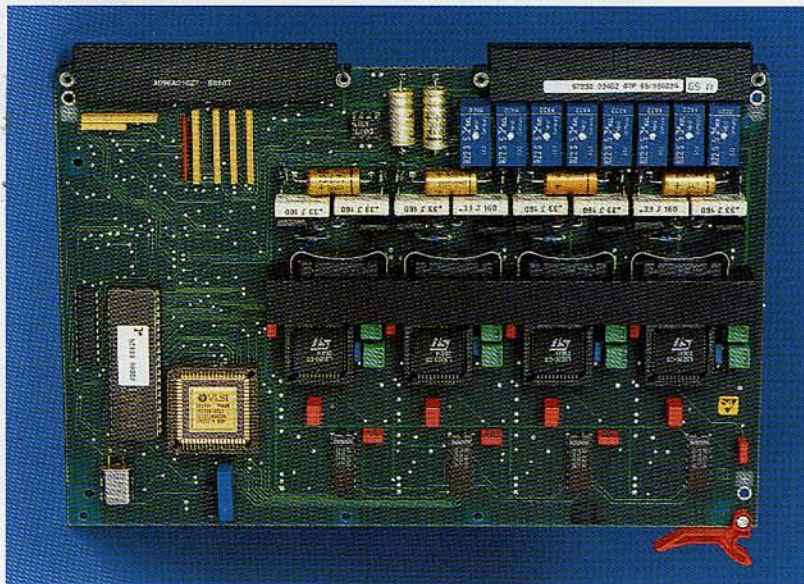
El transceptor RF (unidad RF de abonado) es responsable de la recepción y demodulación, así como de la modulación y la transmisión en ráfagas. La parte de banda base de esta unidad está conectada a la unidad de control de estación, que gobierna el bus de entrada/salida al cual acceden los puertos analógicos de abonados telefónicos y los de datos asíncronos.

Dos unidades suplementarias opcionales, que aportan funciones especiales, son la unidad de conmutación local y la unidad analógica de prueba de línea. Como ya se ha mencionado, la unidad de conmutación local de llamada permite que dos abonados, unidos a la misma estación de abonado, puedan interconectarse directamente una vez establecida la llamada, liberando así y restituyendo al sistema los dos intervalos de tiempo asignados. Si se interrumpe la conexión a la estación central, el abonado local puede marcar un número especial para conectar con cualquier otro abonado

segregación, con acceso de abonado local a 2 hilos, para 12 abonados telefónicos y dos abonados de datos/télex. La estación está montada dentro de una caja hermética a prueba de intemperie. El lado derecho del diagrama se corresponde con la estación de abonado, y el otro lado con parte del equipo de la estación central. De este modo, la estación repetidora contiene todas las unidades funcionales de la estación de abonado y dos unidades funcionales de la estación central.

Subsistema de operaciones y mantenimiento

Las redes rurales, en particular las de gran dimensión, requieren medios y facilidades para el control de la explotación: indicaciones del estado del sistema, tratamiento de los mensajes de alarma, supervisión, creación de estadísticas, etc. El subsistema de operación y mantenimiento de Rurtel se basa en un ordenador personal conectado vía interfaz RS232, a la unidad de proceso del terminal, en el terminal de central en banda base de la estación central, bien



Placa de circuito impreso ATP (puerto de telefonía analógica) para interfaz de abonado.

directamente o a través de modems. Está gobernado por un ingenioso soporte lógico de operación y mantenimiento. Al ordenador personal se conectan periféricos estándar (teclado, monitor de color, impresora gráfica, ratón, etc.).

Están vigiladas todas las funciones esenciales y las unidades del sistema de red Rurtel entero; el análisis de los mensajes de alarma permite localizar e identificar rápidamente las averías y fallos. Las rutinas de establecimiento y cambio de la configuración de la red están protegidas por contraseñas con el fin de impedir el acceso al personal no autorizado.

Facilidad de canal de servicio

El personal de servicio, dedicado al alineamiento, mantenimiento y reparación del sistema, puede acceder al mismo en cualquier estación externa para comunicarse con la estación central o cualquier otra estación donde haya personal de servicio. De este modo pueden informar sobre sus

tareas, dar y recibir instrucciones, y llegar a un acuerdo sobre las acciones requeridas.

Para conseguir esto, se inserta un adaptador en el armazón del equipo interfaz de abonado, en la estación externa, con el fin de acceder al bus de entrada/salida. En este caso, al técnico le trata como un abonado especial el subsistema de operación y mantenimiento, y es identificado por un código particular.

Conclusiones

El Rurtel, es un sistema modular, flexible, que ofrece una alta fiabilidad y economía de uso en la mayoría de zonas rurales. Esto se ha logrado utilizando conceptos avanzados de sistema y circuitos, unidades RF compactas e integradas, circuitos integrados de microondas y VLSI comprobados, y módulos estándar. Otras importantes características son el bajo consumo, que permite utilizar energía solar, y el refinado sistema de operación y mantenimiento. El equipo de estación externa completo está montado en cajas herméticas de tipo estándar, eliminando la necesidad de armarios, contenedores y edificios adicionales.

Es particularmente importante en zonas rurales disponer de un sistema como el Rurtel, con sencillos y rápidos procedimientos de instalación y alineamiento para equipos, estaciones y el sistema entero.

Referencia

- 1 R. Cacheiro, J. Espantaleón: Sistemas de conmutación para aplicaciones rurales: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, nº 3, págs. 211-220 (en este número).

Harri K. Ligotky nació en Alemania, en 1926. Recibió el título de Ing. (grad) en ingeniería eléctrica de la Technische Lehranstalt, en Dresde, en 1949. El Sr. Ligotky entró en SEL en 1951, donde trabaja en la actualidad como responsable de la planificación de sistemas para telecomunicaciones rurales.

Sistemas de conmutación para aplicaciones rurales

Las zonas rurales exigen equipos de conmutación específicos que sean económicos y al mismo tiempo ofrezcan una extensa gama de prestaciones y servicios. La arquitectura del Sistema 12 puede servir de base a centrales rurales que cubran capacidades pequeñas y muy pequeñas, así como a unidades remotas de abonados para las que dichas centrales sean la central principal.

R. Cacheiro

J. Espantaleón

Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España

Introducción

Las zonas rurales difieren de un país a otro, e incluso dentro de un mismo país. No obstante, comparten ciertas características que las distinguen de las áreas urbanas. Así, la gente está concentrada en pequeños núcleos, separados desde unos pocos centenares de metros a decenas de kilómetros, cuya población generalmente crece con lentitud comparada con las áreas urbanas aunque puede haber rápidos incrementos durante cortos periodos debido a factores estacionales como las vacaciones y el

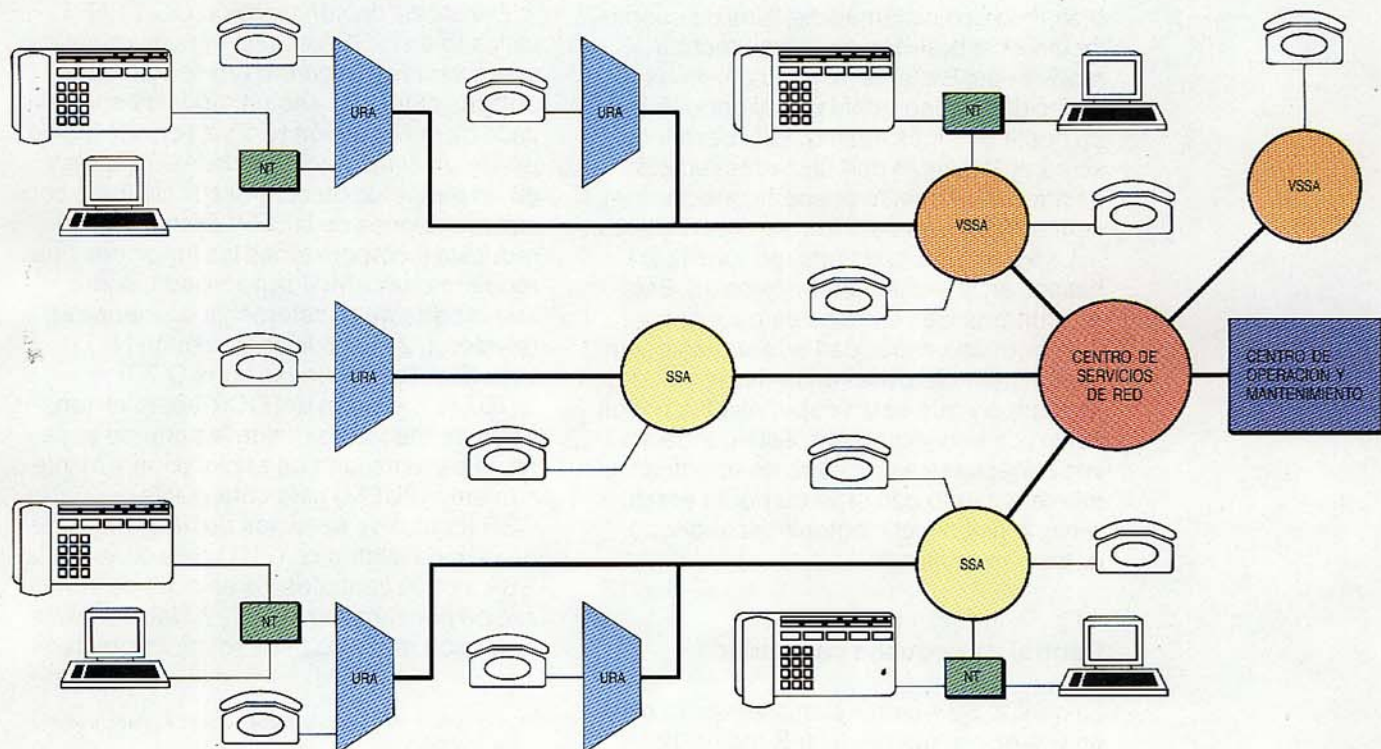
trabajo agrícola. Además, en numerosas zonas rurales son adversas las condiciones climáticas y geográficas. Estas características dan lugar a un elevado coste por línea telefónica a causa de la baja concentración de abonados, la dificultad del mantenimiento de un equipo muy disperso y a menudo lejano, y el bajo tráfico por línea.

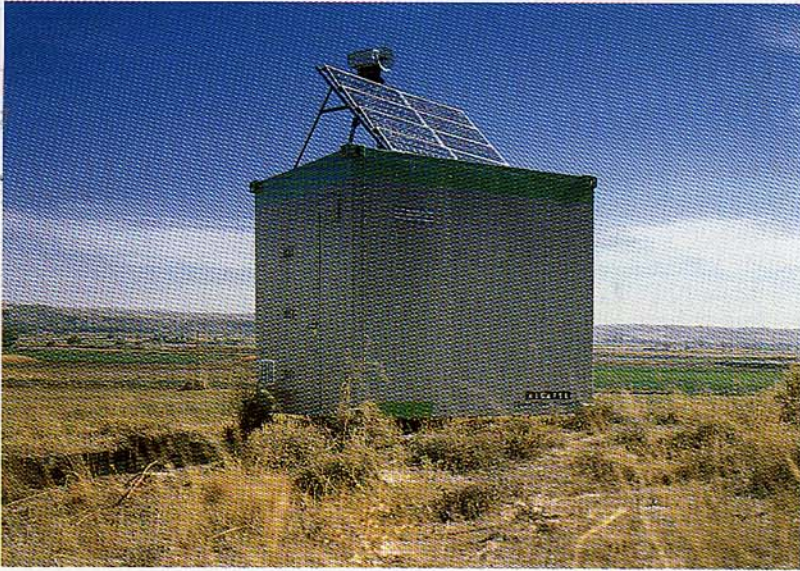
Al mismo tiempo, las Administraciones solicitan sistemas que proporcionen a los abonados rurales el mismo abanico de servicios que a los abonados urbanos.

Estos especiales requisitos de las áreas rurales solamente pueden satisfacerse con

Figura 1
Configuración típica de red rural.

- NT - terminación de red
- URA - unidad remota de abonados
- SSA - central de pequeña capacidad
- VSSA - central de muy pequeña capacidad.





Versión de exterior de una central rural.

un equipo diseñado con modularidad suficiente para reducir los costes a niveles aceptables cuando el número de abonados es pequeño, y que además ofrezca los mismos servicios que el equipo instalado en áreas urbanas. La operación y el mantenimiento deben ser controlados por un centro remoto a fin de reducir al mínimo el coste, ya que es muy oneroso realizar localmente tales actividades cuando los pueblos están muy dispersos y las condiciones geográficas son difíciles.

La geografía, el clima y el crecimiento estacional en áreas rurales requieren tanto instalaciones cerradas como al aire libre, lo que exige alojar el equipo en armarios o contenedores, que incluyen baterías, rectificadores y repartidor principal. Alcatel ha diseñado dos sistemas digitales de conmutación local basados en la arquitectura modular del Sistema 12 que cubren las capacidades pequeñas y muy pequeñas a un coste por línea óptimo. Estos productos se complementan con unidades remotas de abonados que se pueden conectar a las centrales locales para formar islas digitales.

La figura 1 muestra una red rural típica basada en la tecnología Sistema 12. Esta red comprende centrales de pequeña y muy pequeña capacidad que actúan como central principal de las unidades remotas de abonados y que están supervisadas por un centro de servicio de red; éste puede a su vez conectarse a un centro de operación y mantenimiento con el fin de poder efectuar la explotación y el mantenimiento desde uno u otro centro.

Central de pequeña capacidad

La central SSA (small stand alone) se basa en la arquitectura modular Sistema 12,

optimizada para pequeñas capacidades de abonados. Esto se ha conseguido de tres maneras:

- reducción de la red digital de conmutación a un solo conmutador de grupo por plano, utilizando todos los puertos del conmutador para conexión de subunidades terminales*
- diseño de nuevos bastidores con mayor densidad de placas, reduciendo así al mínimo el número de bastidores necesarios para albergar tanto la configuración más pequeña como la más grande
- uso de la capacidad de empaquetamiento del soporte lógico Sistema 12 para reducir el número de elementos de control auxiliar, y por consiguiente el número de módulos necesarios para cualquier configuración.

La funcionalidad de la SSA es la misma que la de las centrales Sistema 12 de mediana y gran capacidad, salvo en las pruebas de enlaces y en la señalización CCITT N° 7, que han sido simplificadas para reducir la cantidad de equipo necesaria.

La prueba de enlaces simplificada incorporada en la SSA está almacenada en un elemento de control auxiliar de sistema junto con otras funciones de la SSA. Incluye la generación automática de llamadas y las facilidades de prueba de la señalización de enlaces, y además genera informes de pruebas y de faltas. Estas pruebas se pueden activar periódicamente (a diario o semanalmente, por ejemplo), a demanda mediante orden hombre-máquina, o paso a paso bajo control del operador.

El sistema de señalización CCITT N° 7 utilizado en la SSA es una versión reducida que solamente requiere un módulo de enlaces digitales, y no un módulo especializado de señalización N° 7; el soporte lógico reside en el módulo de enlaces digitales y en un elemento de control auxiliar junto con otras funciones de la SSA. Dicha versión reducida incorpora todas las funciones que requiere una central supervisada, como son la parte de transferencia de mensajes (niveles 1, 2 y 3 de la señalización N° 7) según las Recomendaciones Q.701 a Q.707 (Libro Rojo) del CCITT para el transporte de mensajes desde la parte de usuario, la parte usuario de explotación y mantenimiento (PUEM) para conectar la central al CSR (centro de servicios de red), y la parte de usuario telefónico (PUT) para conectar la SSA a otras centrales vía enlaces de señalización por canal común N° 7. Naturalmente, la versión reducida tiene restricciones fun-

* Un grupo de módulos conectados a dos pares de conmutadores de acceso.

cionales que no afectan a la operación de la SSA:

- menor número, y menor complejidad, de facilidades de gestión de red
- no hay soporte de la función de punto de transferencia de señalización
- no hay soporte de la conexión a modem
- el canal de señalización es siempre el nº 16.

Arquitectura

La arquitectura de la SSA, expuesta en la figura 2, consta de los módulos siguientes:

Módulos de mantenimiento y periféricos: comprenden el módulo de periféricos y carga y el módulo de defensa, que proporcionan las funciones de mantenimiento, control de periféricos y carga de soporte lógico, y en los que se realizan las funciones de gestión de la base de datos utilizando el mismo equipo y soporte lógico que las centrales Sistema 12 de mediana y gran capacidad.

Módulo de reloj y tonos: proporciona las funciones de reloj, tonos y locuciones de la misma manera y con la misma capacidad que en las centrales medianas y grandes.

Módulos terminales telefónicos: la SSA utiliza idénticos módulos de abonados, enlaces digitales, circuitos de servicio e interfaz de URA que las centrales de mediana y gran capacidad.

Elementos de control auxiliar de sistema: El número de elementos de control auxiliar y su soporte lógico difieren de las centrales de mediana y gran capacidad. Dado que se aplican a reducidas cantidades de abonados existen solamente cuatro tipos:

- Tipo 1: ofrece facilidades de llamada y administración, y un gestor de recursos PABX que permite conectar éstas a la SSA.

- Tipo 2: proporciona facilidades CCITT Nº 7 reducidas en tarificación y facturación.
- Tipo 3: ofrece análisis de prefijos, información sobre las líneas de abonado (categorías, facilidades, etc.), análisis de tarificación y gestión de recursos de enlaces.
- Tipo 4: proporciona facilidades de prueba incorporadas, prueba de líneas y prueba de enlaces simplificada.

La figura 3 muestra la configuración de la red digital de conmutación de la SSA. La red es replegada, con una sola etapa y un solo elemento de conmutación por plano. Todos los puertos del elemento de conmutación se conectan a subunidades terminales, cuyo número máximo en la central es ocho.

La red digital de conmutación puede equiparse con un máximo de cuatro planos, lo que permite tratar altos valores de tráfico local e interurbano (0,8 erlang por enlace o 0,28 erlang por línea).

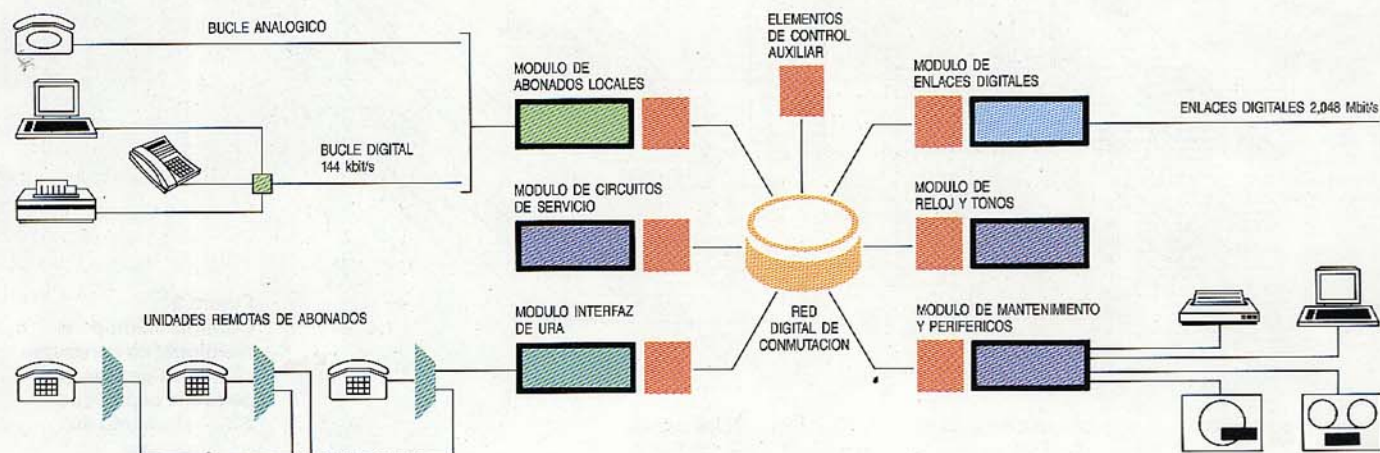
Capacidad del sistema

La SSA es una central local y de tránsito que cubre la gama de 256 a 3840 líneas locales digitales y analógicas. Se le pueden conectar unidades remotas de abonados (URA) en configuración segregada o de punto a punto mediante dos vías MIC (Fig. 2), lo que amplía la capacidad de la SSA a más de 6000 líneas (locales más remotas). Puede funcionar de modo autónomo o ser supervisada por un centro remoto.

La capacidad de tráfico local varía desde 0,09 hasta 0,28 erlang por línea, dependiendo de la configuración. La máxima capacidad de tratamiento de llamadas es de 40000 intentos de llamada en hora cargada.

La SSA puede equiparse con 28 módulos de enlaces digitales que proporcionan

Figura 2
Arquitectura de la central de pequeña capacidad.



840 canales digitales. Diez de estos módulos pueden utilizarse para conexión a las URA (se requieren dos módulos por cadena de segregación). La señalización digital puede ser asociada al canal (R2 y Socotel), CCITT N° 7 reducida, o acceso a velocidad primaria de RDSI (30B + D).

Se dispone de cuatro interfaces RS232 para conectar periféricos locales, como impresoras, unidades de pantalla u ordenadores personales, en soporte de la operación y mantenimiento locales. Para recogida local de datos, generación de discos de carga del soporte lógico del sistema y reserva se puede conectar una unidad de cinta magnética portátil.

La SSA se puede conectar por enlaces de señalización N° 7 a un centro de servicios de red que proporciona todas las funciones de supervisión necesarias; la SSA envía al centro los datos de abonado (tarificación, etc.), los datos de mantenimiento (alarmas, informes) y los resultados de las funciones de operación y mantenimiento que solicite el citado centro de servicios.

Realización física

La SSA requiere solamente tres tipos de bastidores (HF00, HA02 y HC01). Toda la funcionalidad de la central puede darse en un solo bastidor HF00, que representa la configuración mínima de central, 256 líneas de abonado. La configuración máxima, 3840 líneas locales, se consigue con cinco bastidores; los otros dos tipos de bastidores (HA02 y HC01) se añaden a la configuración mínima en dos secuencias de crecimiento posibles:

- HF00, HC01, HA02, HC01 y HA02 para las gamas de tráfico medio y alto

Tabla 1 - Configuración de los bastidores

Módulos	Bastidores		
	HF00	HA02	HC01
Abonados locales	2	8	8
Enlaces digitales/interfaz de URA	4	4	8
Circuitos de servicio	2	-	-
Mantenimiento y periféricos	2	-	-
Reloj y tonos	2	-	-
Elementos de control auxiliar	8	4	4
Conmutación de grupo	4	-	-

- HF00, HA02, HC01, HA02 y HC01 para gamas de bajo tráfico.

Las funciones de los bastidores están resumidas en la tabla 1.

La SSA se puede instalar en el exterior, dentro de un contenedor de 6 m de longitud que encierra los bastidores de conmutación, rectificadores, baterías y repartidor principal.

Central de muy pequeña capacidad

La central VSSA (very small stand alone) se basa también en la arquitectura modular Sistema 12 y está optimizada para capacidades de abonados muy bajas. Además de las optimizaciones aplicadas a la SSA, se han introducido otras varias facilidades:

- La red digital de conmutación se reduce a los dos conmutadores de acceso, con elementos de control conectados a todos sus puertos, de modo que la VSSA sólo requiere una subunidad terminal.

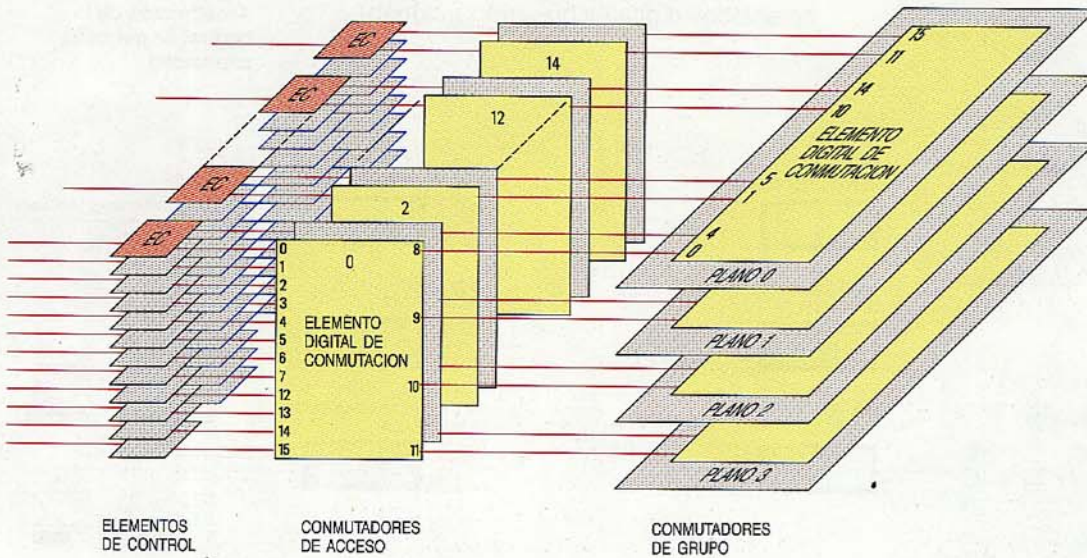


Figura 3
Configuración de la red digital de conmutación de la central de pequeña capacidad. EC - elemento de control.

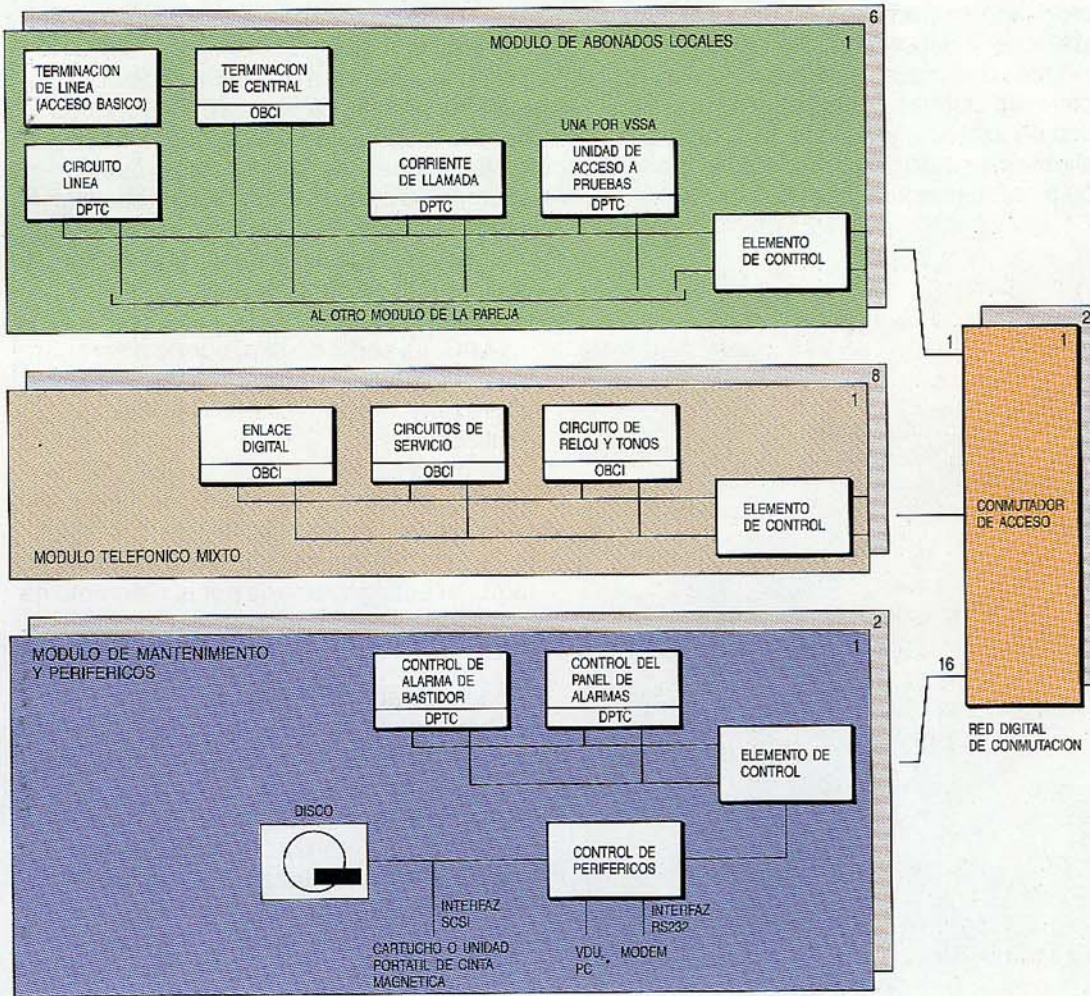


Figura 4
Configuración de la central de muy pequeña capacidad.
DPTC – controlador terminal de procesador duplicado
OBCI – interfaz de controlador incorporado
SCSI – interfaz de pequeños sistemas informáticos.

- Se han diseñado placas nuevas que incorporan en una sola placa las funciones que la SSA realiza en varias, y se ha provisto de interfaz MIC a todas las placas VSSA, excepto la de control de periféricos.
- Se han creado módulos combinados equipados con microprocesadores más potentes que permiten incluir más funciones y más placas en un módulo, reduciendo así el número de módulos necesarios tanto para la configuración más pequeña como para la más grande.

La funcionalidad de la VSSA es idéntica que la de la SSA.

Arquitectura

La configuración VSSA, reflejada en la figura 4, contiene solamente tres tipos de módulos:

Módulo de mantenimiento y periféricos, que proporciona las funciones siguientes:

- control de periféricos
- mantenimiento
- control de carga del soporte lógico

- facilidades de prueba incorporadas
- prueba de líneas
- prueba de enlaces simplificada
- generación del disco de sistema desde una unidad de cinta magnética portátil.

Este módulo contiene una placa de procesador con un microprocesador 80386 que trabaja en modo virtual 80286 protegido, 4 M-octetos de memoria incorporada, un bus multimaestro y un interfaz terminal. Además, una placa de canal de acceso directo a memoria y de control de periféricos gobierna los terminales hombre-máquina y los dispositivos de memoria de masa a través de dos tipos de buses. Por un lado, se utiliza un único bus SCSI para conectar un disco rígido, una unidad de cinta magnética portátil y un cartucho (opcionales los dos últimos). La unidad de cinta puede emplearse para recogida de datos, generación del disco del sistema y reserva; el cartucho sólo es utilizable como reserva. Si no hubiera unidad de cinta magnética portátil, los datos se vaciarían en impresora. Por otro lado, se utilizan dos interfaces RS232 para conectar pantallas,

ordenadores personales y modems según los deseos del cliente.

Otras dos placas, la placa de control del panel de alarmas centralizadas y de la unidad de estados, y la placa de control de alarmas de bastidor, completan el módulo de mantenimiento y periféricos.



Armario de interior.

Módulo telefónico mixto, que proporciona las funciones siguientes:

- circuitos de servicio (DTMF, R2 o MFC Socotel)
- enlace digital (señalización asociada al canal, CCITT N° 7 reducida o interfaz con URA)
- reloj simplificado, tonos y locuciones
- hora del día
- funciones normalmente situadas en elementos de control auxiliar.

El módulo consta de cuatro tipos de placas: una placa de procesador equipada con un

microprocesador 80386, una placa de enlaces digitales, una placa simplificada de reloj y tonos y una placa de circuitos de servicio multifrecuencia. La placa de reloj y tonos genera la señal de reloj, los tonos de audio, las locuciones y la señal de hora del día, además de ofrecer la difusión de mensajes a todos los módulos. La distribución de reloj y tonos la realiza esta placa gobernada por el elemento de control terminal, el cual envía las órdenes a través del canal 16 de la vía MIC. La señal de reloj puede sincronizarse con una de las dos posibles referencias externas obtenidas de los enlaces digitales.

La placa de circuitos de servicio multifrecuencia contiene un conjunto de 16 emisores multifrecuencia más 16 receptores de teclado y 16 receptores multifrecuencia, y también está gobernada por el elemento de control terminal a través del canal 16 del MIC.

Módulo de abonados locales, que ofrece las funciones de terminación de la línea de abonado y de acceso a pruebas. Contiene una placa de procesador equipada con un microprocesador 8086, 1 M-octeto de memoria y un interfaz terminal, una placa de terminación de líneas de abonado analógico y/o digital, y una placa generadora de corriente y tono de llamada. Hasta ocho módulos de abonados locales pueden equiparse en una VSSA, controlando uno de ellos la placa de pruebas que es responsable del acceso a las pruebas y del análisis de las señales de prueba para toda la VSSA. Esta placa de pruebas genera señales y tonos de prueba, además de generar y procesar las señales digitales.

Configuración de la red, expuesta en la figura 4. Consiste en una sola subunidad terminal compuesta de 16 módulos conectados a dos conmutadores de acceso, que actúan como red digital de conmutación.

Capacidad del sistema

La VSSA es una central local que cubre la gama de 16 a 768 líneas de abonados digitales y analógicos locales. A ella pueden conectarse una o varias URA en segregación a través de dos vías MIC, ampliando su capacidad hasta 1256 líneas, locales y remotas. El tráfico por abonado va desde 0,9 hasta 0,25 erlang por línea, dependiendo de la configuración adoptada, y la capacidad de tratamiento de llamadas es de 8000 intentos de llamada en hora cargada. Pueden equiparse hasta ocho placas de enlaces digitales (240 canales), dos de ellas utilizables para conexiones a URA, y las demás aptas para señalización asociada al canal (R2 ó MFC Socotel) o CCITT N° 7 reducida.

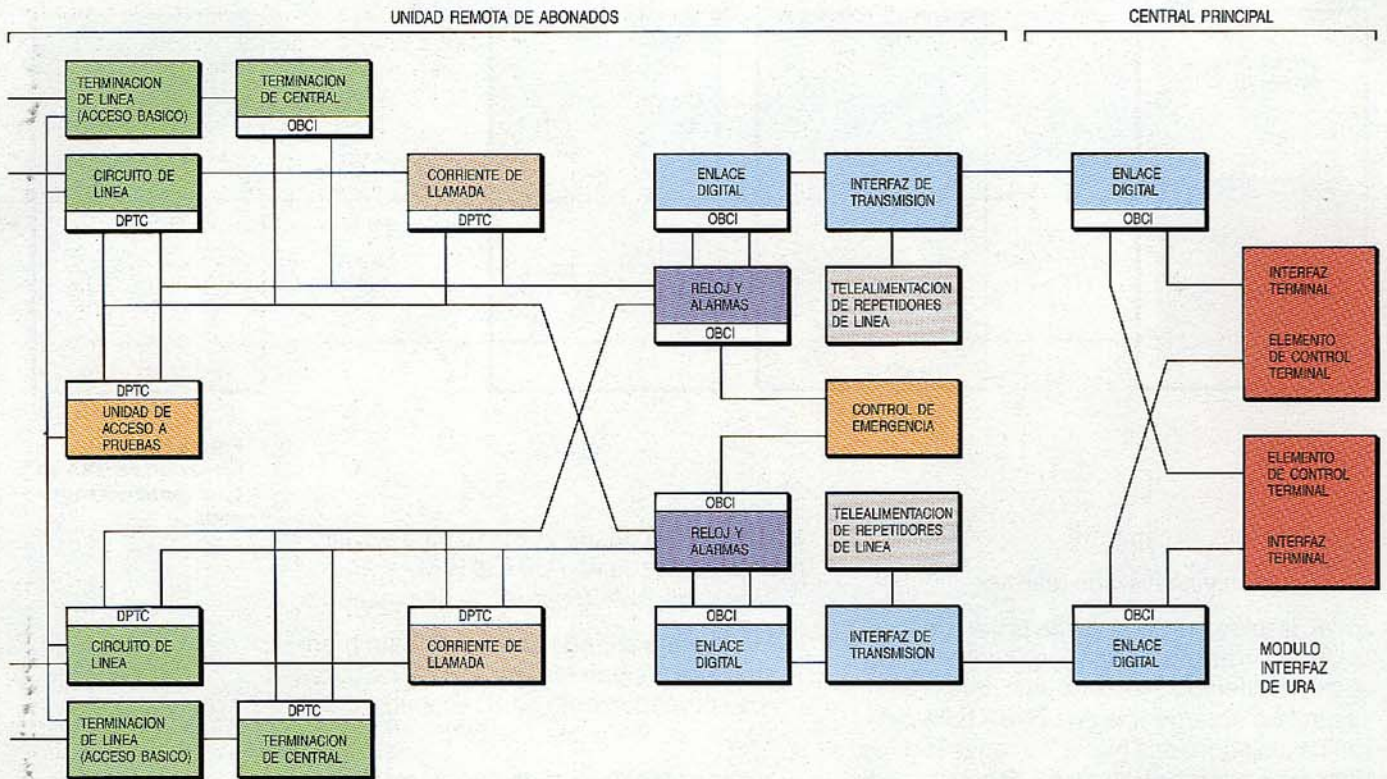


Figura 5
Diagrama de bloques de la URA indicando su conexión a una central principal Sistema 12.

La VSSA puede operar como central autónoma o central supervisada conectada a un centro de servicios de red, del mismo modo que la SSA.

Realización física

La VSSA sólo requiere 12 tipos diferentes de placas de circuito impreso, y su configuración de máxima capacidad puede alojarse en un bastidor de conmutación único. A fin de satisfacer las diversas exigencias de las zonas rurales, se han diseñado otros bastidores para equipar rectificadores, baterías y repartidor principal, y elementos análogos. Incluso podría utilizarse energía solar para alimentar la VSSA.

Versión de interior: consta de tres bastidores. Uno de ellos solamente lleva equipo de conmutación y aloja la configuración máxima de la VSSA (768 líneas locales y 240 canales digitales). Los otros dos bastidores contienen los rectificadores, las baterías y el repartidor, además de equipo de conmutación, siendo ambos necesarios en la mencionada configuración máxima ya que equipando solamente uno se logra una capacidad de 256 abonados.

Versión de exterior: puede equiparse una configuración de 256 líneas locales en un armario de intemperie, el cual incluye todo el equipo necesario para un funcionamiento autónomo. Una ventaja de esta versión es su fácil transporte.

Unidad remota de abonados

La URA es una pequeña unidad de conmutación para concentración de líneas que se conecta a una central principal mediante uno o dos enlaces MIC a 2048 kbit/s. Su capacidad puede variar desde 32 hasta 488 abonados analógicos. También se pueden conectar abonados RDSI de acceso básico 2B + D, teniendo en cuenta que un abonado RDSI equivale a dos abonados analógicos.

Arquitectura y descripción del sistema

El tratamiento de llamadas, la operación y el mantenimiento de la URA se efectúan desde la central principal, lo que permite a los abonados conectados a la URA disfrutar de los mismos servicios y facilidades que los abonados directamente conectados a aquella central. Asimismo, tanto los abonados locales como los de la URA podrán acceder a cualquier nuevo servicio o facilidad que se introduzca en la central (Fig. 5).

La URA carece de ECT (elemento de control terminal), siendo atendida por el ECT del RIM (módulo interfaz de URA) de la central principal. La comunicación entre URA y central se verifica por el canal 16 de las vías MIC, con señalización por canal común.

La lógica residente en la URA está micro-programada, y se la utiliza para:

- exploración y tratamiento del equipo

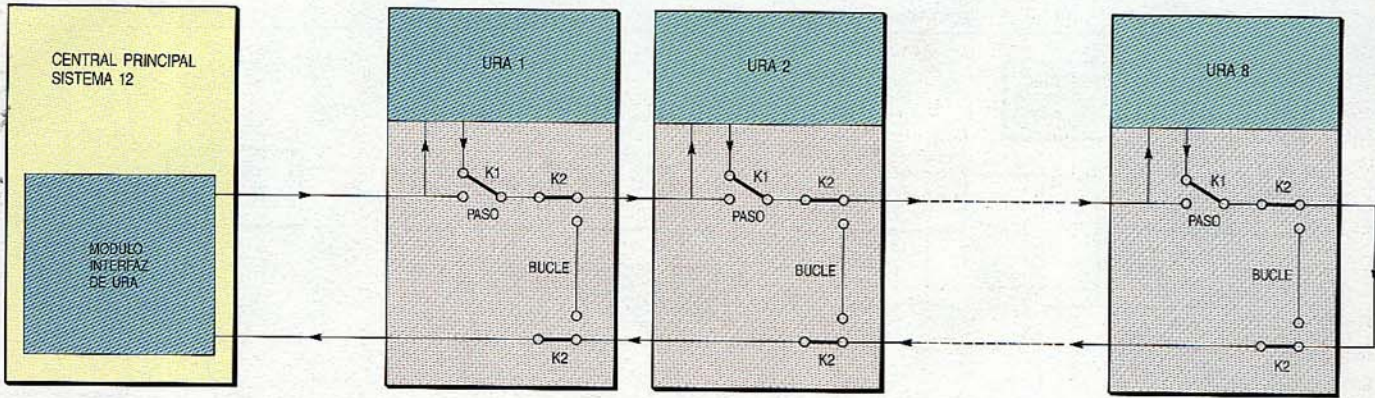


Figura 6
Conexión de URA en configuración segregada.

- operación del canal 16
- detección y análisis de alarmas.

En el caso de un fallo total de la transmisión, la URA se desconecta de la central principal. Al mismo tiempo se activa un circuito de control de emergencia en la URA para permitir a los abonados hacer llamadas locales (llamadas a otros abonados conectados a la URA). La lógica de este circuito está también microprogramada y es la mínima necesaria para:

- tratamiento de llamadas locales (una a una)
- generación de tonos y locuciones
- recepción de multifrecuencia (marcación por teclado MF).

Las URA pueden conectarse en segregación, lo cual permite compartir las mismas vías MIC por un máximo de ocho URA (Fig. 6). En esta configuración, cualquier fallo en un enlace, en la transmisión o en el equipo de conmutación puede afectar a todas las URA conectadas. Para que esto no ocurra, los mensajes de alarma son analizados tanto por las URA como por la central principal. Tan pronto como se detecta un fallo, se establece una comunicación entre la central principal y las URA con el fin de localizar el equipo averiado.

Localizado el fallo, el paso siguiente es reconfigurar la segregación, para lo cual existen dos posibilidades. Si la falta está en una determinada URA, se actuará su relé K1 (Fig. 6) para dejarla en cortocircuito. Sin embargo, en el caso de un fallo en la vía de transmisión entre dos URA, se actuará el relé K2 para cerrar el bucle en la URA precedente, desconectando así el enlace en falta.

La figura 7 muestra cómo operan los canales de la vía MIC. El canal 0 es recibido continuamente en el lado de llegada, y generado localmente por cada URA en el lado de salida. El canal 16 es analizado por la URA para detectar cualquier mensaje

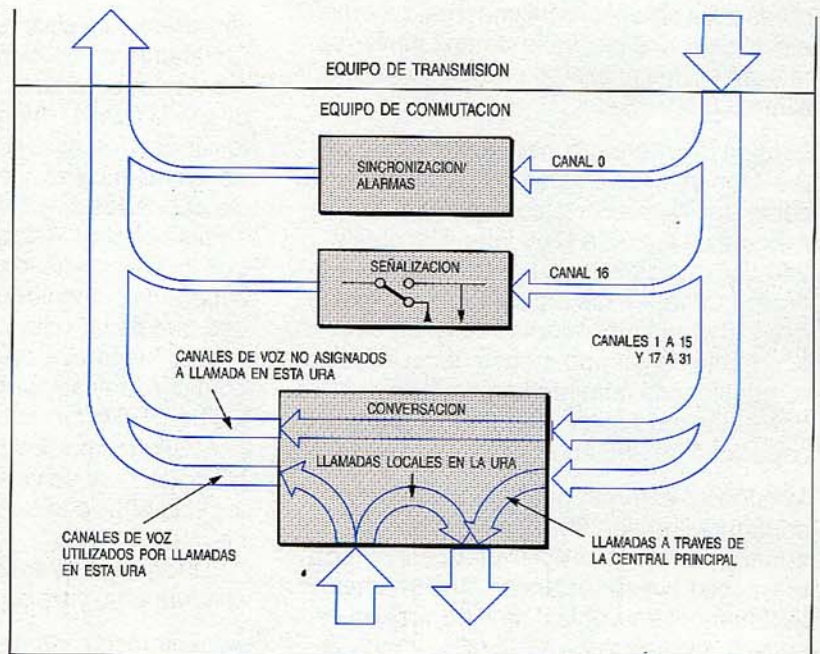
enviado a ella desde el RIM o para enviar mensajes desde esa URA al RIM.

Este canal puede operar de dos maneras:

- Modo simplex, enviando el RIM un mensaje que reciben todas las URA; se utiliza este procedimiento para reconfigurar la segregación en caso de fallo.
- Modo duplex, utilizado para el diálogo entre el RIM y una URA específica. En este modo, la URA abre el bucle del canal 16, lo que permite enviar y recibir mensajes hacia y desde el RIM.

La multiplexación en el tiempo del canal 16 se efectúa del modo siguiente: en primer lugar, una URA abre el bucle del canal 16 cuando detecta un mensaje desde la URA precedente con el indicador *último mensaje*. Con el bucle ya abierto, la URA empieza a enviar mensajes hacia el RIM indicando su identidad, y sólo el último de ellos llevará

Figura 7
Tratamiento de canales en la URA.



el indicador *último mensaje*. Por otro lado, una URA cierra el bucle del canal 16 una vez que haya recibido un indicador *último mensaje* desde el RIM y haya enviado su último mensaje a dicho RIM. A su vez, el RIM envía un mensaje a una URA determinada tras haber finalizado el envío de mensajes a la URA precedente y haber recibido de ésta su último mensaje.

En cada URA, dependiendo del tipo o estado de la llamada, se da paso a los canales de voz (canales 1 a 15 y 17 a 31), se los conecta dentro de la URA o se les pone en bucle interno. Esta conmutación en la URA está controlada por la central principal.

La URA nunca interrumpe el análisis de la vía MIC, ni siquiera estando en situación de "paso" como consecuencia de una falta, lo que le permite recibir órdenes de la central principal para activar o desactivar los relés de "paso" o de "bucle" (Fig. 6).

El interfaz de transmisión de la URA cumple la Recomendación G.703 del CCITT a 75 Ω asimétricos ó 120 Ω simétricos. Si la transmisión es por cable a 120 Ω simétricos, y siguiendo las recomendaciones Nélmic (norma de transmisión española), la URA puede incluir:

- repetidores de línea
- telealimentación de repetidores distantes, a ambos lados de la URA
- supervisión de la línea de transmisión desde central principal o desde cada URA (prueba de triplas)
- acceso al par de órdenes
- acceso a la línea de transmisión.

Con el fin de facilitar las funciones de operación y mantenimiento, la URA va equipada con indicadores luminosos y con un interfaz RS232 para poder conectar un terminal portátil de comunicación hombre-máquina.

La URA funciona en modo maestro-esclavo, extrayendo la señal de reloj de la trama del enlace digital. Además, lleva equipado un reloj para asegurar el funcionamiento en caso de un fallo de la vía MIC.

Realización física

Las URA son especialmente económicas, pues salen de fábrica totalmente probadas y se instalan con facilidad y rapidez en cualquier lugar. Hay tres tipos de equipamiento diferentes:

Versiones de interior, de las que existen dos. Una consiste en un armario normalizado Sistema 12 en el que se equipan dos URA, y la otra consta de un único armario que contiene una URA capaz de atender a 256 abonados, el repartidor principal, bate-

rías y rectificadores. Las baterías son herméticas y exentas de mantenimiento.

Versiones de exterior, en dos armarios diferentes. Uno de ellos tiene una capacidad de 128 abonados, y el otro alcanza los 256 abonados. En estos armarios igualmente se incluyen el repartidor, las baterías y los rectificadores. Para garantizar una eficaz protección ambiental y una mínima corrosión, los armarios se construyen en aluminio extruido. Los cierres, bisagras y piezas de sujeción en general solamente son accesibles desde el interior del armario, lo que reduce el riesgo de daños por vandalismo. Una unidad de control ambiental asegura que el equipo opera dentro del margen de temperatura especificado.

Versión de contenedor, que utiliza un contenedor estándar ISO de 10 pies, con acondicionamiento de aire. Interiormente va recubierto de paneles de aislamiento térmico con placas de aluminio soldadas a ambos lados. Las puertas y los pasos de cable van sellados herméticamente para garantizar que las condiciones ambientales interiores se mantengan dentro de los límites especificados. Hasta cuatro URA en dos bastidores estándar Sistema 12 pueden equiparse en este contenedor, así como el repartidor principal, los rectificadores y las baterías.

Conclusiones

La arquitectura modular del Sistema 12 de conmutación digital hace que su coste sea competitivo para cualquier tamaño de central, incluidas las de muy pequeña capacidad. Los módulos de soporte lógico Sistema 12 pueden ubicarse y combinarse según se requiera en cualquier módulo de equipo físico. Además, las placas de circuito impreso tienen generalmente el mismo interfaz (enlace MIC), por lo que cualquier placa puede utilizarse en cualquier módulo de equipo, con la única limitación del tráfico.

Unidas estas ventajas a unos microprocesadores nuevos y más potentes, han permitido reducir el número de módulos de equipo necesarios para dar servicio a pequeñas cantidades de abonados, a base de equipar más placas y más módulos de soporte lógico en cada módulo terminal. El resultado es que pueden configurarse versiones rurales del Sistema 12 que optimizan el uso del equipo sin reducir la funcionalidad del sistema.

Bibliografía

- 1 S. Husby y B. Vinge: Aplicación de la unidad remota de abonados en la red noruega: *Comunicaciones Eléctricas*, 1985, volumen 59, nº 1/2, págs. 174-178.

Ramón Cacheiro Varela nació en La Coruña, España, en 1944. Se graduó en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Madrid en 1968. El siguiente año ingresó en Standard Eléctrica, donde trabajó inicialmente en sistemas Pentaconta* y más tarde en diseño del soporte lógico para el sistema Metaconta*. Desde 1980 trabaja en diversas áreas de equipo y programas del Sistema 12. El Sr. Cacheiro dirige actualmente el grupo de arquitectura dentro del

área de ingeniería de sistemas en Alcatel Standard Eléctrica.

Juan Espantaleón Martínez, nacido en Madrid en 1942, se graduó en la Escuela Técnica de Ingenieros de Telecomunicación de esta capital en 1962. Dos años después ingresó en Standard Eléctrica, trabajando en el departamento de diseño de circuitos del sistema Pentaconta 1000. Más tarde se hizo cargo del grupo de especificaciones de conmutación. Actualmente el Sr. Espantaleón dirige el grupo de redes dentro de la ingeniería de sistemas en Alcatel Standard Eléctrica.

* Marca registrada del Grupo Alcatel.

Sistemas submarinos de telecomunicación de Alcatel: tradición e innovación

Las difíciles condiciones de trabajo en el fondo del mar y el alto costo de las reparaciones, reclaman una especial atención a la fiabilidad en todas las etapas del desarrollo, producción e instalación de sistemas ópticos submarinos. Por lo tanto, para el diseño de un sistema acertado es esencial combinar la experiencia y la innovación tecnológica.

J. Devos

Alcatel Submarcom, Clichy, Francia

Introducción

El nombre de Alcatel es inseparable de la larga historia de los cables submarinos, empezando con los cables telegráficos y evolucionando a través de la transmisión analógica por cable coaxial hasta la tecnología digital de fibra óptica de nuestros días. La transmisión analógica por cable coaxial equipado con repetidores submarinos se desarrolló durante los años cincuenta y a finales de los setenta ofrecía capacidades de más de 4000 canales telefónicos de 4 kHz. Ejemplo es el sistema Sudeste de Asia-Oriente Medio-Europa Occidental, que Alcatel ha tendido bajo el Indico.

La transmisión óptica, con fibra óptica de bajas pérdidas y regeneradores optoelectrónicos, ha significado un gran avance en cuanto a las capacidades que se pueden obtener con el mismo coste. Tres pares de fibras, transmitiendo cada una de ellas una señal de 565 Mbit/s, proporcionan una

capacidad total de 24 000 canales telefónicos sin usar concentradores.

Las decisiones de utilizar válvulas electrónicas (1955) y más adelante transistores (1968) en los repetidores submarinos, no se tomaron hasta bastante después de estar introducidas y probadas estas tecnologías en los sistemas terrestres. Por contraste, para la nueva generación de sistemas de fibra óptica no quedó otro remedio que utilizar tecnologías nuevas (circuitos integrados, láseres, receptores PIN) que no habían sido enteramente probados en cuanto a su fiabilidad durante los 25 años de vida útil de un sistema submarino. No obstante, combinando juiciosamente la tradición con la innovación se ha demostrado posible desarrollar sistemas que ofrezcan en la práctica la elevada fiabilidad requerida. Ello se ha conseguido mediante una intensa labor de investigación y desarrollo en los sistemas submarinos y la implantación de estrictos procedimientos de selección de componentes.

Los posibles clientes conceden hoy gran confianza a los frutos de las nuevas tecnologías, por lo que la innovación se ha convertido en un factor esencial del marketing. Esto aviva la competición por el logro de velocidades binarias más altas y mayores distancias entre repetidores a través de las tecnologías que están apareciendo. Queda un largo camino por recorrer para optimizar las prestaciones en estas áreas y Alcatel dispone de todos los medios para asumir el liderazgo en los desarrollos futuros.

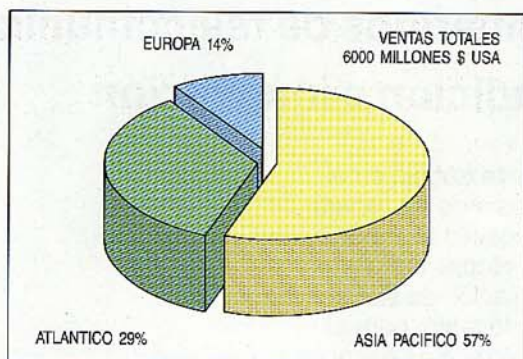
Posición de Alcatel

La liberalización, la privatización y la aparición de nuevos explotadores cambian drásticamente los condicionamientos de los

Tendido de un cable óptico submarino.



Figura 1
Previsión del mercado mundial de sistemas de telecomunicación submarinos entre 1989 y 1995.



sistemas submarinos. La estrategia de Alcatel se basa en dos conceptos sencillos pero vitales. El primero es dominar las tecnologías que se requieren en este campo tan exigente, y el segundo mantenerse en la vanguardia de la realización de sistemas submarinos. Para alcanzar tales objetivos, Alcatel ha conseguido los medios necesarios para desarrollar las tecnologías básicas, y para diseñar, fabricar e instalar enlaces submarinos a 280 ó 560 Mbit/s con uno a tres pares de fibras.

Sistemas submarinos de Alcatel

Alcatel ha instalado dos tipos de sistemas de fibra óptica en los años más recientes. El S280 es un sistema digital de gran capacidad y largo alcance que trabaja a 280 Mbit/s utilizando regeneradores ópticos para cubrir una distancia máxima de 7500 km. Por el contrario, el sistema SR es de menor alcance y no tiene repetidores, siendo adecuado no solamente para las tradicionales aplicaciones de telecomunicación sino además para otras nuevas tales como la extracción de petróleo cerca de la costa o en alta mar, infraestructuras de marina naval y mercante y enlaces costeros.

Para aprovecharse de las mejoras tecnológicas, Alcatel está completando el desarrollo y las pruebas del sistema S560, el cual transmite hasta 24 000 circuitos a distancias que llegan a 7500 km con velocidad binaria de 592,2 Mbit/s. Este avanzado sistema se describe en otro lugar de este número¹. Se ha desarrollado también un cable nuevo de menor diámetro que ofrece un alto rendimiento a menor coste que su antecesor².

Sistema submarino S280

Este sistema de elevada capacidad puede transmitir voz, imagen y datos a distancias de hasta 7500 km con una velocidad de transmisión de 280 Mbit/s. En función del número de fibras utilizadas, ofrece de 4000 a 12 000 circuitos de calidad de voz, cifra

que aumenta espectacularmente hasta 60 000 circuitos mediante el uso de equipo digital de multiplicación de circuitos.

La capacidad de información de un solo subsistema es de 2×140 Mbit/s por par de fibras. Además de canales telefónicos, un subsistema puede transmitir hasta ocho canales a 34 Mbit/s de televisión o datos de alta velocidad.

El cable para el S280 contiene de uno a tres pares de fibra que operan a longitud de onda de 1300 nm, y su estructura es tal que aísla de tensiones a la fibra, lo que garantiza una vida excepcionalmente larga. Los rigurosos procedimientos de aseguramiento de calidad contribuyen a garantizar que se mantiene una atenuación del cable de 0,38 dB/km durante toda la vida útil del sistema.

Sistema sin repetidores SR

Muchas de las más recientes aplicaciones para transmisión de voz y de datos requieren cubrir distancias relativamente cortas, pero exigen que ello se realice de manera muy económica. Para tales aplicaciones se ha desarrollado especialmente la gama de sistemas SR de Alcatel. Este sistema de fibra óptica, sin repetidores, es capaz de transmitir señales a velocidades de 2 a 560 Mbit/s y distancias de hasta 200 km. La supresión de los repetidores sumergidos facilita ajustar el cable y el equipo terminal a los requisitos específicos de cada enlace en lo que se refiere a longitud, profundidad del mar, capacidad de transmisión, márgenes de funcionamiento, etcétera.

El cable de fibra óptica utilizado con el sistema SR está diseñado para trabajar en la tercera ventana óptica a 1500 nm, con lo que la atenuación es menor y puede aumentarse el alcance del sistema.

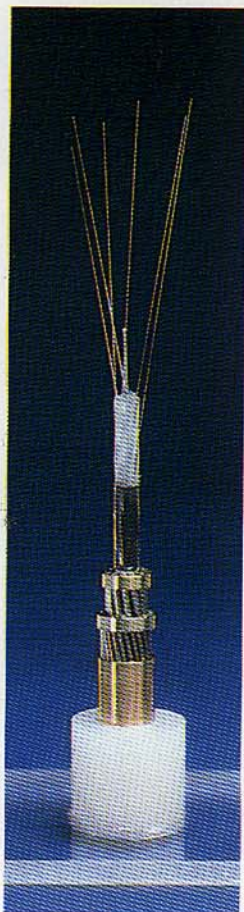
Instalaciones de sistemas submarinos de Alcatel

En la figura 1 se aprecia la previsión de mercado mundial para sistemas submarinos de telecomunicación entre 1989 y 1995. Alcatel ha sido durante muchos años un suministrador principal de sistemas submarinos, y participa ya en varios importantes proyectos que se completarán en los próximos años. Seguidamente se enumeran sólo algunos de los sistemas implicados.

En Europa

Alcatel ha participado en los más recientes proyectos transatlánticos en cooperación con compañías americanas e inglesas. En 1988 se completó la rama francesa del TAT 8, que supuso la instalación de 350 km de cable submarino utilizado con el sistema

Nuevo cable óptico submarino de pequeño diámetro.



S280. Alcatel participa hoy activamente en el proyecto del TAT 9 para el cual suministrará la sección francesa (552 km, dos pares) y la española (1400 km, un par) que utilizarán el sistema de alta prestación S560, trabajando en 560 Mbit/s en la ventana óptica de 1500 nm. La terminación del TAT 9 está prevista en 1991.

Alcatel Submarcom va a realizar además prácticamente toda la red del Mediterráneo, incluyendo el EMOS 1, el MAT 2 y la red doméstica italiana que une a Palermo, Roma y Génova. El EMOS 1 es un sistema de 280 Mbit/s que enlaza Italia, Grecia, Turquía e Israel, y que contiene 2850 km de cable submarino trabajando en 1300 nm: se prevé su finalización para junio de 1990. El MAT 2 es un sistema de 560 Mbit/s entre Palermo (Sicilia, Italia), Palma de Mallorca (Baleares, España) y Estepona (España), cubriendo 2000 km; se conectará con los sistemas EMOS 1 y TAT 9 y su terminación está prevista para septiembre de 1991.

Además de las ramas española y francesa del TAT 9, Alcatel Submarcom va a fabricar e instalar el sistema Euráfrica de 560 Mbit/s que enlazará Francia con el Reino Unido por el norte, y con Portugal, Marruecos y Madeira por el sur.

Todos los sistemas anteriores son de largo alcance y requieren repetidores, pero Alcatel ha instalado asimismo sistemas de corto alcance sin repetidores, que incluyen los de 140 Mbit/s que unen el Reino Unido

con Irlanda (130 km) y el Reino Unido con Francia N° 3 (155 km), así como el sistema Goptic en Suecia (100 km). Varios otros sistemas sin repetidores están en cartera, a saber: el Penbal 4 que conectará Valencia a Palma de Mallorca (España) salvando 320 km en dos secciones, el Transcan 2 que unirá Gran Canaria a Fuerteventura y Lanzarote en las Islas Canarias (España) a lo largo de 235 km en dos secciones, y Almería (España) a Melilla, en la costa norteafricana (205 km en una sola sección).

Asia y el Pacífico

Alcatel está ya establecida en Australia: Alcatel TCC (Tasman Cable Company) empezará su producción el 1 de enero de 1990 y pondrá en servicio su primer sistema (Tasman 2) a finales de 1991. El Tasman 2 unirá Australia con Nueva Zelanda, a 2500 km de distancia, utilizando con el sistema S560 tres pares de fibra que trabajarán a 560 Mbit/s. El programa prevé a continuación una parte importante de la red PACRIM oriental y occidental (Nueva Zelanda, Hawaii, Australia y Guam), es decir, unos 10 000 km del sistema S560 a poner en servicio en 1993 y 1994 (ver figura 2).

Resumen

En total, Alcatel Submarcom tiene en cartera pedidos para 12 000 km de sistemas de fibra óptica que serán instalados a mediados de 1992.

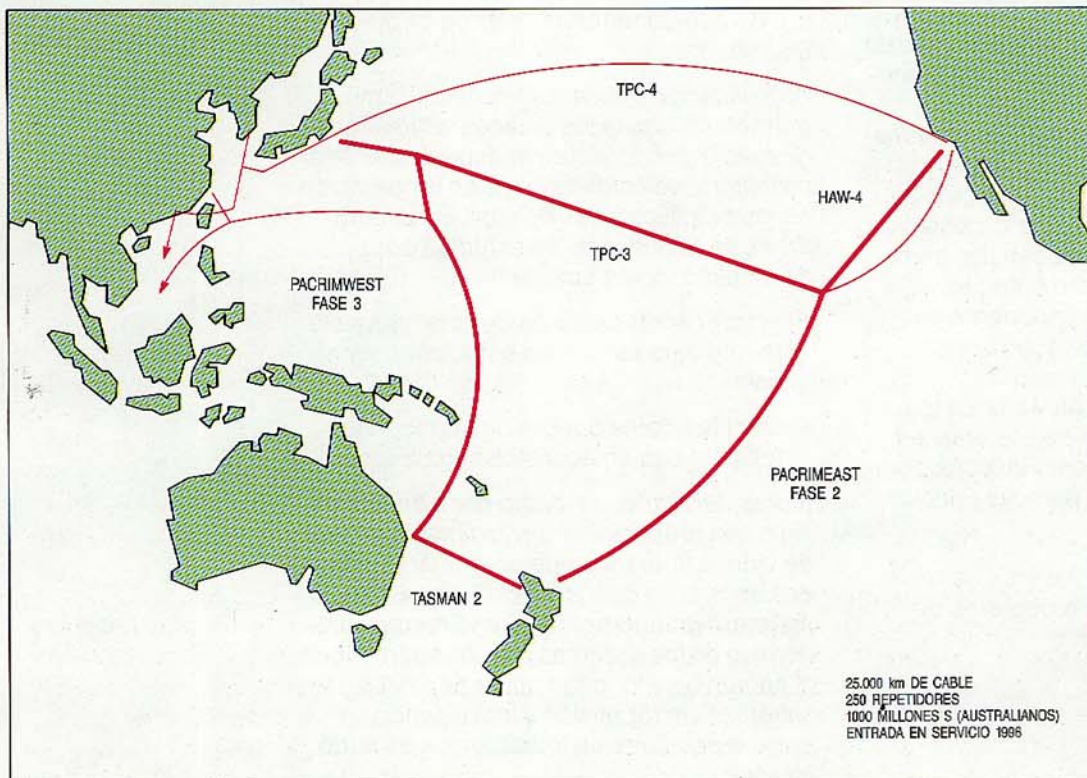


Figura 2
Alcatel participa en varios sistemas de telecomunicación submarina en Australia. Los pedidos cubren 25 000 km de cable y 250 repetidores por un valor total en torno a los mil millones de dólares australianos.

Dominio de nuestras tecnologías

Los enlaces submarinos tienen exigencias tecnológicas especiales. En primer lugar, se tienden en un entorno hostil sobre el fondo marino, lo que les exige resistir altas presiones, corrosión y golpes sin perder su estanquidad al agua ni sufrir fractura de las fibras. Durante las operaciones de tendido y recuperación están sometidos a esfuerzos considerables que no deben afectar a sus prestaciones, y una vez en el fondo están expuestos a daños, por ejemplo en las operaciones de dragado.

Además, una vez tendido el cable — a menudo a profundidades de 8000 m — es muy difícil y costoso recuperarlo. Por consiguiente, la alta fiabilidad y una vida en servicio muy larga son requisitos esenciales para cables y repetidores: recuérdese que la especificación permite un máximo de tres fallos en 25 años.

Por estas razones, los conceptos de fiabilidad, garantía de calidad y procedimientos de calificación son fuerzas motrices cotidianas para las compañías que trabajan en este campo, entre ellas Laboratoires de Marcoussis, Alcatel CIT, Câbles de Lyon y CLTO.

Para que se admita el uso en sistemas submarinos de cualquiera de las partes de un sistema de Alcatel, es necesario que supere con éxito una serie de rigurosos procedimientos de calificación. Ante todo, debe calificarse el propio diseño así como las tecnologías en sí (componentes, materiales); una vez conseguido esto, se han de calificar los procesos de fabricación y definirse métodos para selección de componentes. Finalmente, es necesario garantizar el control de calidad continuo de los procesos de fabricación.

La calificación de componentes sumergidos se basa en aplicar un programa de "fiabilidad integrada" cuyos principios son similares a los adoptados para los sistemas analógicos. Merece la pena señalar, como ilustración del éxito de este enfoque, que no ha fallado ni un solo componente en los repetidores analógicos submarinos instalados por Alcatel.

Alcatel diseña, desarrolla y fabrica todos los componentes críticos de sus enlaces submarinos. Esto representa un considerable esfuerzo I + D, cuyas partidas principales son:

- componentes ópticos (láseres de realimentación distribuida, receptores de fotodiodos de avalancha)
- circuitos integrados
- fibra óptica
- estructuras de cable.



Unidad de bifurcación de cable óptico submarino.

Nuestras prestaciones se comparan favorablemente con las de nuestros principales competidores: nadie tiene en este momento una ventaja o adelanto decisivo (en plazos de entrega, vanos de repetición, prestaciones).

Nuevas tecnologías

Las tecnologías no son estáticas, por lo que es esencial que Alcatel invierta a fondo en mantenerse en vanguardia de los desarrollos tecnológicos para sistemas submarinos. Al aparecer nuevas tecnologías, se utilizarán primeramente en enlaces sin repetición de corto alcance, ya que su realización será más rápida.

Algunas de las nuevas tecnologías que probablemente se introducirán en un futuro más o menos cercano son:

Transmisión coherente: se está examinando la modulación MDP2 para recepción heterodina. Precisa de una fuente óptica con una banda espectral muy estrecha, pero ofrece un umbral de recepción mejorado. Se espera tener un balance de 50 dB a 560 Mbit/s.

Amplificación óptica: es una técnica muy prometedora para los enlaces submarinos de medio y corto alcance, especialmente al no influir la velocidad binaria en la operación de los amplificadores ópticos. En Laboratoires de Marcoussis se estudian dos tipos de amplificadores ópticos:

- amplificadores ópticos de fibra, probablemente para uso en las estaciones terminales
- amplificadores ópticos de semiconductor, para uso en el enlace submarino.

Fibras del futuro: sin duda, hacia finales de siglo se introducirán nuevas fibras a base de vidrios fluorados que presentarán pérdidas en la zona de los 0,01 dB/km. Esto mejorará grandemente el rendimiento económico de los sistemas ópticos submarinos al aumentar la longitud cubierta por los sistemas sin repetición y las distancias entre repetidores en los sistemas de largo alcance.

Conclusiones

El desarrollo e instalación de sistemas ópticos submarinos requiere numerosas técnicas y artes además de las anteriormente señaladas. Se necesitan buques para tender los cables y dispositivos de rastreo submarino, hay que empalmar los cables y han de desarrollarse cajas sumergidas capaces de resistir las adversas condiciones del medio marino. El dominio de todas estas artes y nuestra capacidad tecnológica son las claves de nuestro éxito en el futuro.

Referencias

- 1 J. P. Trezeguet: Sistema óptico submarino de telecomunicación S560: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, n° 3, págs. 231–239 (en este número).
- 2 C. Reinaudo: Cable para sistemas submarinos de telecomunicación: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, n° 3, págs. 226–230 (en este número).

Jean Devos nació en 1938. Se graduó en el Institut Supérieur d'Electronique du Nord en 1961. Desde entonces hasta 1965 trabajó como ingeniero en la División Submarina de Cables de Lyon y fue después director de fabricación de la división durante tres años. En 1968, el Sr. Devos fue nombrado director delegado de la factoría de cables en Calais, responsable de los sistemas submarinos. Desde 1977 es el director general de Alcatel Submarcom.

Cable para sistemas submarinos de telecomunicación

Se ha desarrollado un nuevo cable submarino de fibra óptica más pequeño que las versiones anteriores, pero que ofrece las mismas altas prestaciones y fiabilidad merced a la mayor solidez mecánica de las fibras ópticas. Este nuevo cable se utilizará en varios sistemas submarinos, entre ellos el TAT 9.

C. Reinaudo

Les Câbles de Lyon, Calais, Francia

Introducción

Dado que los cables de telecomunicación submarinos han de funcionar durante 25 años al menos sobre el fondo del mar, en un entorno adverso, necesitan ser altamente fiables. La fiabilidad abarca los tres principales aspectos de instalación y operación del cable: transmisión de señales ópticas y alimentación de los repetidores; resistencia a la presión, al agua del mar, a los tiburones, trabajos de dragado, roce de las rocas y diversas tensiones mecánicas; esfuerzo de tensión durante las operaciones de tendido y recuperación. Una larga experiencia en las condiciones del mar y características del fondo marino, unida a diseños especiales de los cables son las bases para lograr la alta fiabilidad que esta aplicación requiere.

Las fibras ópticas se utilizan en cables submarinos de telecomunicación desde 1982. Entre 1982 y 1985, Les Câbles de Lyon desarrolló un cable submarino de 25 mm de diámetro que fue calificado en 1986. Se eligió este cable de altas prestaciones para diversos enlaces experimentales, así como para los enlaces comerciales de Continente-Córcega 3, Reino Unido-

Irlanda, doméstico de Suecia, Reino Unido-Francia 3 y TAT 8.

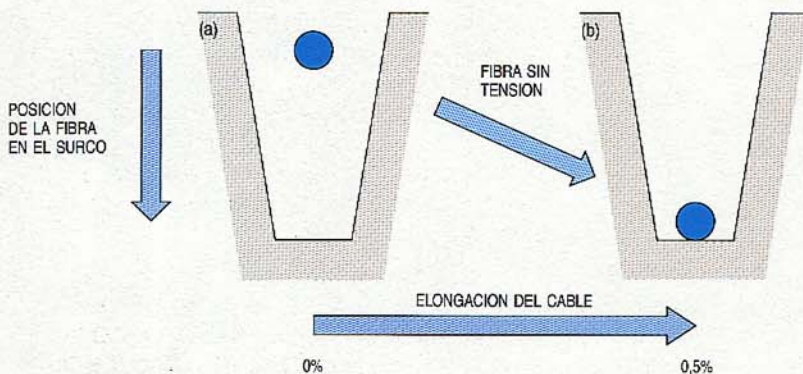
Se ha desarrollado recientemente un nuevo cable submarino de fibra óptica, de menor diámetro, que ofrece idéntica fiabilidad y altas prestaciones, y ha sido ya seleccionado para utilizarse en varios sistemas submarinos de telecomunicación, como el TAT 9.

Cables submarinos: la necesidad de fiabilidad

Una de las principales características de diseño del cable anterior es que protege a la fibra contra las tensiones, utilizando un núcleo acanalado con surcos helicoidales en cuyo interior se aloja una fibra de mayor longitud (Fig. 1). Esto se realiza de la manera siguiente:

- Durante el cableado, se estira el núcleo de plástico acanalado con una tensión cuidadosamente controlada de forma que se alargue aproximadamente un 0,5%; a continuación se aloja en el surco la fibra sin tensar.
- Después del cableado, se libera de tensión al núcleo de forma que éste se contrae ligeramente, obligando a la fibra a ascender en el surco y alcanzar una posición intermedia, como se muestra en la figura 1a.
- Cuando más adelante se tira del cable (en las operaciones de tendido o recuperación, por ejemplo), la fibra desciende nuevamente hacia el interior del surco, absorbiendo el aumento de longitud, con lo que vuelve a descansar en el fondo del surco (Fig. 1b); por consiguiente la fibra sólo sufre tensión una vez absorbido todo el exceso de longitud.

Figura 1
Posición de la fibra óptica en el surco en función de la elongación del cable: (a) posición intermedia adoptada por la fibra, y (b) fibra descansando en el fondo del surco.



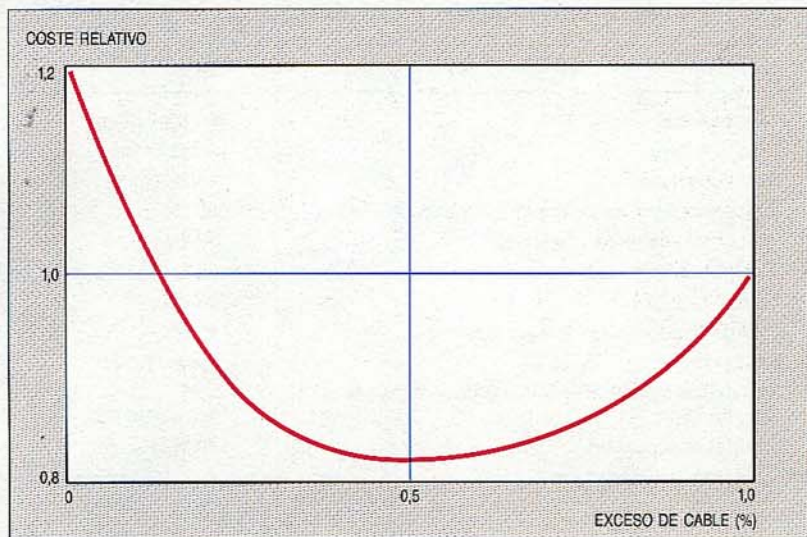
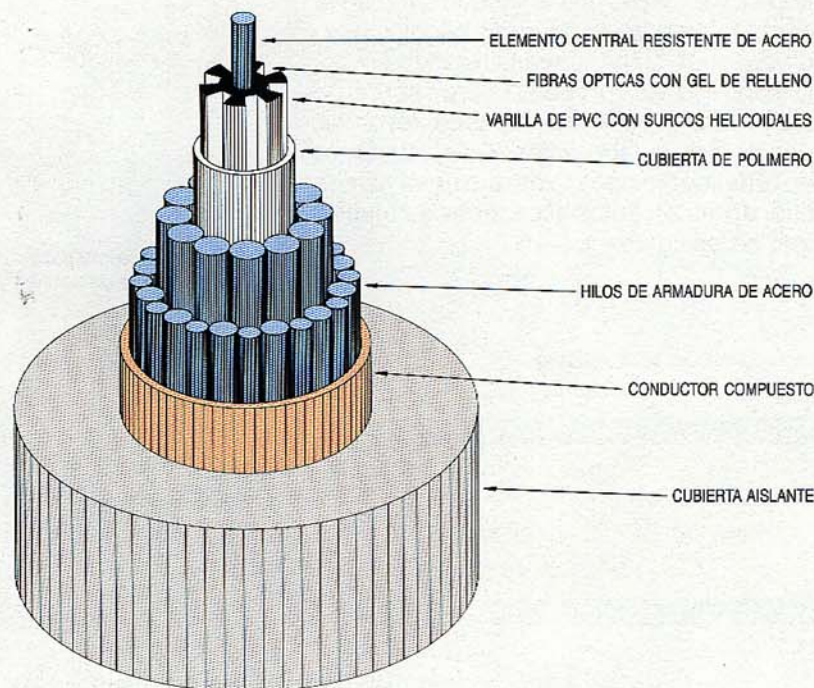


Figura 2
Variación del coste relativo con el exceso de fibra óptica en el cable. Se aprecia que el punto óptimo se alcanza para un exceso de 0,5%

La longitud extra de la fibra en el cable debe ser suficiente para asegurar que no se ejerce tensión sobre ella durante el tendido y la recuperación del cable. También dependerá de la carga de rotura de la fibra. Como primera aproximación, la suma del nivel de carga de prueba de la fibra y del exceso de longitud de la fibra en el cable debe ser equivalente a la elongación de rotura del cable, esto es, alrededor de un 2%.

Hace algunos años se realizó una comparación técnica y económica de dos estructuras de cable submarino de fibra óptica con el fin de determinar cuál de ellas era la más adecuada¹. Los estudios también demostraron que el compromiso óptimo entre coste y fiabilidad se alcanzaba con el 1,5% de carga de prueba de la fibra y un exceso de

Figura 3
Corte transversal que muestra la construcción del cable de profundidad de 21,5 mm.



longitud del 0,5% (Fig. 2). Esto dio lugar a pasar del cable de 25 mm con carga de prueba de fibra 0,9% y exceso del 1,1% a un cable de 21,5 mm de diámetro con los correspondientes valores de 1,5% y 0,5%. Como el coste del cable depende en gran medida de la profundidad de los surcos, el cable de 21,5 mm con surcos más superficiales es menos costoso que el cable de mayor diámetro.

Construcción del cable submarino de 21,5 mm

La estructura del cable de 21,5 mm es similar a la del anterior de 25 mm. La figura 3 muestra el perfil del cable de gran profundidad, compuesto de tres partes principales: núcleo óptico de 4,65 mm de diámetro, conductor compuesto de 10,5 mm de diámetro, y aislamiento que lleva el diámetro hasta el total de 21,5 mm.

Núcleo óptico

Una varilla de PVC se extruye alrededor de un elemento resistente de acero de 0,65 mm de diámetro. Este proceso forma seis canales helicoidales en la varilla de PVC. Durante el cableado de la fibra se introducen en cada canal una o dos fibras, con lo que se obtiene un núcleo de seis o doce fibras. Para evitar penetración de agua se rellenan los canales con un compuesto basado en silicona y luego se enrollan dos cintas de polímero en torno de la varilla de PVC. Alrededor de este elemento se extruye otra capa de polipropileno con el fin de proteger el núcleo óptico.

Conductor compuesto

En torno del núcleo se cablea con holgura una doble capa de hilos de acero, lo que forma una bóveda que protege al núcleo óptico de la presión y asegura que el cable tenga una alta resistencia a la rotura (más de 10 toneladas). Entre los hilos de acero se introduce un agente impermeabilizante – poliuretano – que se polimeriza para garantizar la estanquidad de la citada bóveda. Se enrolla luego una cinta de cobre en torno a los hilos de acero, se la suelda para que forme un tubo y con un troquel se la comprime sobre dichos hilos de acero. Este tubo de cobre sirve para llevar energía a los repetidores y también ayuda a evitar la migración del hidrógeno al núcleo óptico, donde puede degradar la atenuación de la fibra.

Aislamiento

Finalmente se extruye alrededor del cobre una capa de polietileno de baja densidad,

lineal, para proteger al cable contra la abrasión y aislar al cobre (hasta 15 kV) del agua del mar.

Características principales del cable submarino de 21,5 mm

Características de transmisión

El cable es adecuado para utilizar todos los tipos de fibra comercialmente disponibles en la época en que se diseñó:

- fibras de 1,3 μm con núcleo dopado de GeO_2 (envoltura adaptada) con el fin de optimizar la dispersión cromática para operación en la ventana óptica de 1,3 μm
- fibras de dispersión desplazada² de 1,55 μm
- fibras de núcleo de sílice pura.

Todas pueden utilizarse en el cable sin incremento de la atenuación.

La degradación predecible causada por la entrada de hidrógeno molecular y los cambios de atenuación con los años, han sido evaluados tendiendo en la costa de Bretaña un cable que contenía dos tramos de fibra de 45 km y midiendo su comportamiento en transmisión para detectar cualquier incremento de la atenuación con el tiempo. La elección de materiales del cable y de tecnología de fabricación se ha demostrado satisfactoria, ya que no se ha apreciado variación significativa de la atenuación.

Características mecánicas

Aunque el nuevo cable de 21,5 mm es más pequeño que su predecesor, su resistencia dinámica durante su manejo en el mar es igual de alta³ porque es menos pesado y tiene un menor parámetro hidrodinámico* de 40,2 grado.nudos. La resistencia al roce es también mejor a consecuencia de utilizar polietileno lineal en lugar de polietileno

Tabla 1 - Características del cable de profundidad

Parámetro	Valor
Peso en el aire	0,792 ton/km
Peso en el agua	0,417 ton/km
Carga de rotura	100 kN
Carga necesaria para compensar el exceso de fibra	50 kN
Tensión permanente tolerable	67 kN
Tensión tolerable a corto plazo (1 hora)	85 kN
Módulo*	24 km
Módulo de seguridad (fibra sin tensión)	12 km
Par de torsión	0,4 m · N/kN
Resistencia a prueba de dobleces invertidos en radio de 1,0 m	100 ciclos
Resistencia a presión	70 MPa
Constante hidrodinámica	40,2 grado.nudos

* Longitud de cable suspendido verticalmente en agua equivalente a la carga de rotura.

estándar de baja densidad. La tabla 1 resume las principales características mecánicas de este cable.

Características ambientales

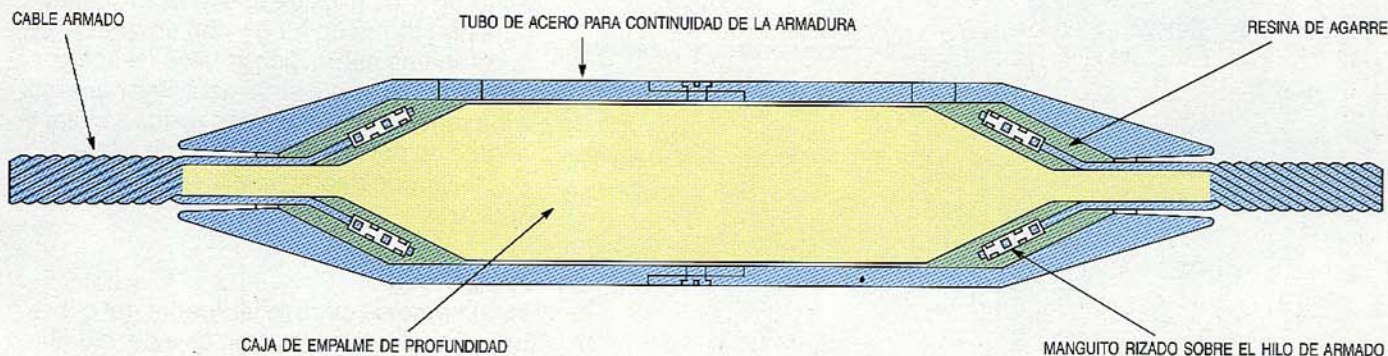
La entrada de agua se ha reducido porque el menor diámetro del cable es más eficaz para impedir la propagación longitudinal del agua a presión dentro del cable en caso de rotura. Con el nuevo diseño, la penetración de agua, tanto dentro del núcleo óptico como de la bóveda de acero, es menor de 1 km al cabo de dos semanas a presión de 800 bar.

La migración de hidrógeno se ha reducido al mínimo, cuidando de escoger materiales que generen poco hidrógeno.

Pruebas de calificación

Los cables submarinos están totalmente calificados tras someterlos a pruebas en fábrica y ensayos en el mar que simulan su comportamiento en diversas condiciones y demuestran su prolongada fiabilidad (25 años). Estas pruebas cubren sobre todo el cable, cajas de empalme, reparaciones durante la fabricación y acoplamientos de repetidor (dispositivos que unen el repetidor al cable). Estos accesorios se muestran en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4 Caja de empalme para reparaciones de cable armado.



* Este parámetro es una medida de la movilidad del cable ante la tracción en el agua.

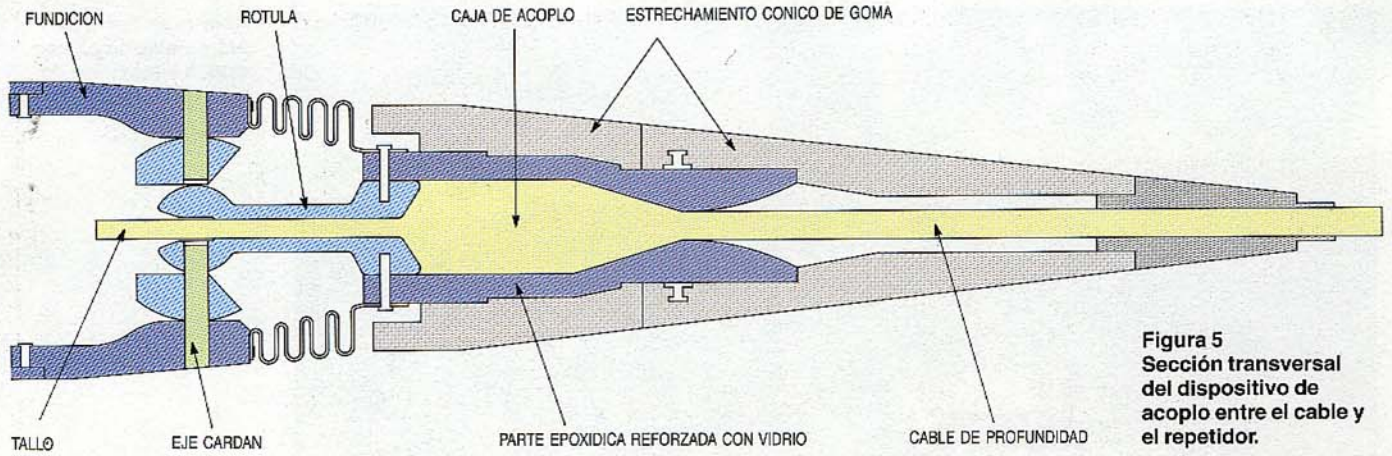


Figura 5
Sección transversal del dispositivo de acople entre el cable y el repetidor.

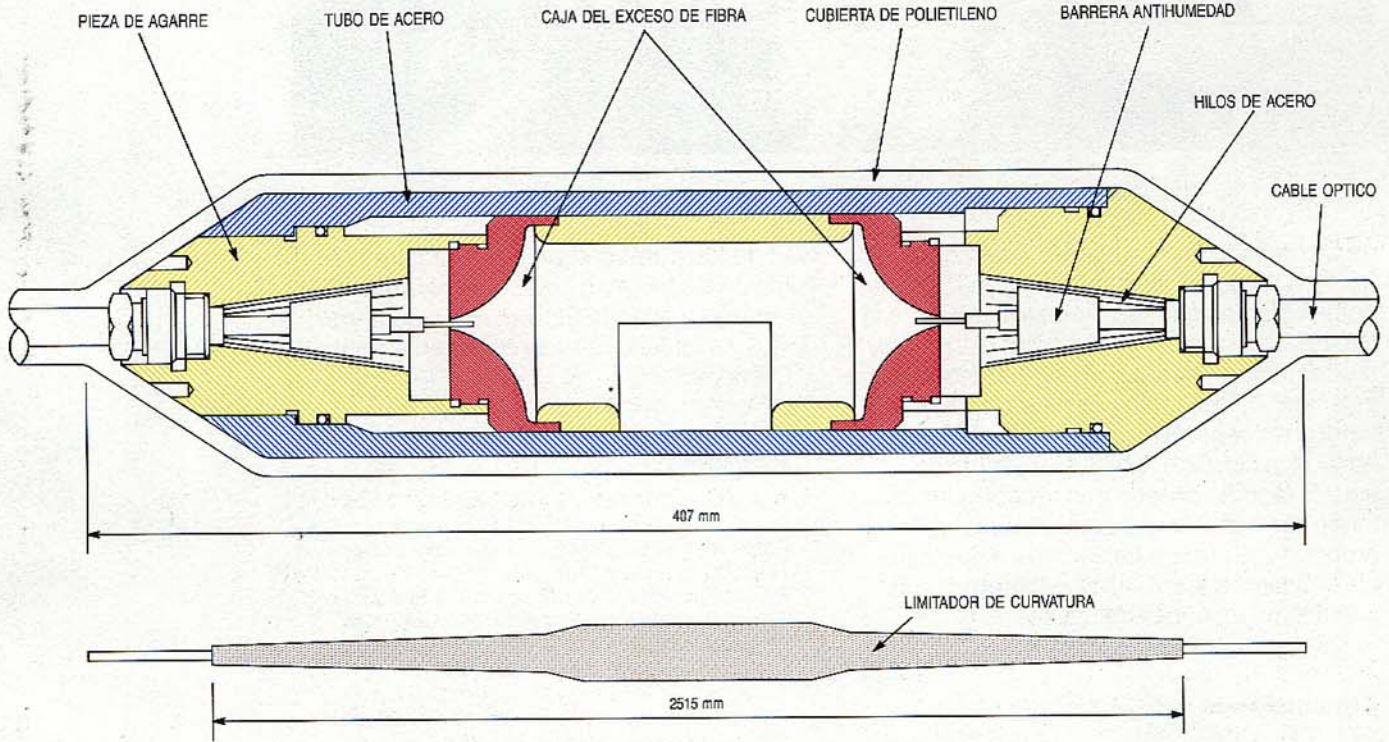


Figura 6
Sección transversal de una caja de empalmes para gran profundidad.

Pruebas de fábrica

Las principales pruebas de fábrica son:

- pruebas de tensión: hasta 5 toneladas sin aumento de atenuación; hasta 8 toneladas con recuperación (la atenuación vuelve a su valor original al suprimir la tensión); hasta 10 toneladas sin rotura de la fibra
- pruebas sobre una polea para determinar el efecto de doblar el cable (recuperación hasta 6 toneladas)
- resistencia al aplastamiento, golpes y presión de hasta 1000 bar
- prueba de alta tensión (hasta 350 kV) con el cable sumergido en un depósito

de agua para comprobar las propiedades de aislamiento de la capa de polietileno

- prueba de entrada de agua
- estabilidad térmica (hasta -10°C)
- pruebas de fatiga (10 000 ciclos con esfuerzo entre 2 y 6 toneladas)
- pruebas de resistencia a la abrasión.

Pruebas en el mar

Un cable de 15 km de longitud, constituido por cables de todos los tipos (de gran profundidad, protegidos contra mordeduras de peces, armados) y que utiliza uniones y transiciones de todas clases entre los diferentes tipos de cables fue calificado cerca

Amarre en tierra del extremo de un cable óptico submarino de telecomunicación.



de Córcega, a profundidades hasta de 3000 m en el Mediterráneo. Durante estos ensayos en el mar, se demostró con éxito la capacidad del cable para resistir el tendido, recuperación, reparación, suspensión en estación**, desgaste por roce y apoyo en fondos rocosos. Se realizaron evaluaciones en fábrica sobre diversos elementos de este enlace de prueba tras recuperarlo del fondo marino al final de las pruebas, comprobándose que no habían aparecido cambios en las características geométricas, mecánicas u ópticas del cable.

Conclusiones

La estructura del cable con exceso de fibra se ha optimizado, y la validación del cable y accesorios (cajas de empalme, acoplamientos, etc.) ha sido satisfactoria. En consecuencia, se ha decidido emplear este nuevo cable de 21,5 mm para los sistemas EMOS 1, TAT 9, MAT 2 y Tasman 2. La fiabili-

dad de los nuevos cables queda garantizada en las mismas condiciones que para el anterior cable de 25 mm utilizado para el TAT 8 y el enlace entre el continente francés y Córcega.

Referencias

- 1 R. Jocteur, C. Reinaudo y J.-P. Trezeguet: Design and Industrial Implements of S 280 Fibre and Submarine Cable: *Proceedings of the Suboptic 1986 Conference*, París, 18-21 febrero 1986, págs. 101-108.
- 2 R. Boirat, R. Jocteur y J. Thiennot: The Evolution of French Repeaterless Submarine Systems: *International Communication Conference*, Boston, Massachusetts, 11-14 junio 1989.
- 3 R. Jocteur, C. Reinaudo y M. Carratt: Submarine Cables: Reliability First: *International Optical Organization Conference*, Kobe, Japón, 18-21 julio 1989.

Christian Reinaudo nació en Avignon, Francia, en 1954. Se graduó en l'Ecole de Physique et de Chimie de París, en 1977, y se doctoró en 1983 por la Universidad de aquella ciudad. Después de trabajar en materiales en Laboratoires de Marcoussis, entró en CLTO, y en Les Câbles de Lyon en 1987. Actualmente el Sr. Reinaudo es el subdirector de la fábrica de Câbles de Lyon en Calais, responsable de los cables submarinos de telecomunicación.

** El barco cablero se detiene y el cable se mantiene colgado de la proa durante 24 horas.

Sistema óptico submarino de telecomunicación S560

Desde la introducción de la transmisión óptica, el ritmo de los avances técnicos se ha acelerado. Sólo tres años después de completarse el primer gran sistema óptico submarino operando a 280 Mbit/s con longitud de onda de 1,3 μm , se habrá instalado un nuevo sistema que trabaja a 560 Mbit/s en la ventana óptica de 1,55 μm con láser monomodo y fotodiodo de avalancha.

J.P. Trezeguet

Alcatel Transmission sur Câble,
La Ville du Bois, Francia

Introducción

Tras el éxito del sistema óptico submarino de telecomunicación S280¹ que trabajaba a 295,6 Mbit/s por fibra óptica monomodo con longitud de onda de 1,3 μm en la segunda ventana óptica, Alcatel Submarcom está desarrollando un sistema de nueva generación, denominado S560, para cubrir la demanda de sistemas digitales de alta capacidad. El nuevo sistema, que opera en la tercera ventana óptica a 1,55 μm , ofrece una velocidad de transmisión de 591,2 Mbit/s. Incorpora un emisor láser monomodo y un receptor de fotodiodo de avalancha para elevar la distancia entre repetidores a 113 km, en vez de los 70 km del sistema anterior. La tabla 1 resume las principales características del sistema.

Las especificaciones del nuevo sistema cumplen los requisitos de los enlaces submarinos TAT 9 y Tasman 2. El TAT 9 unirá EE. UU., Canadá, el Reino Unido, España y Francia, y atraviesa el Océano Atlántico siguiendo una vía central de tráfico de la que se derivan diversos ramales en los puntos de ramificación, puntos en los que el tráfico se distribuye entre dichos ramales por medio de multiplexores sumergidos. Los equipos de este enlace, que han de ser todos compatibles, serán suministrados por cuatro compañías, una de las cuales es Alcatel Submarcom. El Tasman 2 une Australia con Nueva Zelanda, e igualmente que el TAT 9 estará instalado a finales de 1991.

El sistema S560 está diseñado para una vida en servicio superior a los 25 años, sin sufrir durante ese tiempo más de tres reparaciones en buque debidas a fallos del sistema.

Tabla 1 – Principales características del sistema S560

Longitud de onda	1,55 μm
Tipo de fibra	monomodo
Atenuación de la fibra cableada	0,23 dB/km
Potencia óptica acoplada a la fibra	-2,4 dBm
Umbral de detección para TEB de 10^{-10}	-36,5 dBm
Pérdidas por ingeniería del repetidor	2 dB
Margen de envejecimiento	3 dB
Margen de dispersión por fabricación	1,45 dB
Margen de seguridad	2 dB
Balace de potencia previsto	26,5 dB
Longitud del vano de repetición	113 km

Características generales del sistema

El S560 es un sistema digital de transmisión óptica capaz de transmitir hasta tres señales de 4×140 Mbit/s. Dos fibras, una para cada dirección, proporcionan una capacidad de 7680 circuitos, transportando cada uno de ellos una señal bidireccional de 64 kbit/s. Tres pares de fibra proporcionan por tanto una capacidad equivalente a 23000 canales telefónicos. Esta capacidad realmente elevada puede incrementarse hasta cinco veces utilizando el S560 en conjunción con equipos digitales de multiplicación de circuitos (p. ej., el sistema Celtic de Alcatel CIT) en circuitos de voz. Además de los servicios convencionales, la alta capacidad del sistema hace posible el transporte de nuevos servicios tales como televisión y transmisión de datos a alta velocidad.

• Los interfaces son a 139,264 Mbit/s de acuerdo con la Recomendación G.703 del CCITT, con el fin de poder conectar el

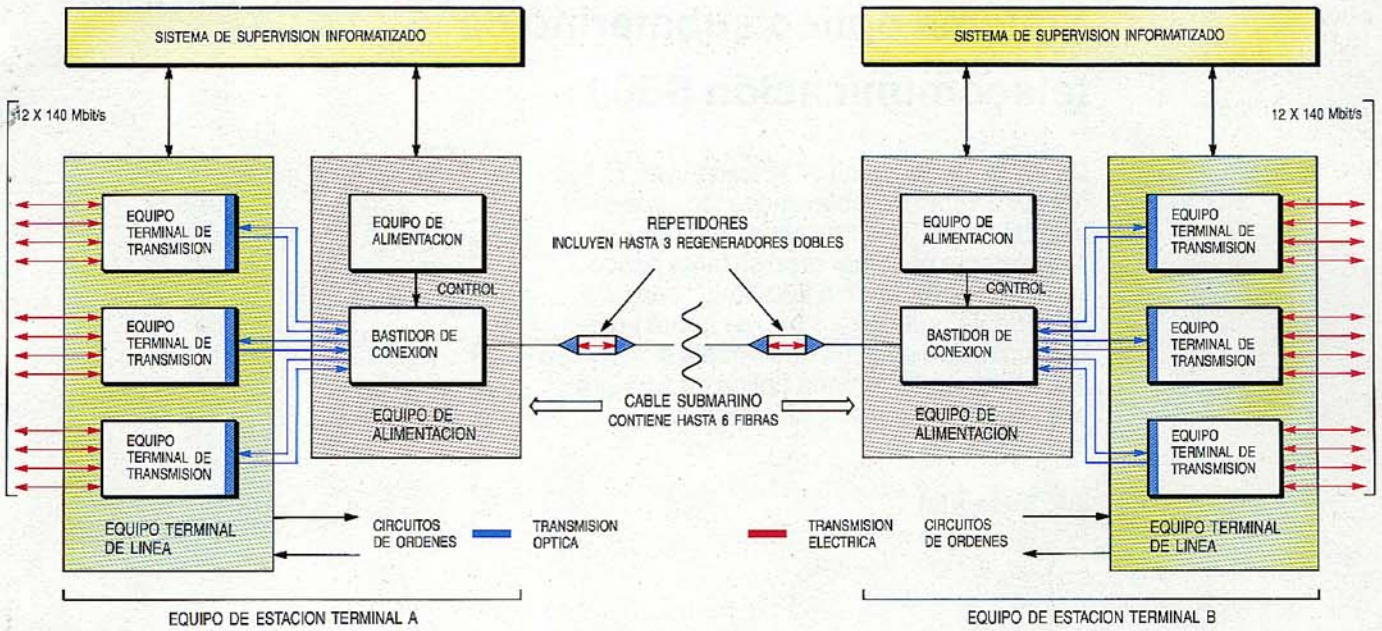


Figura 1
Esquema del sistema óptico submarino de telecomunicación S560.

sistema a las redes terrestres. Merced a un acceso de 147,8 Mbit/s se admite tráfico multiplexado en jerarquía no europea (Estados Unidos y Japón), como por ejemplo 3×45 Mbit/s tras formar la trama adecuada mediante un multiplexor terminal especial.

Se pueden utilizar unidades de ramificación submarinas para compartir los pares de fibra del enlace principal entre los ramales que van a los distintos puntos de amarre del cable. La máxima longitud del sistema es 10 000 km y la profundidad puede llegar hasta 8500 m.

Cada fibra monomodo transporta a la vez tráfico, circuitos de órdenes y señales de supervisión. Puede observarse el estado de cada sección con el sistema en servicio. En caso de rotura del cable, puede ésta localizarse conectando en bucle la señal en cada repetidor sucesivamente. Por cada par de fibras se dispone de 12 circuitos de órdenes (cada uno de 64 kbit/s según el CCITT), uno de ellos dedicado al intercambio de alarmas e información de supervisión entre estaciones terminales. Estos circuitos de órdenes van multiplexados con el tráfico utilizando el código de línea 24B1P, de donde resulta una velocidad binaria en línea de 591,2 Mbit/s.

El sistema se alimenta desde ambas estaciones terminales con una corriente constante de 1,6 A; cada una de ellas es capaz de alimentar el enlace entero a una tensión máxima de 15 kV.

En la figura 1 se muestran los cinco subsistemas principales del sistema S560: el cable², repetidor, equipo terminal de transmisión, equipo de alimentación y equipo de estación (sistema de supervisión informatizado o CSS).

Repetidor

El cable y el repetidor son los subsistemas que requieren más cuidado en el diseño y la fabricación, porque las dificultades y el tiempo que conlleva el reparar en buque cablero las secciones sumergidas de un sistema submarino imponen la condición de no hacer más de tres reparaciones en 25 años de servicio. No es posible comprobar este dato de fiabilidad dentro del tiempo disponible para el desarrollo del nuevo sistema, pero lo han confirmado las experiencias en los sistemas analógicos de Alcatel Submarcom. Esta fiabilidad es el resultado de más de 40 años de saber-hacer acumulado en los campos de componentes de alta fiabilidad, diseño de repetidores y fabricación, así como en selección de componentes³.

La función básica del repetidor es regenerar la señal óptica procedente del repetidor anterior, y ello lo realiza el regenerador asociado con cada fibra del cable. Un par de regeneradores — uno para cada dirección de transmisión — junto con un sistema de supervisión compartido, forman un sistema según indica la figura 2. Hasta tres sistemas pueden alojarse en un repetidor.

Regenerador

El regenerador comprende un fotodiodo de avalancha que convierte la señal óptica en señal eléctrica, módulos de preamplificador, amplificador CAG (control automático de ganancia) y recuperación de reloj, y un circuito de decisión. Existe además un

módulo transmisor óptico que convierte la señal eléctrica en óptica utilizando un diodo láser excitado por el circuito modulador, y un conmutador óptico que en caso de fallo del láser activo le sustituye por el láser que está en reserva pasiva.

Fotodiodo de avalancha

Para aumentar el balance de potencia del repetidor se utiliza un fotodiodo de avalancha (APD) de InGaAs desarrollado por Laboratoires de Marcoussis y Alcatel Transmission sur Câble. Como la experiencia en fiabilidad de este tipo de componentes es limitada, se ha adoptado un valor de 6, más bien conservador, como factor multiplicador (M) en las aplicaciones iniciales. El objetivo de fiabilidad del APD es 2,3 FIT (2,3 fallos en 10^9 dispositivos hora) con un 90% como límite superior de confianza.

La polarización del APD controla la relación señal-ruido y el nivel de la señal de salida. Un convertidor CC-CC proporciona la tensión constante de polarización requerida, en el margen de 60 a 90 V. Se usa compensación de temperatura para mantener un valor de M aproximadamente constante en todo el margen de temperaturas de funcionamiento. Se transmite al módulo de

supervisión información de la corriente del APD, que indica el nivel de potencia óptica entrante.

Circuitos integrados

Partiendo de una tecnología empleada en repetidores de sistemas submarinos analógicos, ATC ha desarrollado una tecnología bipolar de 5 GHz, Difax 1A, con dos capas de metalización de oro. Las pastillas de silicio se encapsulan en portadores de circuito cerámicos sin terminales, herméticamente sellados. La alta velocidad del sistema requiere un diseño especial del encapsulado en cuanto a distribución de alimentación y tamaño de cavidad en función del tamaño del dado para reducir longitud de las uniones y hacer mínimas las capacidades parásitas. El objetivo de fiabilidad para los circuitos integrados es de 1,4 FIT al 90% de límite superior de confianza.

Cada circuito integrado se monta en un híbrido cerámico que incluye las resistencias y condensadores necesarios para la polarización del referido circuito. El circuito híbrido se monta a su vez en una placa impresa que contiene los diodos zener y las conexiones de alimentación y de señal.

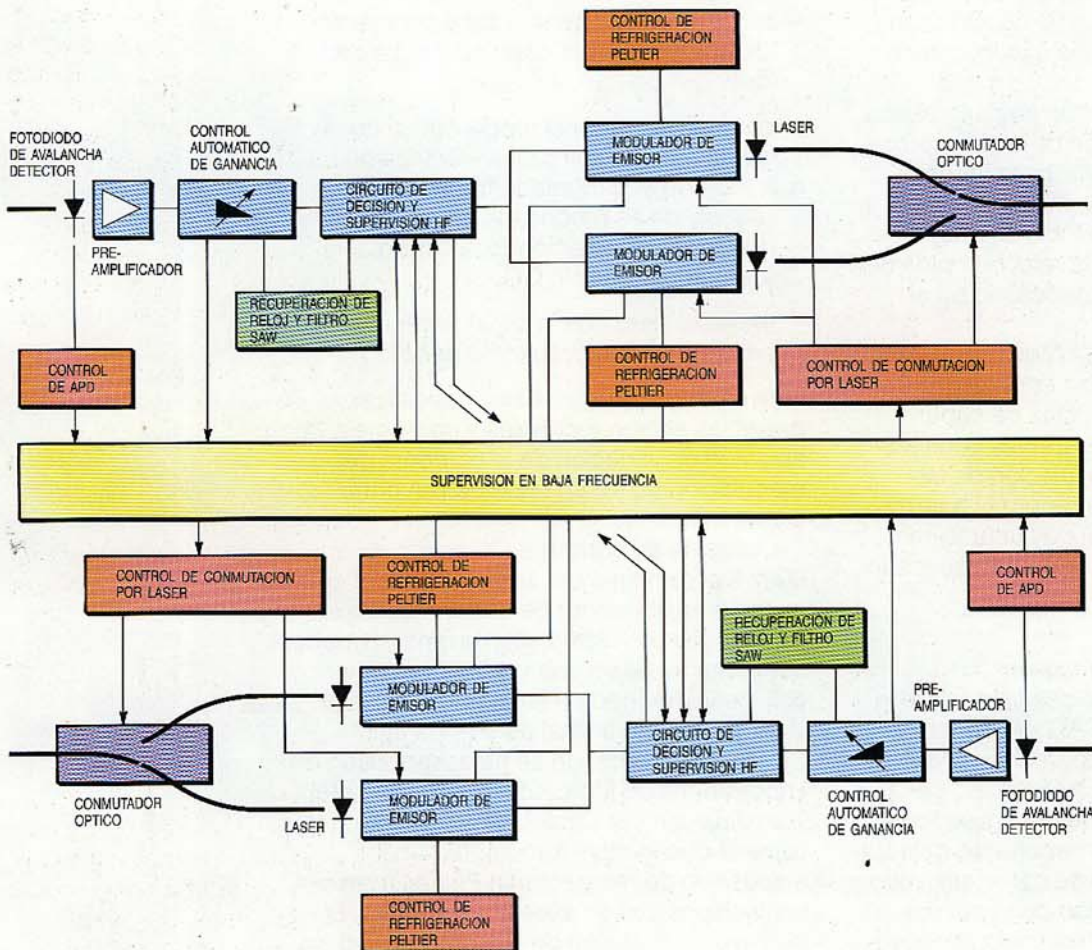


Figura 2
Diagrama de bloques de un sistema de repetidor consistente en dos regeneradores y el sistema de supervisión asociado.

Módulo preamplificador

El circuito preamplificador es del tipo de transimpedancia. Sus prestaciones dependen en gran medida de las características del transistor de entrada y de la capacitancia de entrada.

Módulo amplificador CAG

El amplificador CAG debe dar una señal de salida de amplitud constante cuando los niveles de entrada varían en un margen de 33 dB, lo que corresponde a 16,5 dB de margen óptico en la entrada del APD. El circuito CAG se construye en torno a un amplificador de ganancia variable, cuya salida se rectifica y filtra para obtener una tensión CC que sirve para controlar la ganancia del amplificador y proporcionar información sobre la ganancia al módulo de supervisión.

Se utilizan tres etapas de amplificación. La señal se filtra a la salida de las dos primeras etapas diferenciales para optimizar la respuesta de frecuencia del amplificador. Una de las dos salidas del CAG va al módulo de recuperación del reloj, y la otra al circuito de decisión.

Módulo de recuperación del reloj

Se usa una de las salidas del CAG para recuperar el reloj necesario para la regeneración de la señal. Esto se realiza mediante un circuito integrado y un filtro SAW (onda acústica superficial). El circuito integrado genera una señal de velocidad mitad mediante sucesivos filtrado en paso banda, rectificado y amplificación de la señal procedente del CAG. Esta señal pasa luego al filtro SAW de alta Q ($Q = 800$) que extrae la componente de la frecuencia de reloj. Además, amplifica la señal de reloj obtenida del filtro SAW hasta el nivel necesario en el circuito de decisión.

Se necesita un filtro SAW de alta Q para asegurar la compatibilidad entre el S560 y otros sistemas. Los sistemas de supervisión empleados por los demás contratistas del TAT 9 utilizan modulación de fase para la comunicación de repetidor a terminal, lo que exige un nivel de fluctuación de fase menor que el estrictamente necesario para transmisión sin errores.

Módulo del circuito de decisión

El módulo del circuito de decisión utiliza la salida del amplificador CAG y la señal de reloj del módulo de recuperación del reloj para reformar la señal. El reformado se realiza con un circuito integrado que tiene otras tres funciones. Primeramente detecta el bit de paridad del tren de datos, utilizado para transmitir información de supervisión y mantenimiento entre el terminal y el repeti-

dor. Todos los datos relacionados con el bit de paridad se procesan en este circuito de decisión. A la salida, se procesan las violaciones de paridad que siguen a la recepción de un flanco de subida proveniente del circuito de supervisión de baja frecuencia. El circuito de decisión tiene asimismo capacidad de conmutación electrónica, lo que le permite reemplazar el tren de datos normal procedente del biestable de decisión por otro que viene de otro regenerador, acción que realiza un multiplexor controlado por una señal del circuito de supervisión de baja frecuencia.

Además de la señal de línea normal de salida, el circuito de decisión proporciona una segunda salida que puede servir como entrada del multiplexor conmutador en otro regenerador, permitiendo así la puesta en bucle.

Se dirigen tres salidas hacia el circuito de supervisión de baja frecuencia: un reloj auxiliar de 5,912 MHz para temporizar el circuito supervisor de baja frecuencia, una señal de pérdida de sincronización y una señal de error.

Módulo transmisor óptico

El transmisor óptico está duplicado para excitar los dos láseres de la configuración de redundancia pasiva. El circuito de transmisión realiza tres funciones:

- proporciona un generador de corriente CC para regular la potencia media del láser
- controla la potencia media óptica de salida mediante la salida eléctrica de un fotodiodo PIN montado frente al láser; esta salida es procesada en un amplificador de realimentación para controlar la fuente de corriente CC
- excita el láser con la señal regenerada procedente del circuito de decisión.

Esta última función es difícil de realizar dadas las altas velocidades y corrientes: la amplitud de variación de la corriente de modulación se fija en unos 60 mA entre crestas.

La fuente de corriente CC se regula a 30 mA por encima del umbral del láser, que es también alrededor de 30 mA. Como el láser envejece, esta corriente umbral puede aumentar hasta en dos veces su valor inicial, considerando en tal momento que el láser ha llegado al final de su vida útil.

El láser monomodo se ha desarrollado en Laboratoires de Marcoussis y ATC (Alcatel Transmission sur Câble). Va alojado en una cápsula que incluye fotodiodo monitor, dispositivo de refrigeración Peltier, termistor, y dispositivo de alineación de fibra. El objetivo de fiabilidad de este dispositivo es

de 23 FIT al 90% de límite superior de confianza.

Las características clave del láser son:

- potencia óptica de salida de 1,15 mW en el tallo de fibra
- anchura de raya de 0,18 nm con modulación
- corriente umbral típica de 30 mA
- relación de modo principal a modo secundario de 32 dB (mínimo).

Como estas características deben mantenerse 25 años con un margen de variación de temperaturas de 30°C (de 6 a 36°C), se requieren unos criterios de selección estrictos³.

Los dos láseres del regenerador se fijan directamente a una placa base para mejorar la eficacia de la refrigeración.

Conmutador óptico

La fibra de línea se conecta al láser activo mediante un conmutador óptico. El acoplamiento óptico entre una de las dos fibras de entrada empalmadas con cada tallo del láser y la fibra de salida empalmada a la fibra de línea se consigue alineando la fibra conmutada de salida y la fibra fija de entrada en un surco en V recubierto de silicio. El movimiento de la fibra de salida está gobernado por dos electroimanes (Fig. 3) controlados por el circuito de supervisión de baja frecuencia. Un imán permanente mantiene luego la fibra en posición.

Mecánica del regenerador

Todos los módulos funcionales del regenerador van montados en una caja de cobre estriado que proporciona un adecuado blindaje de los módulos. Las conexiones de la señal se realizan mediante pistas de transmisión en placas impresas. Las conexiones entre el módulo de recuperación de reloj y el módulo de decisión se efectúan por cable coaxial.

Módulo de supervisión del sistema

El sistema consta de dos regeneradores junto con un módulo de supervisión en baja frecuencia que permite ejercer control remoto. Las funciones del módulo de supervisión son las siguientes:

- proceso de las violaciones de paridad de bit procedentes del módulo de decisión para extraer mensajes de las estaciones terminales
- determinación de que el mensaje se dirige o no al repetidor
- recepción y digitalización de la información que llega del regenerador (corriente

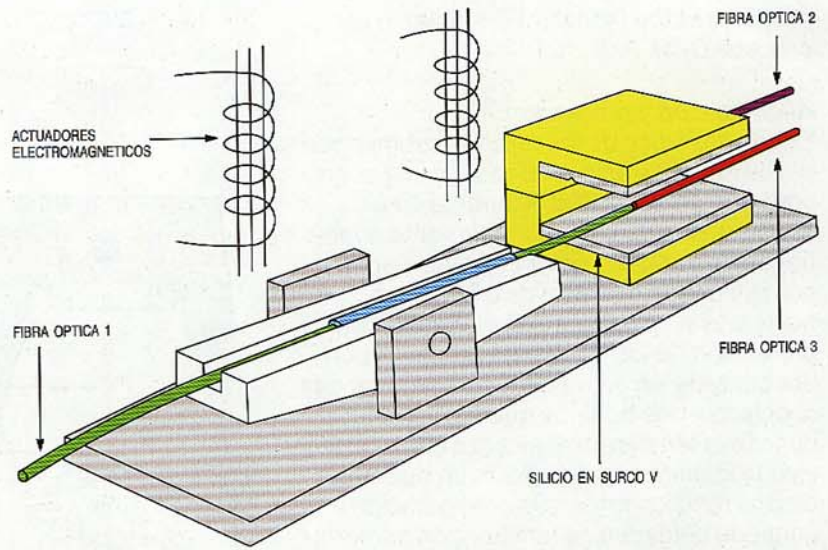


Figura 3
Principios de funcionamiento del conmutador óptico utilizado en el sistema S560.

de APD, nivel del CAG, corriente del láser, modo activo o pasivo)

- recuento de las violaciones de paridad de bit correspondientes a la tasa de errores de bit
- identificación de las acciones ordenadas por el terminal y control de su ejecución.

Las estaciones terminales pueden pedir al módulo de supervisión que realice una serie de acciones. La primera, enviar la información solicitada (corriente del APD o del láser, estado del láser, nivel del CAG) al terminal por la fibra designada utilizando la codificación de violación de paridad transmitida al circuito de decisión. La segunda, poner en bucle la señal en dicha fibra mediante el envío de una orden a la entrada correspondiente del circuito de decisión que reemplace la salida interna por una señal de datos externa procedente del otro regenerador. La tercera, en fin, es conmutar al transmisor del regenerador designado, lo que implica cortar la potencia de salida del láser mientras dura esta operación enviando una orden de bloqueo al transmisor, actuar el conmutador óptico y los relés eléctricos que activan la alimentación del transmisor, y permitir al láser puesto en activo que emita su potencia normal cancelando la anterior orden de bloqueo.

A excepción de la identificación del número del repetidor, todas las demás funciones están duplicadas para permitir el control remoto independiente de cada regenerador del sistema.

El circuito de supervisión en baja frecuencia se encapsula en una estructura de terminales en rejilla y se monta en la placa impresa que contiene los circuitos de alimentación y auxiliares, tales como los relés y excitadores que regulan los dispositivos de refrigeración Peltier del láser. Estos

excitadores los fabrica ATC mediante el proceso Difox A.

Alimentación y protección

Es característico de los enlaces submarinos que la rotura de un cable induzca una sobrecorriente de hasta 500 A durante 10 a 1000 μ s, que es considerablemente superior a la inducida en componentes electrónicos por descarga de rayos o impulsos nucleares electromagnéticos. La principal protección de los componentes del repetidor consiste en un tubo de descarga de gas asociado a dos bobinas que se activa cuando la tensión local alcanza los 1000 V. Puede incluirse como opción un puente de diodos rectificadores si la configuración contiene unidades de ramificación sumergidas y se telealimentan los repetidores en uno y otro sentido utilizando distinta polaridad. La protección secundaria la proporcionan los diodos zener de potencia principales ($V_z = 6,2$ V), que están diseñados para resistir una sobrecorriente de 250 A.

Los tres sistemas de un repetidor se alimentan en serie. Las placas impresas de cada sistema están alimentadas por diodos zener independientes conectados en paralelo.

Diseño mecánico del repetidor

Los repetidores pueden soportar unos valores máximos de $8,5 \times 10^8$ Pa de presión hidrostática, 15 kV de tensión durante 25 años, y 200 kN de esfuerzo de tracción.

Como la fiabilidad de los componentes electrónicos del repetidor depende en gran medida de la temperatura interna, es importante que haya un buen camino térmico entre los componentes y el mar, para mejorar la refrigeración. El aumento de temperatura interna causado por la disipación de potencia es de $0,15^\circ\text{C/W}$ para el sistema S560.

Cada caja de cobre de regenerador se monta sobre una base portadora; los seis regeneradores juntos forman un cilindro exteriormente y dejan un exágono en el centro. El módulo de supervisión del sistema compartido por los dos regeneradores se monta en un armazón metálico separado, equipado bajo los regeneradores. Cada sistema se aísla eléctricamente de los demás por una separación de vidrio epoxídico, y el exterior de los seis regeneradores se recubre por una malla metálica que proporciona una buena y constante conductividad térmica entre los regeneradores y la caja del repetidor. Esta caja cilíndrica de acero inoxidable se aísla mediante una capa externa de polietileno moldeado (Fig. 4).

Las cubiertas exteriores del repetidor van provistas de dispositivos de protección y de alimentación principal. El paso de las con-

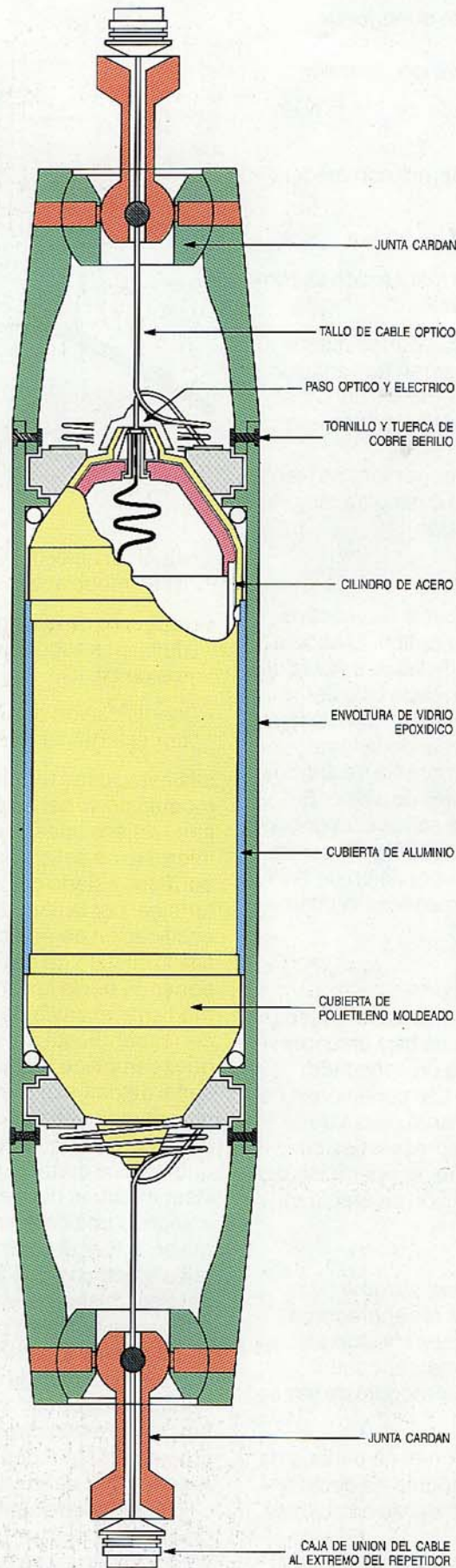


Figura 4
Diseño mecánico del repetidor S560.

xiones es axial y el tallo proporciona la conexión de las fibras ópticas y la alimentación eléctrica con el cable de línea. El polietileno moldeado da continuidad al aislamiento entre tallo y cubierta exterior, así como entre ésta y la caja del repetidor. En torno a dicha caja se instalan dos cubiertas semicilíndricas de aluminio, que se sujetan con tornillos del mismo metal para mejorar la conductividad térmica con respecto al mar a través de la envoltura de vidrio epoxídico.

Dicha envoltura de vidrio es la que aporta la resistencia mecánica a la tracción. En cada extremo, dos piezas cónicas de vidrio unen el repetidor a las juntas cardan, que proporcionan la conexión mecánica a la terminación del cable y aseguran la flexibilidad necesaria para que el repetidor unido al cable pueda sobrepasar la polea de proa del buque cablero.

Funciones de supervisión del repetidor

Se equipa un módulo de supervisión independiente por cada *sistema* (par de fibras). Todas las estaciones terminales tienen acceso independiente a las funciones de supervisión del repetidor, y pueden elegir en qué dirección enviará el repetidor su respuesta. Solamente el repetidor interrogado podrá transmitir su estado. El intercambio de información entre las estaciones terminales y los repetidores se basa en violaciones de paridad de bit, que crean una tasa de errores de bit ficticia sin afectar a la calidad del tráfico.

La protección contra imitación aleatoria del formato del mensaje se consigue mediante codificación binaria de dicho formato (un bit de arranque, un bit de información, un bit de parada) asociada con dos frecuencias (escogidas entre 4) de violación de bit diferentes. Así, el mensaje lógico "1" consiste en las tres frecuencias de violación de bit $F_1F_1F_2$, y el "0" consiste en las frecuencias $F_1F_2F_2$.

Los mensajes de señalización de la estación terminal a los repetidores contienen 11 bits, y los de repetidores a terminal, 14 bits.

Equipo terminal de transmisión

El equipo TTE (equipo terminal de transmisión) es el interfaz bidireccional entre la planta submarina y la red terrestre. La figura 5 es un diagrama de bloques de un terminal S560 con redundancia. Sus principales funciones son:

- proceso de los tributarios entrantes de 140 Mbit/s ó 3×45 Mbit/s, y conversión electro-óptica necesaria para la trans-

misión en fibra óptica a velocidad de línea de 591,2 Mbit/s

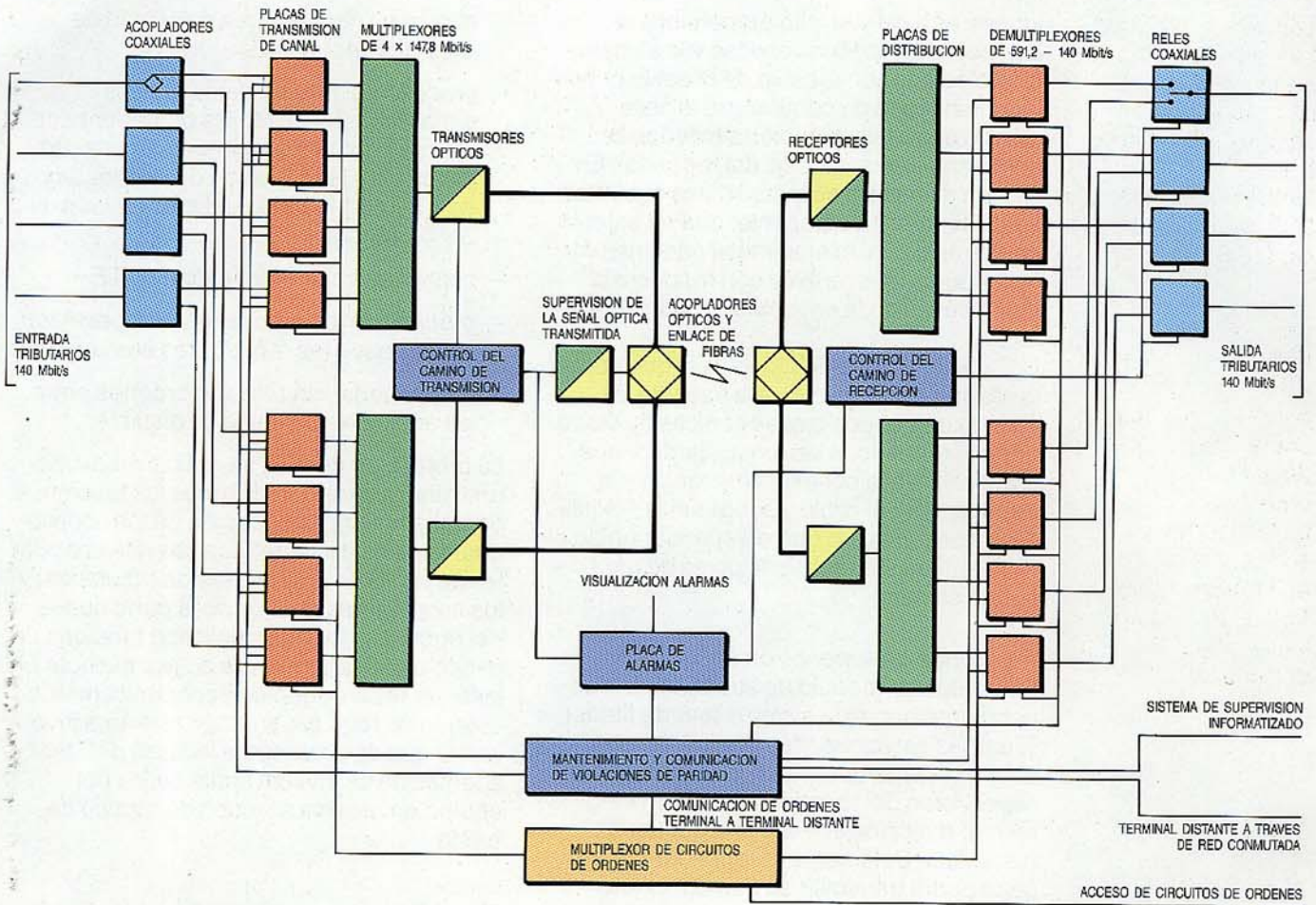
- proceso del tren de datos ópticos entrante de 591,2 Mbit/s procedente de la línea submarina y conversión electro-óptica para la obtención de un tributario de 4×140 Mbit/s ó cuatro tributarios de 3×45 Mbit/s
- control del mantenimiento del TTE
- proceso de los mensajes de supervisión hacia/desde los repetidores sumergidos
- proporcionar circuitos de órdenes entre las estaciones terminales distantes.

La protección del TTE se realiza mediante una total duplicación de todas las funciones de transmisión, a excepción de los acopladores coaxiales de entrada, los relés coaxiales de salida en los accesos de tributarios, y los acopladores ópticos de la parte óptica del equipo. El equipo duplicado funciona en paralelo con redundancia activa, excepto el láser de reserva que se excita únicamente cuando se requiere sustituir al láser activo, con lo que se prolonga la vida útil del láser y además no se inyecta señal óptica del equipo en reserva al acoplador óptico de salida.

Función de transmisión

Las unidades de acoplamiento pasivo hacen que cada tributario de 140 Mbit/s sea compartido por los dos sistemas de proceso en paralelo. Cada señal se procesa por una placa de transmisión de canal que realiza la transcodificación y construye la trama, incluyendo la inserción de *palabras de alineamiento de trama* generadas por la placa de alarma, mensajes de órdenes procedentes del multiplexor de circuitos de órdenes y violaciones de paridad de bit cuando las ordena la placa de mantenimiento (para control remoto del procesador). La parte principal de esta función la realiza una ordenación de puertas diseñada por ATC. La velocidad binaria resultante es 147,8 Mbit/s.

Una placa multiplexora intercala cíclicamente los cuatro canales tributarios de la trama, en palabras de 25 bits, a 591,2 Mbit/s. Esta tren binario se convierte luego a señal óptica utilizando un láser monomodo en la placa de interfaz óptico de transmisión. Las señales ópticas procedentes del equipo en servicio y del equipo de reserva se combinan en un acoplador óptico pasivo de cuatro puertos, el cuarto de los cuales sirve para observar, a través de un receptor óptico, la señal enviada a la línea. Como el láser del equipo redundante está en reserva pasiva, sólo hay una señal óptica a la salida del acoplador.



ACCESO DE CIRCUITOS DE ORDENES

Figura 5
Diagrama de bloques del equipo de transmisión terminal.

Función de recepción

Mediante un acoplador óptico se divide la señal entrante entre el equipo en servicio y el equipo en reserva, y cada uno de ellos realiza la conversión de la señal óptica a eléctrica por medio de un fotodiodo de avalancha. El tren de bits regenerado a 591,2 Mbit/s se divide luego en cuatro idénticos y se envía a las cuatro placas de recepción de canal con cuatro señales de reloj. En cada una de estas placas dos ordenaciones de puertas extraen de la señal de 591,2 Mbit/s el tributario correspondiente a la palabra de alineamiento de trama almacenada en su propia memoria. La placa de recepción de canal extrae asimismo los canales de órdenes asociados con el tributario y la señal de violación de paridad de bit, y envía los unos al demultiplexor de circuitos de órdenes y la otra a la placa de mantenimiento.

Los tributarios demultiplexados de los equipos en servicio y en reserva se llevan a la placa de selección de canal que sólo deja salir los tributarios del equipo en servicio del TTE, a través de relés coaxiales.

Operación y mantenimiento

Cuatro tipos principales de placas controladas por microprocesador aportan las funcio-

nes de operación y mantenimiento del terminal. Una placa de alarmas vigila el correcto funcionamiento y la configuración de los terminales locales y distantes, y genera las alarmas de la estación. Entre esta placa de alarma y el CSS actúa como interfaz la placa de comunicaciones, que además controla un conjunto de diez placas de visualización equipadas con LED. Por añadidura, hay unas placas de protección de los terminales que atienden a la selección de los sistemas en servicio y en reserva, y una placa de mantenimiento que trata la comunicación de órdenes entre el equipo sumergido y los terminales bajo el control del CSS, sirviendo de interfaz con los terminales lejanos.

Sistema de supervisión informatizado

El CSS recoge, procesa y almacena toda información relativa al mantenimiento del TTE, equipo de alimentación y parte sumergida del enlace. La información, procesada como exige la Recomendación G.821 del CCITT en cuanto a parámetros de calidad, se almacena posteriormente, y puede accederse a ella y a las órdenes del CSS de una manera cómoda a través de interfaz por menús.

Circuito de órdenes

La unidad de órdenes multiplexa y demultiplexa cuatro canales CCITT de 64 kbit/s para cada tributario de 147,8 Mbit/s, lo que da una capacidad de 12 circuitos por par de fibras. Cada uno de estos circuitos puede transportar circuitos de frecuencia vocal de 300–3400 Hz a dos o cuatro hilos, o un canal RS232.

Disposición mecánica

El equipo terminal se aloja en bastidores de 2200 mm de la práctica de equipo T9 de Alcatel. Las placas, que son del formato doble Eurocard, se equipan en bastidores de anchura simple o doble. Las conexiones entre los cuadros del bastidor son desmontables, con lo que puede probarse el equipo en reserva sin afectar al tráfico de la parte en servicio. Los puntos de prueba en el frontal de las placas enchufables permiten vigilar una serie de parámetros del equipo sin interrumpir el tráfico.

Equipo de alimentación

El equipo de alimentación proporciona un suministro continuo de energía a la planta sumergida. El equipo y sus características son las mismas que las del anterior sistema S280. Las señales de estado y alarmas que genera este equipo se envían a la placa de alarmas y posteriormente al CSS.

Conclusiones

Con base en la experiencia adquirida en el desarrollo e instalación del sistema de menor capacidad S280, el sistema óptico submarino S560 se ha beneficiado de una serie de perfeccionamientos tecnológicos, sobre todo en las áreas de circuitos integrados, funciones de supervisión y aptitud para fabricación. Su diseño se orienta a satisfacer las necesidades de los usuarios, y se ha especificado ya su utilización en los proyectos TAT 9 y Tasman 2, amén de otros sistemas submarinos de telecomunicación.

Referencias

- 1 C. Dupin, R. Jocteur y J. Thiennot: Liaison sous-marine optique Continent Corse No. 3: *Commutation et Transmission*, 1988, volumen 4, n° 3, págs. 5–16.
- 2 C. Reinaldo: Cable para sistemas submarinos de telecomunicación: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, n° 3, págs. 226–230 (en este número).
- 3 J.-L. Boussois, J.-L. Goudard, M. Gueguen, B. Kramer y D. Sauvage: Selección de dispositivos optoelectrónicos para repetidores submarinos: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, n° 3, págs. 240–248 (en este número).

Jean Pierre Trezeguet nació en Monein, cerca de Pau, Francia. Se doctoró en microondas por la Universidad de Burdeos en 1969, y al año siguiente ingresó en Les Câbles de Lyon como ingeniero investigador en el campo de guías circulares. En 1972 se hizo cargo del servicio técnico de este tipo de guías. Tres años después, fue nombrado jefe del servicio técnico de cables submarinos de la mencionada compañía, en Calais. El Dr. Trezeguet pasó a Alcatel Transmission sur Câble en 1987, en calidad de responsable de desarrollo para el proyecto de sistema de cable óptico submarino S560.

Selección de dispositivos optoelectrónicos para repetidores submarinos

Los dispositivos optoelectrónicos a utilizar en repetidores de sistemas de transmisión óptica submarinos plantean especiales exigencias de garantía de fiabilidad, sobre todo en cuanto al funcionamiento del láser, acoplamiento de fibras y conmutación óptica. Se aplica un concepto de calidad total a lo largo de la fabricación, las pruebas y la utilización, para conseguir unos dispositivos extremadamente fiables.

J. L. Boussois

J. L. Goudard

M. Gueguen

B. Kramer

D. Sauvage

Alcatel CIT, La Ville Du Bois, Francia

Introducción

Los sistemas submarinos de fibras ópticas, tales como el S280 de Alcatel Submarcom, utilizado en los enlaces Francia-Córcega 3, Roma-Cerdeña y TAT 8, deben satisfacer rigurosas exigencias de fiabilidad. Los procedimientos de selección utilizados dentro de Alcatel son fruto de una optimización y validación continuas y de pruebas de campo durante toda la fabricación e inspección de componentes, y ya en servicio.

La puesta en práctica de estos procedimientos implica asegurarse de la calidad de los procesos con inspección en la cadena de fabricación para controlar las fases tecnológicas cruciales, y garantizar la calidad del producto acabado durante la selección final, comprobando mediante pruebas destructivas la fiabilidad medida durante la calificación. Además, se precisa la selección individual de componentes para eliminar las piezas marginales, aplicando criterios de fiabilidad, conformidad y homogeneidad en cada componente comprobable.

Se ha implantado con éxito un programa de garantía de fiabilidad, basado en el concepto de *fiabilidad total*, para componentes submarinos analógicos durante los últimos 20 años. Este concepto de la fiabilidad total, enfocado a reducir drásticamente la probabilidad de averías, se basa en las siguientes directrices:

- fabricar todos los componentes clave (en particular, dispositivos optoelectrónicos y circuitos integrados) dentro de la Compañía, de manera que puedan controlarse

estrechamente todos los aspectos de la fiabilidad

- identificar todas las condiciones límite de funcionamiento (eléctricas, ópticas, mecánicas y ambientales) para determinar el nivel de robustez mecánica que necesita cada dispositivo
- utilizar los mejores procesos tecnológicos de tal modo que se consiga una vida útil intrínseca (tiempo que depende sólo de los mecanismos de desgaste normales) acorde con la tasa de fallos exigida y los objetivos de fiabilidad
- establecer procedimientos de supervisión, incluidos los métodos de control de calidad que se aplicarán a lo largo de todo el ciclo de fabricación, para cerciorarse de que cada etapa se ha efectuado de acuerdo con las condiciones especificadas
- aplicar procedimientos de selección, incluidas todas las pruebas y medidas de calidad, que aseguren que cada lote o partida alcanza la robustez mecánica prevista y que se detectan y rechazan las piezas deficientes o marginales
- mantener equipos experimentados para el control de la calidad y la fabricación, con personal que posea la cualificación requerida y se dedique a conseguir excelentes resultados.

Fiabilidad del sistema

La exigencia de fiabilidad para un sistema submarino óptico se define como una dura-

Tabla 1 — Objetivos de fiabilidad de los componentes

Componentes	Número aproximado por regenerador doble	Clase de distribución de fallos	Objetivos de fiabilidad
Diodo láser	2	Logarítmico-normal	$M = 7,6 \times 10^6$ hr (20°C) $\sigma = 1,35$ (30 FIT en 25 años a 20°C)
Módulo transmisor	2	Exponencial	10 FIT
Receptor óptico	2	Exponencial	1 FIT
Circuito integrado	17	Exponencial	0,63 FIT
Filtro SAW	2	Exponencial	5 FIT
Dispositivo de conmutación	2	Exponencial	Probabilidad de no funcionamiento 10^{-4} 10 FIT (parte común no duplicada)
Componentes pasivos	300	Exponencial	0,015 FIT

ción de vida mínima, durante la cual se autoriza un número medio de reparaciones en buque cablero causadas por fallo de componentes. Este valor se basa en una predicción matemática. Los parámetros del enlace que influyen crucialmente en la fiabilidad son el número de repetidores y la temperatura media. Desde el punto de vista de la fiabilidad, los componentes de un repetidor pueden clasificarse en tres grupos. En primer lugar, están los componentes en los cuales el mecanismo de fallo conduce a una distribución logarítmico-normal de la vida útil; los estimadores son el MTTF (tiempo medio hasta el fallo) y la desviación típica σ . Los láseres caen dentro de este grupo. En segundo lugar están los componentes que presentan un comportamiento constante en cuanto a la tasa de fallos (ley exponencial): éstos son los fotodetectores, circuitos integrados, filtros de onda acústica superficial (SAW) y otros dispositivos pasivos. Y por último, los dispositivos de conmutación que basculan la redundancia, en los que se ha de contemplar la probabilidad estadística de que no funcionen.

Un sistema de telecomunicación submarino típico, que contenga cuarenta o más repetidores sumergidos con dos regeneradores dobles cada uno, podría tener, como tal sistema, una vida útil especificada en 25 años. Durante tal periodo, la fiabilidad debe ser lo bastante alta como para garantizar que no haya más de tres reparaciones en buque. Para cumplir requisitos de fiabilidad tan rigurosos, el MTBF (tiempo medio entre fallos) de cada regenerador doble debe ser mayor de 700 años, correspondiendo a una tasa de fallos menor de 165 FIT. Este objetivo es más de cincuenta veces el de un sistema terrestre compuesto de dos regeneradores sencillos, lo que pone de relieve el esfuerzo de fiabilidad requerido para esta aplicación.

Atribución de fiabilidad a los componentes

Para asignar un presupuesto de fiabilidad separado a cada tipo de componentes, éstos se clasifican en las siguientes categorías:

- diodos láser
- módulos emisores
- receptores optoelectrónicos
- circuitos integrados "críticos"
- filtros de onda acústica superficial (SAW)
- conmutadores ópticos y motores de CC
- componentes "críticos" tales como resistencias, condensadores, y dispositivos de protección.

Componentes "críticos" son aquéllos cuyo fallo produce una pérdida de transmisión si no existe redundancia alguna. Las características de fiabilidad típicas de cada categoría se resumen en la tabla 1.

Diodo láser

Para este tipo de componente, los mecanismos de desgaste son más importantes que los fallos aleatorios. Estos mecanismos de envejecimiento se aceleran con las temperaturas altas, lo que hace posible caracterizar los componentes dentro de un plazo corto y establecer datos básicos sobre la expectativa de vida. Las pruebas efectuadas durante la caracterización y asociadas con la selección de equipos definidos han proporcionado los siguientes valores, que equivalen a una tasa de fallos de 30 FIT durante un periodo de 25 años:

- ley de mortalidad: distribución logarítmico-normal
- MTTF a 20°C y 5 mW: $7,6 \times 10^6$ horas

- desviación típica σ : 1,35
- energía de activación: 0,9 eV.

Módulo emisor

Además del propio fallo del láser, en un transmisor óptico pueden ocurrir otros dos tipos de fallos. Primeramente, los fallos inesperados, como los bruscos fallos peculiares de los semiconductores o las faltas de salida óptica debidas a rotura de fibras o desalineación repentina entre fibra y láser. En segundo lugar, los mecanismos de fallo gradual, asociados a un lento cambio en el rendimiento del acoplamiento y que pueden tratarse como una modalidad de fallo por deriva, equiparable a la característica de envejecimiento del láser. Los fallos graduales presentan una marcada alinealidad con el tiempo y la temperatura, siendo preciso un envejecimiento a largo plazo de los componentes individuales para eliminar los que presenten una deriva inaceptable. Es pues razonable caracterizar el módulo emisor tan sólo sobre la base de fallos inesperados. Un objetivo de fallos típico es el de 10 FIT.

Receptor optoelectrónico

A consecuencia de la tecnología planar sumamente fiable utilizada en el receptor, muy semejante a la tecnología planar de silicio utilizada en transistores submarinos analógicos, cabe esperar una tasa de fallos inesperados menor de 1 FIT.

Conmutador óptico

La fiabilidad debe estimarse sobre la base de los resultados de las pruebas. Típicamente, tales pruebas indican unas $1,2 \times 10^4$ operaciones sin fallo, y por tanto una probabilidad de no funcionamiento menor de 10^{-4} . Puede darse un fenómeno de rotura de fibras similar al del módulo emisor. Por tanto, al conmutador se le asigna una tasa de fallos aleatorios de 10 FIT.

Caracterización de los componentes optoelectrónicos

Desde 1984 se han realizado pruebas de caracterización y calificación en los emisores y receptores optoelectrónicos. Hoy en día estos dispositivos reciben la certificación de producto final. El programa de pruebas comprende pruebas de robustez mecánica de corta duración (pruebas de esfuerzo progresivo), pruebas de vida a elevadas temperaturas para caracterización, y pruebas de calificación normales. El componente básico activo se prueba sujeto bien a

una plataforma de pruebas, a su submontaje o, en caso de las pruebas aceleradas, a un encapsulado hermético similar al de la configuración final. Las distintas técnicas de ensamble, los materiales y los procesos se validan en cada fase como parte del plan de control de calidad total.

Fiabilidad del emisor

El módulo emisor, equipado con un tallo de fibra, incorpora un diodo láser con capacidad para generar una señal óptica por modulación de la corriente de excitación a 280 Mbit/s. El diodo láser es un dispositivo BH (heteroestructura enterrada) de InGaAsP/InP, mientras que el fotodetector de supervisión es un fotodiodo de germanio grande (diámetro de 800 μm) operando en el modo fotovoltaico. El tallo de fibra monomodo es metalizado y de forma cónica.

El láser BH resulta especialmente adecuado para sistemas submarinos por ofrecer como notables ventajas un haz óptico de alta directividad que asegura un alto rendimiento de acoplamiento, y una baja corriente de umbral que le permite operar con reducida potencia eléctrica y a elevadas temperaturas. Estas características son muy positivas para la fiabilidad por tres razones. Primera: en condiciones normales de funcionamiento la temperatura es baja y por lo tanto la vida útil es larga. Segunda: pueden efectuarse pruebas de selección a elevada temperatura, con lo cual mejora el nivel de confianza en cuanto a eliminación de piezas marginales y estropeadas. Tercera: la pastilla del láser BH puede soldarse con la cara dopada en tipo *p* hacia arriba, evitando todos los modos de fallo catastrófico ocasionados por el crecimiento de filamentos.

Fallos por desgaste

Se han identificado y caracterizado dos mecanismos de fallos por deriva, susceptibles de modelarse y predecirse, y que pueden considerarse fallos por desgaste:

- degradación paulatina de la pastilla láser, que solamente se manifiesta en el aumento de la corriente de polarización necesaria para una potencia dada en la cara anterior
- variación gradual del rendimiento de acoplamiento entre el láser y la fibra óptica a la salida del módulo.

Se necesitan muchos miles de horas de pruebas para extrapolar en el tiempo y distinguir entre derivas de carácter estable y errores transitorios y de medición. Debe

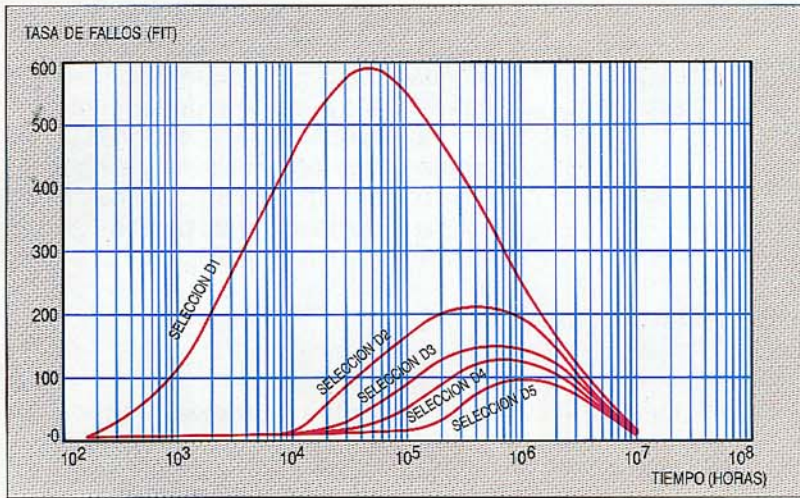


Figura 1
Tasa de fallos del láser a 20°C correspondiente a diferentes niveles de selección.

Tabla 2 - Pruebas de vida del láser y definiciones de las subpoblaciones

Tipo de láser	Temperatura de prueba de vida	Definición de subpoblación
Sin criba	60°C	A1 - $P_{max}(60°C) \geq 3 \text{ mW}$
	30°C	A2 - $P_{max}(60°C) \geq 3 \text{ mW}$ + vida útil $\geq 1600 \text{ h}$ B1 - $P_{max}(30°C) \geq 5 \text{ mW}$ B2 - $P_{max}(30°C) \geq 5 \text{ mW}$ + vida útil $\geq 4.3 \cdot 10^4 \text{ h}$
Con criba (72 h/150 mA/80°C $P_{max}(60°C) \geq 4 \text{ mW}$)	60°C	D1 - todos D2 - $\Delta I_{th}(150 \text{ mA}/72 \text{ h}/80°C) \leq 20 \text{ mA}$ $P_{max}(60°C) \geq 5 \text{ mW}$ $\Delta I_r/I_r(168 \text{ h}/60°C/3 \text{ mW}) \leq 2\%$ D3 - $\Delta I_{th}(150 \text{ mA}/72 \text{ h}/80°C) \leq 20 \text{ mA}$ $P_{max}(60°C) \geq 7 \text{ mW}$ $\Delta I_r/I_r(168 \text{ h}/60°C/3 \text{ mW}) \leq 2\%$ D4 - $\Delta I_{th}(150 \text{ mA}/72 \text{ h}/80°C) \leq 20 \text{ mA}$ $P_{max}(60°C) \geq 5 \text{ mW}$ $\Delta I_r/I_r(336 \text{ h}/60°C/3 \text{ mW}) \leq 2\%$ D5 - $\Delta I_{th}(150 \text{ mA}/72 \text{ h}/80°C) \leq 5 \text{ mA}$ $P_{max}(60°C) \geq 7 \text{ mW}$ $\Delta I_r/I_r(336 \text{ h}/60°C/3 \text{ mW}) \leq 2\%$

advertirse que el fotodetector utilizado para supervisar la salida del láser introduce un error de medición despreciable. Desde el principio de 1984, comienzo de la fase de caracterización, se han realizado pruebas de vida de unas 340 pastillas láser sobre un submontaje, las cuales consisten en pruebas térmicas de larga duración, a 30°C y a 60°C, con una potencia de salida constante (3 mW). La vida útil se define como el tiempo al cabo del cual la corriente de excitación del láser requerida para mantener una salida constante, alcanza 1,5 veces su valor inicial.

La tasa de fallos acumulados correspondiente a poblaciones seleccionadas se

expone en la figura 1. En ella se aprecia cómo repercute la criba en la tasa de fallos con relación al tiempo a 20°C, para las subpoblaciones definidas en la tabla 2.

Con el fin de predecir la vida útil del sistema, se han efectuado también pruebas de larga duración sobre módulos emisores que miden los cambios en la potencia de transmisión requerida para mantener constante la potencia óptica en condiciones muy similares a las de uso real. La determinación de una ley que describa cómo varía la potencia de la cara anterior tomando como base las pruebas aceleradas tropieza con dificultades; en efecto, los cambios se producen por varios factores que pueden aparecer independientemente o incluso compensarse entre sí, como por ejemplo, el acoplamiento de láser a fibra, la relación de potencia óptica entre los flujos emitidos desde la cara anterior y la posterior del láser, el acoplamiento con el fotodetector en la cara posterior, y la sensibilidad del fotodetector. El primer factor se considera generalmente como el más importante.

Los cambios de acoplamiento frontal se producen por el microdesplazamiento (unos cientos de angstroms) de la fibra dentro del campo del haz del láser. No es fácil descubrir los orígenes exactos del desplazamiento de las fibras, que suelen provenir de deslizamientos y relajación de la tensión de ensamble. Esto complica mucho la modelación desde el punto de vista físico. Otra consideración es que la naturaleza tridimensional del problema unida a la forma del campo de transmisión del láser implican que no haya relación directa entre el desplazamiento de la fibra respecto al láser y la variación de acoplamiento resultante. Un mismo desplazamiento puede producir bien una caída o un aumento, e incluso una aparente estabilidad de acoplamiento, dependiendo de la posición inicial de la fibra.

Típicamente, las derivas observadas permanecen por debajo del 5% para pruebas efectuadas a 30°C durante un periodo de más de 20000 horas.

Todos estos factores llevan a la conclusión de que debe evitarse un modelo complejo, poco práctico. El análisis de los cambios de acoplamiento durante largos periodos ($\geq 10^4$ horas), a temperaturas entre 30 y 50°C, ha revelado que la mayoría de los componentes presentan cambios de acoplamiento positivos, y que la deriva del acoplamiento puede modelarse razonablemente mediante una ley de variación con respecto al tiempo t^n , siendo 0,35 el valor central de n durante el periodo de validación del modelo, entre 1000 y 20000 horas. Además, ha demostrado que la energía de activación típica para la vida útil (y no para

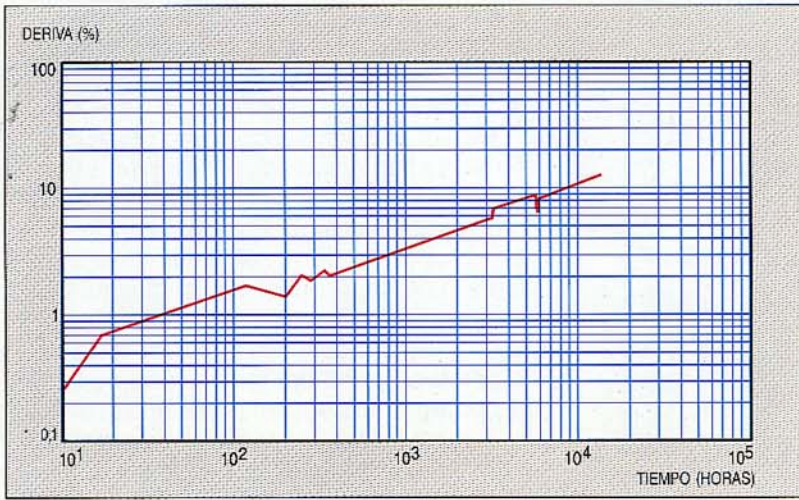


Figura 2
Evolución típica del acoplamiento durante la prueba de vida de larga duración.

los fenómenos físicos relacionados) es de 1 eV entre las dos temperaturas de prueba. Este modelo de t^n ha sido confirmado por el análisis de las derivas durante la calificación de 48 módulos emisores, cada uno de los cuales ha pasado, hasta la fecha, por más de 12000 horas de envejecimiento a 50°C y 3 mW (Fig. 2). El principio de selección elegido está ideado para garantizar que cada componente cumplirá el objetivo de deriva máxima del 35% durante 25 años a la temperatura media de funcionamiento del repetidor.

Aportación de los fallos aleatorios

Para conseguir un nivel de confianza suficientemente alto, el análisis estadístico de los fallos aleatorios exige que se prueben un gran número de componentes durante periodos apreciables, de modo que se acumule el máximo número posible de horas de funcionamiento de los componentes. Este objetivo no es fácil de conseguir, pero puede compensarse en gran medida aplicando el concepto de calidad total.

Puede hacerse una estimación de la importancia de los fallos aleatorios tomando un número acumulado de horas de componentes durante diversas pruebas, y analizando también las pruebas de selección de todo el equipo fabricado con fines comerciales. Hasta el día de hoy, se ha alcanzado para este tipo de componentes un total de $1,8 \times 10^7$ horas de componente a 20°C, con cero faltas, que corresponde a una tasa de fallos de 56 FIT. Aunque no lleguen a acreditar que se logran tasas de fallos tan bajas como de 10 FIT, por ejemplo, tales pruebas han servido de base para incluir con éxito, en el pasado, nuevos componentes en los repetidores sumergidos. En cualquier caso, estos resultados habrán de completarse con pruebas continuas de larga duración, como se ha hecho ya con la tecnología

anterior. Por tanto, para elevar el nivel de confianza con miras a erradicar los fallos aleatorios específicos, Alcatel Submarcom ha intensificado el proceso de aseguramiento de la calidad, las inspecciones visuales antes del cerrado y sellado, y el rigor de las pruebas de criba mecánicas, además de prolongar la duración de las pruebas de envejecimiento hasta las 2500 horas a 40°C.

Requisitos de los fotodetectores

El fotodetector debe detectar impulsos ópticos muy débiles a una longitud de onda de 1,3 μm y a velocidad binaria de 280 Mbit/s, y convertirlos en impulsos eléctricos. La combinación del fotodetector y su amplificador constituye el receptor, que efectúa la conversión de óptico a eléctrico. La estructura elegida se compone de un PIN planar de InGaAs/InP iluminado por detrás acoplado a un tallo de fibra óptica (monomodo) en cápsula hermética. La fase de caracterización de pastillas no ha revelado ningún mecanismo de degradación por desgaste (distribución logarítmico-normal, por ejemplo) ni deriva modelable alguna. Como la tasa de fallos relativa al desgaste ha de calcularse partiendo de una descripción de la distribución de fallos por una ley logarítmico-normal, en ausencia de este tipo de fallos ha de aceptarse que en el caso más desfavorable éstos verosíblemente adoptarán una distribución de acuerdo con tal ley, con un mínimo de vida útil media de 8000 horas de prueba a 200°C (menos del 50% a las 8000 horas) y una desviación típica de 1,2, que es un valor razonable para una población seleccionada.

Con una energía de activación pesimista de 0,6 eV, por ejemplo, se llegaría a una tasa instantánea de fallos durante 25 años de 0,01 FIT (vida útil media a 20°C igual a 7×10^7 horas). Así, los mecanismos de desgaste tienen un efecto despreciable durante la vida útil del componente.

Se han podido confirmar estos resultados durante el programa de calificación final de detectores sobre submontajes, realizado con 200 dispositivos esparcidos en varios grupos de pruebas. La fiabilidad se calculó en base a los resultados obtenidos durante una prueba de polarización inversa a alta temperatura que abarcaba 80 dispositivos, 40 de los cuales ya habían sido madurados. Los resultados arrojaron siete defectos, seis de ellos en piezas no seleccionadas. La distribución de estos siete defectos no puede interpretarse satisfactoriamente con una ley logarítmico-normal, porque ello conduciría a aberraciones y valores no

realistas de la desviación típica ($\sigma = 3,8$). Por otro lado, esto puede describirse adecuadamente mediante una distribución Weibull con los siguientes parámetros (aproximando los rangos medios):

- $\eta = 2,5 \times 10^5$ horas
- $\beta = 0,6$.

El valor de β indica que la tasa de fallos disminuye con el tiempo (periodo de mortalidad infantil). Con una energía de activación de 0,6 eV, la tasa de fallos después de la selección deberá ser de 0,22% para una vida de servicio de 25 años a 20°C, lo que da un valor medio de la tasa instantánea de fallos de 11 FIT. Tomando solamente los componentes ya madurados, esta tasa se reduce a unos 3 FIT.

Sin embargo, la descripción del fenómeno que antecede es pesimista, puesto que toma sólo en consideración los defectos graves, tales como cortocircuitos, los cuales se eliminan durante la maduración o el envejecimiento. De hecho, las piezas menos fiables pueden eliminarse mediante procesos de selección basados en criterios paramétricos y en la distribución (parámetros y derivas), especialmente en los parámetros de alta corriente de oscuridad y ruido de baja frecuencia, antes y después de la maduración. Para describir plenamente la fiabilidad de las pastillas, los fallos aleatorios deberán sumarse a la tasa de fallos asociada a los defectos de mortalidad infantil.

El número total de horas de componentes a 200°C es de 6×10^5 horas sin fallos aleatorios. Con una energía de activación de 0,6 eV, esto da una tasa de fallos instantáneos de 0,5 FIT a un nivel de confianza del 90%.

Acumulando los defectos de mortalidad infantil, los fallos por desgaste y los fallos aleatorios, la tasa de fallos máxima durante 25 años para las piezas seleccionadas es de 3 FIT por pastilla. La eficacia aparente de la selección y las dudas sobre la naturaleza de al menos algunos defectos que podrían provenir de descargas electrostáticas, hace razonable suponer que esta tasa sea menor de los 3 FIT antes indicados, tanto más cuando el valor de energía de activación utilizado corresponde al caso más desfavorable.

Las pruebas de fotodiodos monomodo con tallos de fibra han arrojado en general un comportamiento muy satisfactorio durante la selección, con desplazamientos medios menores de 2 ó 3 μm ; se examinaron piezas en las que la fibra deliberadamente se colocaba en el borde de la meseta (la meseta es la zona donde el rendimiento del acoplamiento con la superficie del fotodiodo no sufre degradación alguna).

Las pruebas de calificación de referencia normales (ciclado térmico entre -40 y +90°C para 100 ciclos) han demostrado que pueden ocasionar desplazamientos de hasta 10 μm . Las pruebas de polarización inversa a 80°C es probable que produzcan un desplazamiento menor de 5 μm , alcanzando estabilidad al cabo de 500 horas de envejecimiento.

El proceso de fabricación se ha optimizado para garantizar que la fibra se centre en la zona activa del fotodiodo durante las operaciones de acoplamiento de fibras. Ello concede márgenes importantes ($\pm 20 \mu\text{m}$) a los microdesplazamientos aceptables sin perder sensibilidad. Prolongando el envejecimiento del detector con su fibra acoplada hasta las 1000 horas a 50°C, deberían detectarse cualesquiera componentes anormales.

Procedimientos de selección

La metodología de selección general para dispositivos optoelectrónicos y todos los componentes activos del sistema S280 se basa en los principios de fiabilidad total y en la experiencia conseguida con los transistores bipolares submarinos discretos, que han superado ya los 1200 millones de horas de funcionamiento sin un solo fallo.

También se basan los métodos de selección en la noción fundamental de un *lote homogéneo*. Los cálculos estadísticos de los parámetros y las derivas medidas durante las pruebas proporcionan un instrumento eficaz para controlar y comparar la calidad de los lotes y para detectar cualesquiera piezas marginales y estropeadas dentro de un lote. En la industria de semiconductores es corriente considerar que todas las piezas obtenidas de la misma oblea tienen el máximo grado de homogeneidad.

Para cada clase de componentes el procedimiento comprende la selección de oblea por muestreo y la selección individual de unidades en el lote mediante criba y envejecimiento (maduración incluida). La selección de obleas lleva implicadas pruebas de alto esfuerzo aplicadas a unas pocas porciones buenas eléctricas y electroópticas, seleccionadas al azar en la oblea. Tales pruebas caracterizan la calidad de la oblea y aportan significativos resultados sobre márgenes y dispersiones de robustez mecánica de porciones de la oblea. Cuando los resultados siguen la tendencia normal señalada durante la etapa de calificación, se acepta la oblea. Esto además es prueba concluyente de que se han controlado

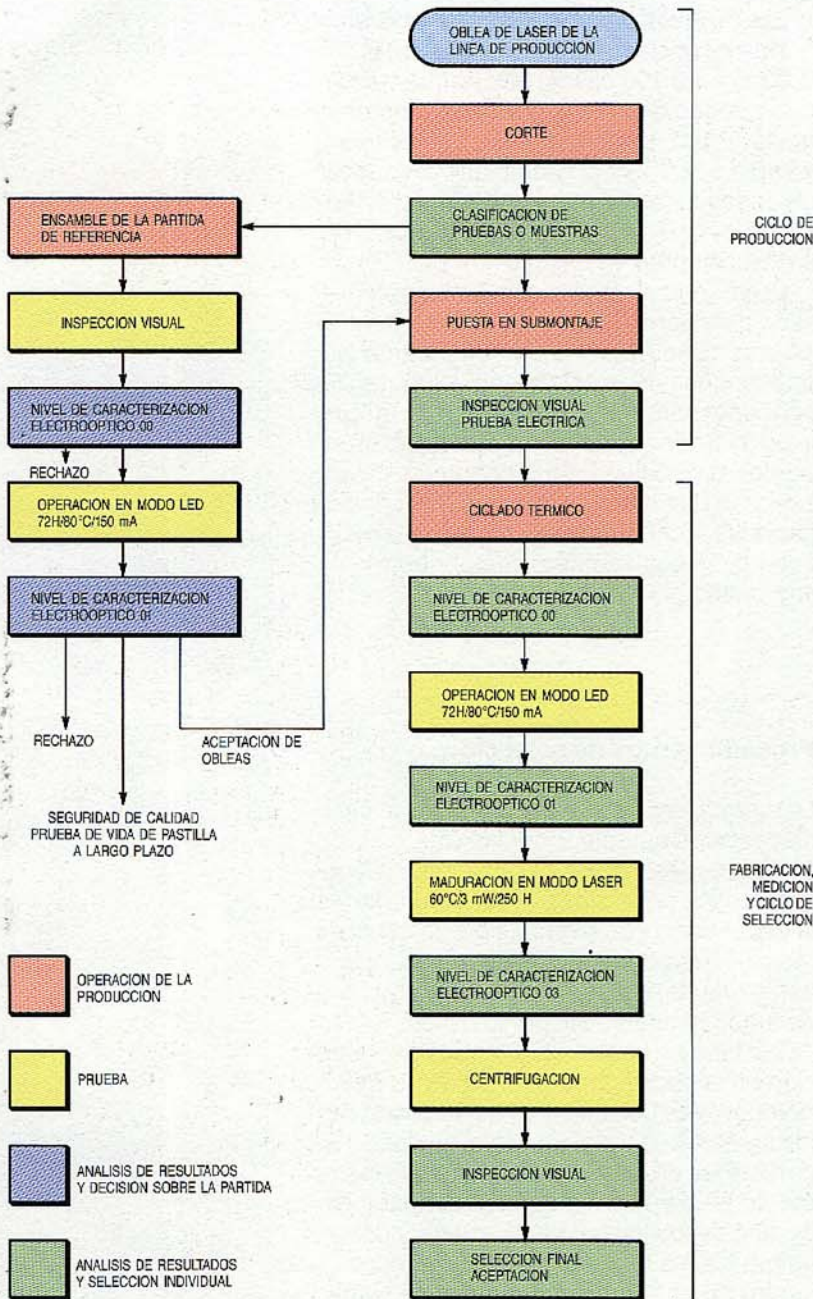


Figura 3 Procedimiento de selección de láseres montados sobre sustratos.

debidamente todas las etapas de elaboración de la oblea.

Una vez aceptada dicha oblea, las pastillas se inspeccionan visualmente y se ensamblan. Antes de encapsular, se examinan a simple vista las pastillas y después se someten a criba y envejecimiento para la selección individual. Las pruebas de criba están ideadas para no dañar a las piezas normales, pero son suficientemente rigurosas para eliminar las piezas marginales o potencialmente débiles. Tras dichas pruebas, todas las unidades se someten a una larga prueba de envejecimiento en condiciones operativas normales.

Todas las medidas y cálculos de las derivas de parámetros efectuadas durante la criba y el envejecimiento se registran en un

sistema de ordenador; cada componente envejecido se aprueba o rechaza individualmente.

Selección del módulo emisor

En el caso de componentes incluidos en el módulo emisor y en el emisor mismo, las secuencias de prueba se organizan siguiendo varias premisas generales. En primer lugar, el módulo láser debe considerarse como una subunidad optoelectrónica en vez de como conjunto de diodo láser, fotodiodo de control y fibra monomodo. No puede someterse a una secuencia eficaz de pruebas de selección al láser y fotodiodo unidos en el módulo, pues los dos dispositivos no pueden resistir el mismo nivel de carga. Por lo tanto, debe seleccionarse cada componente antes del ensamble. Al módulo láser deben aplicarse secuencias de prueba y procedimientos de selección apropiados, ya que todos los parámetros operacionales dependen del mutuo acoplamiento e interacción de sus componentes.

En segundo lugar, debido a la mala resistencia al calor del montaje de fibras, los dispositivos con tallo acoplado no pueden someterse a pruebas de alta temperatura. El muestreo y las pruebas de criba de tales dispositivos a temperaturas superiores a 70°C se realizan con los dispositivos en un submontaje. Una vez acoplado el tallo, los dispositivos pasan por una segunda prueba a temperatura más baja, antes de la selección final.

Selección del láser en submontaje: el procedimiento de selección de láser en el submontaje se ilustra en la figura 3. Los siguientes principios de selección individual se aplican sobre todo en las fases de maduración y envejecimiento:

- conformidad de los parámetros, tanto en lo que afecta a los parámetros de fiabilidad como a los funcionales que la aplicación requiere
- eliminación de las piezas marginales estadísticamente en parámetros y derivas, en cada fase del procedimiento
- eliminación de las piezas que presentan derivas notables en la corriente de funcionamiento durante la maduración.

Este procedimiento trunca la distribución de vida útil logarítmico-normal que resulta del modo de fallo por desgaste normal, y conduce a garantizar un nivel de selección por lo menos igual al de la subpoblación de referencia D5 (Tabla 2), cuyas características de tiempo de vida útil (estimadores μ MTTF y σ) se comprueba que son compatibles con el objetivo de fiabilidad valiéndose de procedimientos de aseguramiento de

calidad (pruebas de ≥ 4000 horas a 60°C y 3 mW).

Fotodiodo de supervisión: la selección individual de diodos se basa en la conformidad con las especificaciones funcionales, las curvas de distribución de parámetros (corriente de oscuridad, voltaje de ruptura, etc), y las derivas asociadas con cada fase del procedimiento. Los lotes de selección se obtienen de las obleas cuyo comportamiento durante la selección (realizada por pruebas destructivas para garantía de calidad) sea comparable al observado durante la calificación.

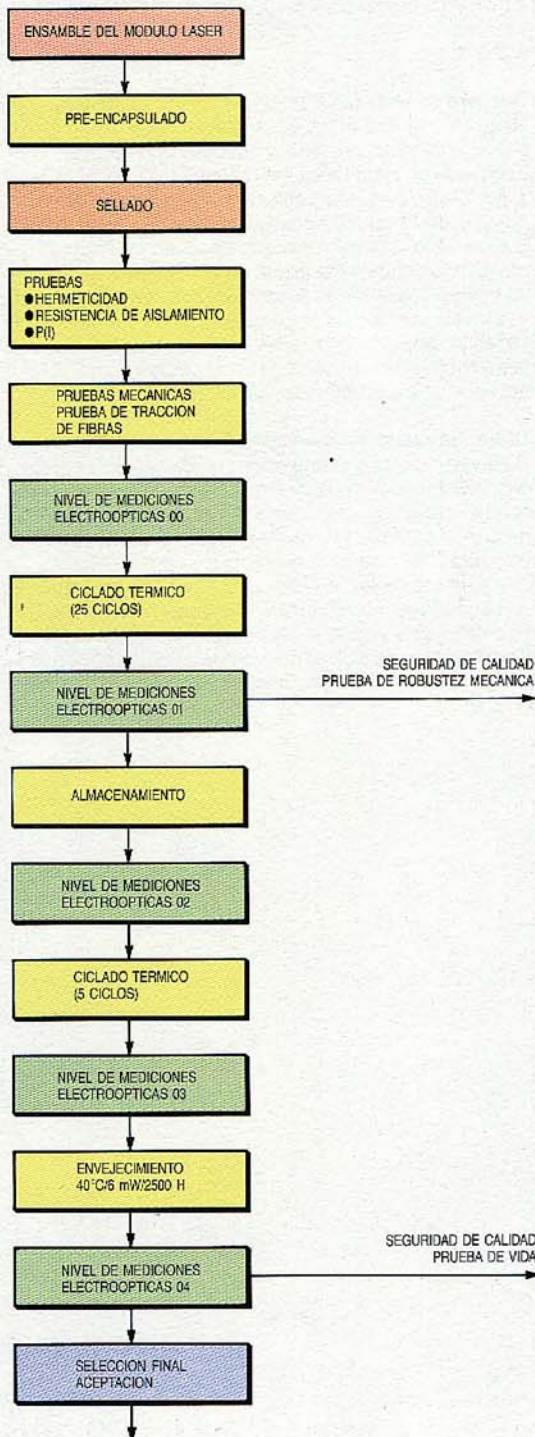


Figura 4
Procedimiento de
selección de módulos
láser.

Cabeza óptica: una vez seleccionados, ambos dispositivos se montan en el encapsulado provisto de tallo de fibra. El módulo láser se sella en atmósfera de nitrógeno seca tras un riguroso procedimiento de desgasificación. Antes de sellarlo, se lleva a cabo una meticulosa inspección previa sometida al control de calidad del cliente. La selección final del producto aparece ilustrada en la figura 4, y aspira a conseguir lo siguiente:

- desterrar posibles fallos inesperados, específicos y normales
- estabilizar de antemano las piezas componentes para asegurar acoplamiento óptimo y buena estabilidad
- comprobar los mecanismos de desgaste relacionados con el láser y el acoplamiento, de modo que el comportamiento de la deriva y sus extrapolaciones al tiempo de vida útil cumplan los objetivos de fiabilidad.

La selección individual se basa en el examen de las distribuciones de los parámetros y derivas en cada nivel de medición durante el procedimiento, y en la conformidad con las especificaciones funcionales del producto.

Selección del fotodetector

Los procedimientos de selección para los fotodetectores se basan en:

- selección de oblea que garantice el objetivo de fiabilidad media
- selección de pastillas en submontajes utilizando pruebas a alta temperatura durante la maduración ($5\text{ horas}/200^{\circ}\text{C}/20\text{ V}$) y el envejecimiento ($125^{\circ}\text{C}/168\text{ horas}/20\text{ V}$) destinadas a interceptar los mecanismos de deriva inherentes al comportamiento eléctrico de la pastilla (responsividad, corriente de oscuridad y voltaje de ruptura) y los mecanismos de fallos aleatorios
- selección del detector con fibra con el propósito de probar el acoplamiento entre fibra y fotodiodo.

La fabricación por lotes partiendo de la misma oblea o serie de obleas puede utilizarse para una selección basada en el criterio de homogeneidad de los parámetros y derivas, especialmente en lo que atañe a los aspectos eléctricos de la pastilla y a la sensibilidad del detector con acoplamiento de fibra.

Conclusiones

Los procedimientos de aseguramiento de la calidad y de selección individual puestos

en práctica por Alcatel Submarcom garantizan que todos los componentes optoelectrónicos sean plenamente capaces de cumplir las rigurosas exigencias de fiabilidad de los sistemas submarinos. Aunque reconociendo ciertas limitaciones, especialmente en cuanto a demostrar el concepto de nivel de confianza de riesgo estadístico o el impacto que la presencia de una débil degradación de la energía de activación ($E_a \geq 0,6$ eV) podría tener en la fiabilidad general, la selección por criterios de lotes homogéneos y la aplicación del concepto de fiabilidad total logra superar estas dificultades.

Sin duda, sus 20 años de experiencia en la aplicación del concepto de calidad total a sistemas sumergidos justifican el liderazgo mundial de Alcatel Submarcom en el campo de la transmisión por fibras ópticas submarinas.

Bibliografía

- 1 H. Bzrozowski, G. Bourret, J. L. Lemonde, J. Y. Fourier y P. Giron: S280 Submarine Repeater and Major Components: *International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems: Suboptic 1986*, 18 a 21 de febrero 1986, París, págs. 199-205.
- 2 J. P. Pestie, P. Franco, F. Gobin y P. Durand: Reliability Objectives, Redundancy, Selection Procedure and Results: *International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems: Suboptic 1986*, 18 a 21 de febrero 1986, París, págs. 173-180.
- 3 M. Gueguen y D. Sauvage: Fiabilité des Photodétecteurs PIN InGaAs/InP Planar Pour Liaisons Sous-Marines sur Fibre Optique: *Cinquième Colloque International de Fiabilité et de Maintenabilité*, 1986, Biarritz, págs. 549-552.

Jean-Louis Boussois nació en Montbéliard, Francia, en 1948. Se le concedió una licenciatura en ingeniería por la Ecole Supérieure d'Electricité en 1971. Al año

siguiente se incorporó a Alcatel CIT, donde trabajó durante cinco años con el equipo responsable del tendido, alineación y puesta en servicio de sistemas submarinos. El Sr. Boussois es ahora responsable de los proyectos técnicos de sistemas submarinos.

Jean-Luc Goudard nació en París, Francia. Se graduó en ingeniería por el Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse. Se incorporó a Alcatel en 1981, donde ha trabajado en el campo de la fiabilidad de componentes optoelectrónicos.

Michèle Gueguen se graduó con un master en física por la Universidad de Nantes, Francia, en 1971, y luego se incorporó a Alcatel CIT. Es responsable de la calificación de semiconductores y dispositivos optoelectrónicos discretos. Recientemente se hizo cargo del sector de la tecnología de evaluación dentro de la dirección general técnica de ATC. La Sra. Gueguen es además directora de los productos para componentes de optoelectrónica dentro de Alcatel, y es miembro del equipo de componentes de transmisión optoelectrónicos estratégicos.

Bernard Kramer nació en Lille, Francia, en 1945. Se graduó en ingeniería por el Institut Supérieur d'Electronique du Nord, en 1966, y después consiguió el doctorado en electrónica por la Universidad de Lille, en 1968. En 1970 se incorporó a los Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquées para trabajar en los diodos IMPATT de microondas y después en amplificadores de microondas. Tras algún tiempo en la casa central de Philips Research, en Eindhoven, regresó a Francia en 1982 para hacerse cargo de las actividades de RTC-Limeil en GaAs. El Dr. Kramer entró en Alcatel CIT en 1984 como director adjunto de la división de componentes de ATC, y en 1988 ascendió a director.

Didier Sauvage nació en Lens, Francia, en 1956. Recibió un diploma de ingeniería en física por el Institut National Polytechnique de Grenoble en 1979, y en 1982 recibió un doctorado en ingeniería en Toulouse (laboratorio LAAS) por una tesis sobre circuitos integrados de bajo ruido. Se incorporó al grupo de componentes tecnológicos de ATC en 1981, asumiendo la responsabilidad de calificación de semiconductores y fotodiodos discretos. Desde 1988 el Dr. Sauvage tiene a su cargo el departamento de calidad dentro de la división de componentes, que fabrica componentes estratégicos para Alcatel.

Nueva generación de sistemas de línea de fibra óptica de baja capacidad

Se ha desarrollado una nueva gama de equipos terminales de línea óptica de baja capacidad que ofrece un extenso repertorio de características con un diseño compacto y optimizado en coste. El conjunto de facilidades de servicio, operación y mantenimiento se apoya en un canal interno de servicio generado por medio de microprocesadores y circuitos VLSI a medida.

F. Canal Cano

F. Fatuarte Torres

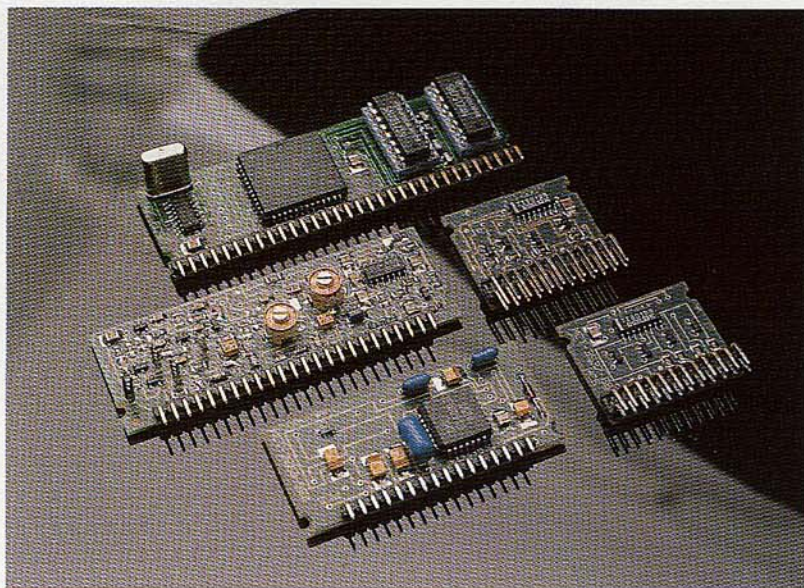
Alcatel Standard Eléctrica, Madrid, España

Introducción

Alcatel introduce una nueva familia de ETLO (equipo terminal de línea óptica) cuya gama de baja capacidad (2, 8 y 34 Mbit/s) ha sido desarrollada por Alcatel Standard Eléctrica. Estos ETLO pueden utilizarse conjuntamente con multiplexores digitales, configurando equipos compactos mdlex de 4×2 Mbit/s y 16×2 Mbit/s.

El desarrollo se ha orientado a implantar un conjunto completo de características de servicio, mantenimiento y supervisión y facilidades de usuario en un equipamiento compacto para asegurar que en toda la familia ETLO se han optimizado los costes. Como resultado, se ha conseguido equipar una unidad ETLO en una sola placa de

Placas hijas para las diversas opciones de ETLO: arriba, interfaz Q2; centro a la izquierda, interfaz HDB3; abajo, circuito de órdenes para ingeniería; derecha, placas de interfaz de canal de datos del usuario.



circuito impreso que proporciona todas las características requeridas y contiene su propia fuente de alimentación. Bastan dos tipos de unidad para cubrir la gama completa: una para los ETLO de 2 y 8 Mbit/s (seleccionando la velocidad mediante puentes en la placa base) y otra para la versión de 34 Mbit/s.

Los conectores ópticos se montan en el frontal de cada unidad: dos conectores para la unidad básica y cuatro cuando se requiera protección mediante redundancia óptica. El resto de conectores, jacks e indicadores se equipan también en dicho frontal. Se puede transmitir tanto con fibras monomodo como multimodo, lo que ofrece a los usuarios un amplio margen de potencias, y por lo tanto de longitudes del vano de repetición.

El equipo terminal de línea se conecta típicamente en una configuración punto a punto para formar una SDL (sección digital de línea), aunque es posible conectar varias SDL en serie. En este caso, todas las estaciones pueden ser supervisadas desde cualquiera de ellas (Fig. 1).

Además de la redundancia óptica, equipada opcionalmente en la unidad, se puede conseguir una redundancia eléctrica del tipo 1 + 1 en el interfaz HDB3 añadiendo al armazón una unidad enchufable.

El uso de circuitos VLSI a medida y microprocesadores es esencial para obtener un canal interno de servicio que sustente las facilidades de servicio, operación y supervisión. Este canal de servicio se transmite y recibe por las mismas fibras que transportan los trenes binarios principales de 2, 8 y 34 Mbit/s, pero está separado de ellos de tal modo que no le afecte un fallo en el canal de transmisión principal, lo que se consigue mediante una original secuencia de violacio-

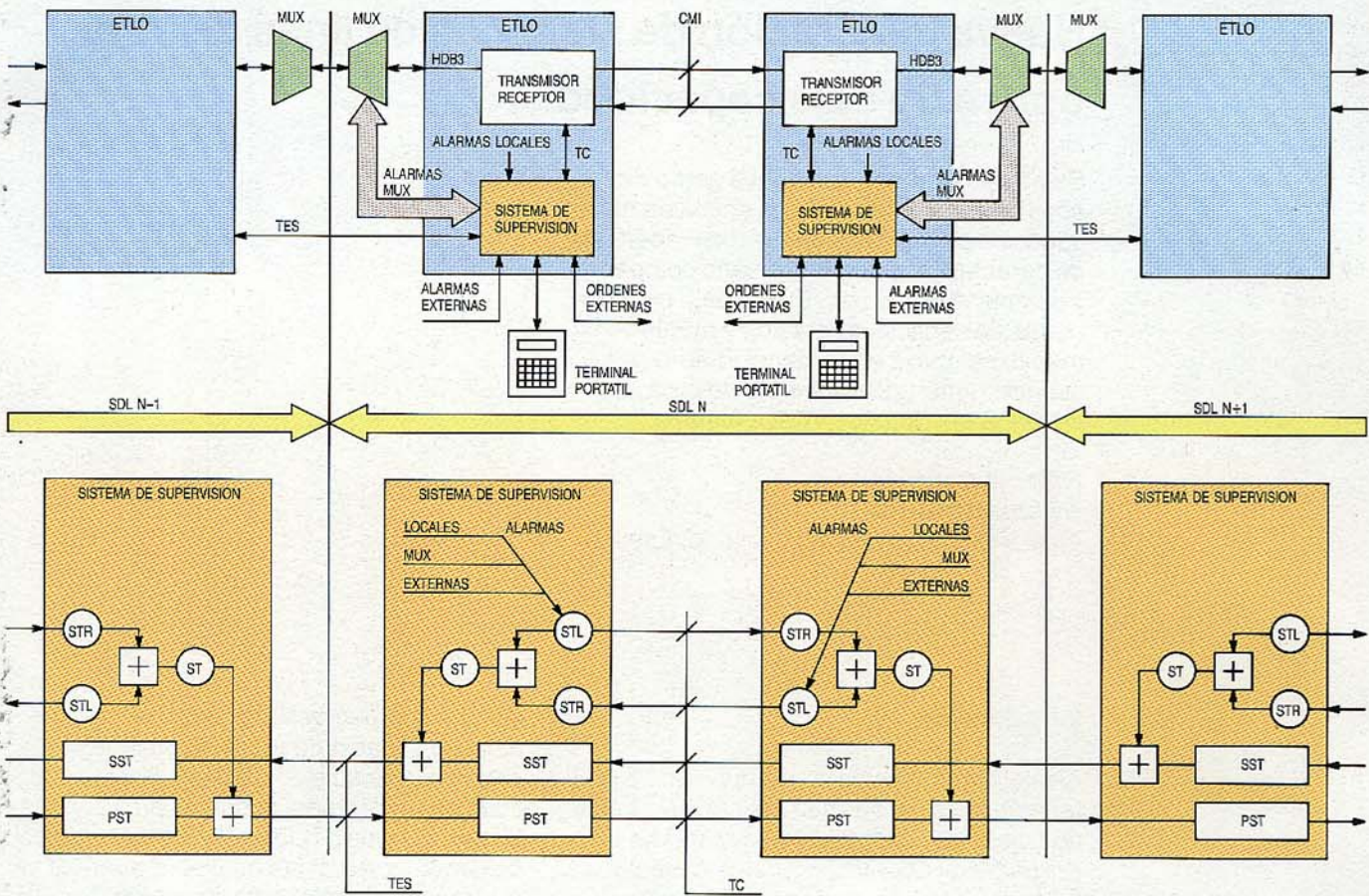


Figura 1
Configuración de SDL
y trayectos de la
supervisión.

- PST** - almacena-
miento previo
de estados
de SDL
- SST** - almacena-
miento poste-
rior de estados
SDL
- ST** - estado de SDL
- STL** - estado local
- STR** - estado remoto
- TC** - subcanal de
supervisión
- TES** - subcanal de
extensión de
supervisión.

nes del código de línea que permite disponer de varios canales para aplicaciones diferentes.

Se incluye un circuito de órdenes (equi-
pado en una placa hija sobre la placa base)
para comunicación vocal entre terminales
durante el servicio y reparación del sistema,
y dos canales de datos a disposición de los
usuarios para sus propias aplicaciones,
como son las redes de ordenadores o la
supervisión remota. Tales facilidades coe-
xisten con la vía principal de tráfico, que
proporciona 30, 120 ó 480 canales a las
velocidades de transmisión de 2, 8 y
34 Mbit/s, respectivamente. Se incorpora
además un interfaz Q2, definido en la Reco-
mendación G.771 del CCITT, para ejercer
supervisión remota desde una estación
central principal, conforme a los últimos
conceptos de gestión de red.

El diseño mecánico responde a la práctica
de equipo T9 de Alcatel, utilizada normal-
mente en los campos de transmisión por
línea, multiplexación y supervisión de red.

Arquitectura del equipo terminal de línea óptica

Las unidades utilizadas en los ETLO de
2/8 Mbit/s y 34 Mbit/s tienen la misma

arquitectura, y sólo difieren en los circuitos
de generación de reloj y control. La placa
madre - un circuito impreso multicapa
según el estándar Eurocard doble
(233,35 mm x 160 mm) - puede sustentar
varias placas hijas que aportan facilidades
opcionales como las siguientes:

- circuito de órdenes para comunicación
vocal durante el mantenimiento
- interfaces de acceso para los canales de
datos de usuario
- interfaz de supervisión Q2 del CCITT
- módulos híbridos que toman la alimenta-
ción descentralizada, directamente
desde el suministro principal de 48 V CC
- interfaces de acceso de señal HDB3.

Se recurre a dos tipos de redundancia para
garantizar una segura comunicación entre
dos terminales. La redundancia activo/
reserva-activa se basa en una configuración
1 + 1, susceptible de realizarse a nivel
óptico y nivel eléctrico (HDB3). La redun-
dancia óptica se lleva a cabo en la misma
placa base duplicando el número de mó-
dulos ópticos; en este caso, la anchura de la
placa pasó de los 14 módulos estándar a
21 módulos. Ambos emisores transmiten
simultáneamente por los dos caminos
ópticos que existen entre los terminales. En

el lado de recepción, se mide la tasa de errores de bit (TEB) de la fibra en servicio (activa), y si ésta excede de 10^{-3} se selecciona la que se mantenía en reserva. La redundancia eléctrica se consigue instalando dos equipos terminales de línea y una unidad de conmutación separada a nivel de señal HDB3, ofreciendo así una redundancia total.

Las principales funciones realizadas por el equipo de línea (Fig. 2) son:

- interfaz eléctrico
- codificación/decodificación de línea
- interfaz óptico
- supervisión del sistema: detección de alarmas, control de configuración, etc.
- comunicación con equipo terminal distante por medio del canal interno de servicio
- fuente de alimentación descentralizada
- redundancia óptica.

El diseño de la placa base responde a la modularidad del sistema, reservando zonas

específicas de la misma para las distintas funciones.

La señal eléctrica codificada en HDB3 que entra en el equipo se convierte a señal binaria NRZ (sin retorno a cero), y posteriormente al código de línea CMI (código de inversión de marcas), que permite detectar los errores de transmisión y garantiza un número igual de niveles 1 y 0. Las conversiones de código se realizan mediante un circuito VLSI a medida que también genera el canal interno de servicio, multiplexando cuatro subcanales e insertando la señal multiplexada en la señal de tráfico transmitida por medio de una técnica de violación del código de línea.

En el lado de recepción, el VLSI realiza las operaciones inversas, demultiplexando los cuatro subcanales y haciendo las conversiones de código necesarias. Otras funciones de este dispositivo son la detección de errores de la señal HDB3 entrante y el cálculo de la TEB en recepción, enviando los siguientes mensajes al microprocesador de supervisión del sistema:

- fallo en la señal HDB3 entrante

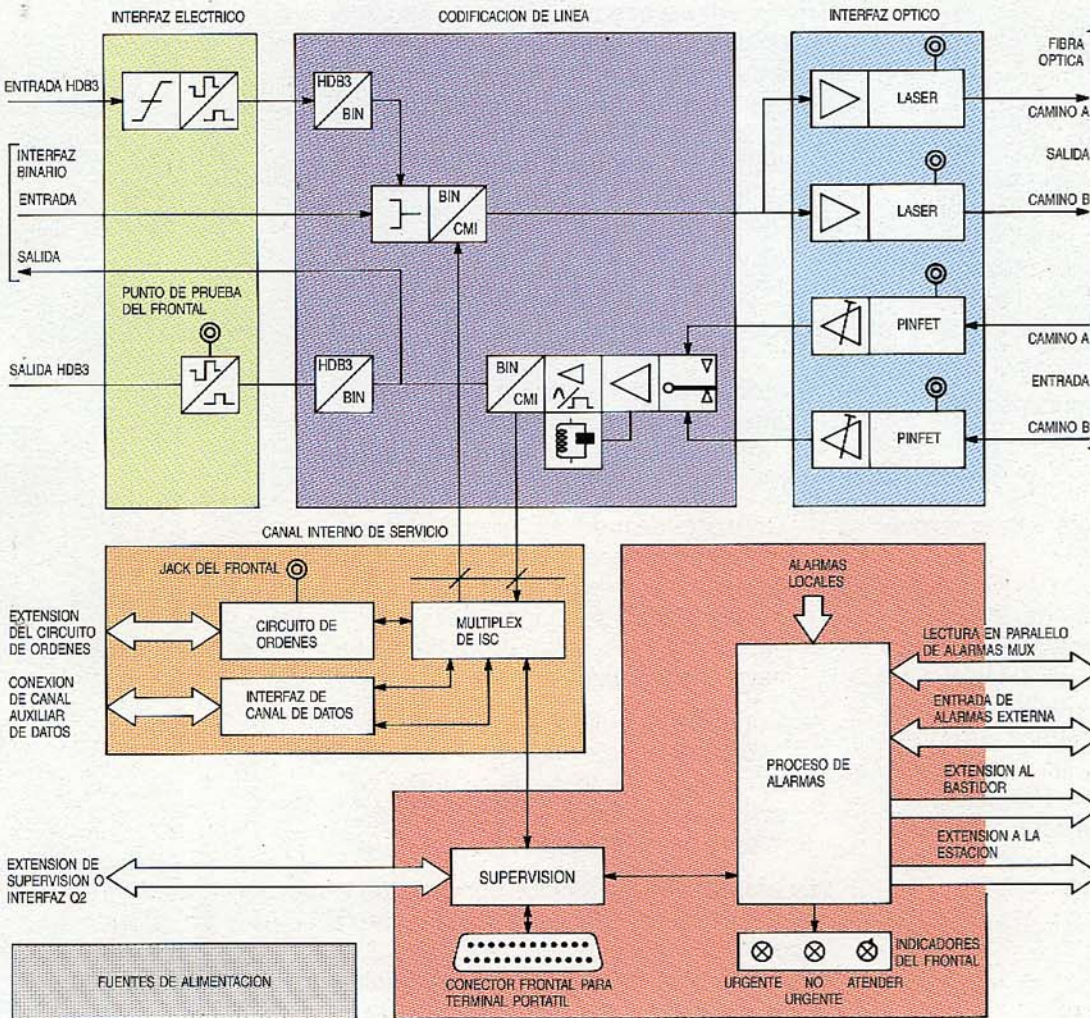


Figura 2
Diagrama de bloques de un ETLO.
 BIN - binario
 CMI - código de inversión de marcas
 ISC - canal interno de servicio.

Tabla 1 – Balance de potencia óptica

Fibra óptica	Longitud de onda	Láser	Receptor	Balance neto (dB)			Vano típico/máximo (km)		
				2 Mbit/s	8 Mbit/s	34 Mbit/s	2 Mbit/s	8 Mbit/s	34 Mbit/s
Monomodo	1310 nm	BH (LP)	PIN-FET	31	28	23	59/71	53/64	40/53
Monomodo	1310 nm	BH (HP)	PIN-FET	43	40	35	83/98	78/92	68/80
Multimodo	1310 nm	BH (HP)	PIN-FET	43	40	35	64/77	59/72	51/63
Monomodo	1550 nm	BH (HP)	PIN-FET	39	36	31	117/130	107/120	90/103

BH – heteroestructura enterrada

LP – potencia baja

HP – potencia alta

– detección de señal indicadora de alarma (SIA) en la señal HDB3

– TEB mayor de 10^{-6}

– TEB mayor de 10^{-3} .

Otros circuitos incluidos en el dispositivo VLSI realizan funciones auxiliares como la supervisión del microprocesador, conexión de bucles de prueba en el interfaz eléctrico, conmutación de las salidas de los módulos ópticos de recepción (en caso de haber redundancia óptica), e inserción de la SIA en ambos extremos de la línea cuando ello se requiera.

Aplicaciones

El equipo terminal de línea FL 1101/2201/3301 ha sido concebido para ofrecer las características requeridas por una amplia gama de aplicaciones. Con miras a satisfacer tanto a los usuarios privados como a las Administraciones, este equipo se puede utilizar junto con equipos multiplexores de diferentes órdenes para configurar enlaces digitales con las aplicaciones siguientes:

- anillos de acceso de abonados a centrales urbanas
- enlaces interurbanos
- ramales de enlace a una arteria principal de la red
- enlaces urbanos.

La máxima longitud de vano entre estaciones varía dependiendo de la capacidad del equipo y de los componentes ópticos utilizados. En la tabla 1 se resumen las potencias ópticas disponibles y las correspondientes longitudes de vano. Para la determinación de los valores indicados en dicha tabla se ha partido de las siguientes suposiciones:

- TEB garantizada durante la vida útil del sistema: 10^{-10}
- margen del sistema: 3 dB

– atenuación de la fibra óptica: 0,4 dB/km a 1310 nm, y 0,28 dB/km a 1550 nm.

Pueden realizarse facilidades tales como circuitos de órdenes, supervisión remota, interfaz Q2 y redundancia, de acuerdo con los requisitos de cada Administración local en cuanto a operación y mantenimiento.

Los equipos de línea muldex de 4×2 Mbit/s y 16×2 Mbit/s son sistemas compactos diseñados específicamente para anillos de acceso de abonados, pudiendo alojarse en armarios de exterior para dar servicio a enlaces de datos de 2 Mbit/s con abonados distantes.

Las aplicaciones privadas usuales son redes lineales o en anillo, y en estrella o en malla, ambas con posibilidad de segregarse e insertar a nivel de canal. Los usuarios típicos de estos sistemas son las compañías de servicios públicos, como las de ferrocarriles, distribución de energía eléctrica, gas, petróleo, y explotación de autopistas, además de las fuerzas armadas.

Circuitos ópticos

El módulo emisor utiliza un diodo láser montado en un encapsulado hermético de 14 terminales, que está alimentado por dos corrientes:

- Corriente de modulación suministrada por un amplificador acoplado en alterna a la salida del circuito VLSI donde se generan los datos a ser transmitidos. Se impide así que el láser emita cuando no hay tráfico que enviar.
- Corriente de polarización, que hace trabajar al láser, en ausencia de señal de modulación, en torno de su punto de umbral asegurando un máximo rendimiento en la conversión corriente-luz.

La potencia óptica emitida por el sistema se mantiene en un nivel constante merced al uso de un circuito de reafrimación que compara la salida de un fotodiodo equipado en el módulo emisor con un nivel de refe-

rencia y genera una señal de error para controlar la corriente de polarización. Pueden utilizarse láseres de alta o de baja potencia, que respectivamente suministran potencias ópticas teóricas de 1 mW y 0,1 mW.

Cuando se utiliza un láser de alta potencia, el módulo óptico contiene un sensor de temperatura y un refrigerador para mantener una temperatura interior estable de 25°C, sean cuales fueren la potencia óptica y las condiciones ambientales. El funcionamiento del láser se supervisa con respecto al valor de su corriente de polarización, generándose una alarma si se excede su valor nominal en más del 50%.

El módulo emisor incorpora circuitos de seguridad que protegen al personal de peligrosas radiaciones del láser al abrir el módulo para el mantenimiento; éstos son los siguientes:

- limitador de la potencia emitida
- corte automático del láser si no entra señal óptica en el receptor; este circuito puede ser inhibido.

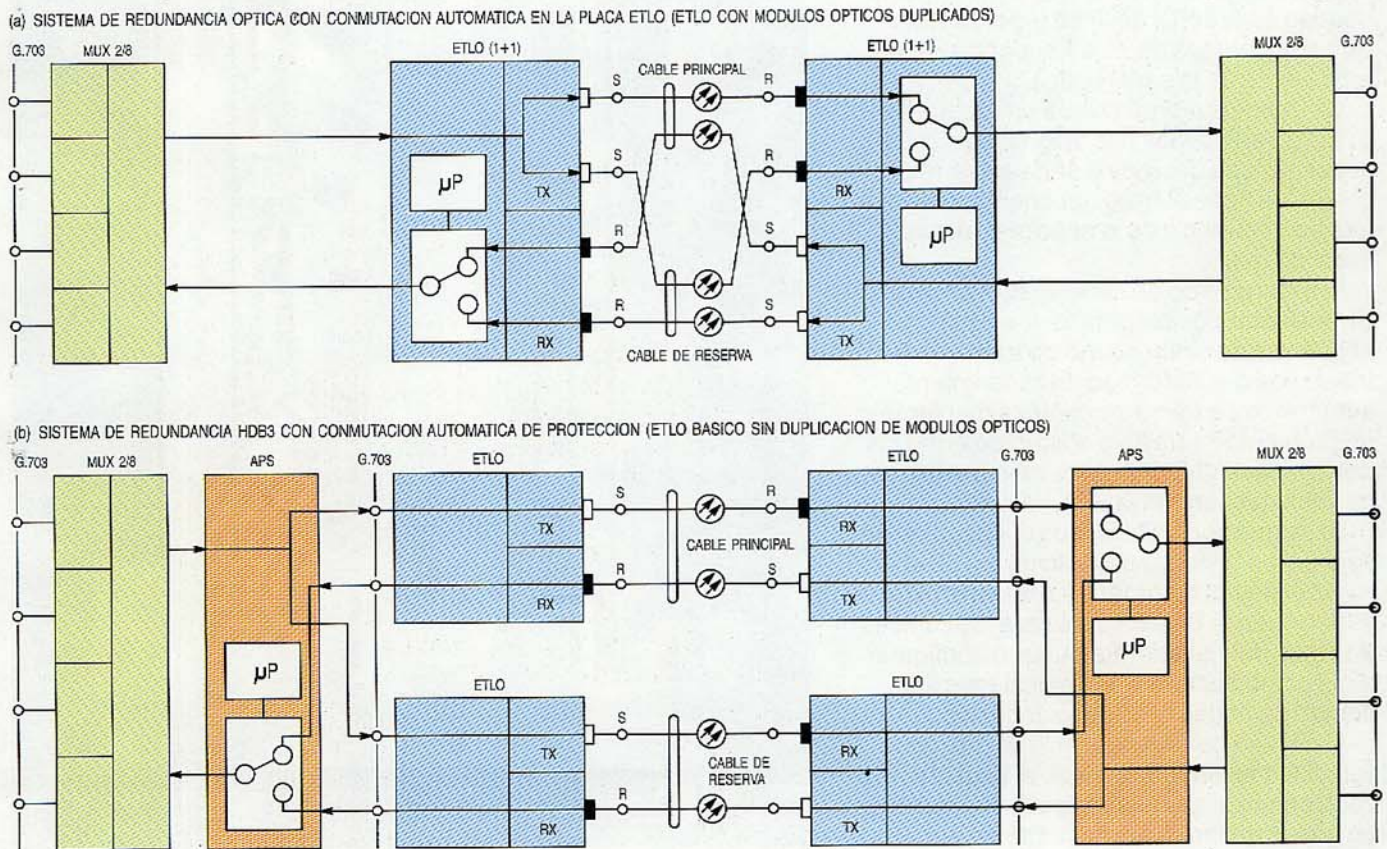
El módulo receptor consiste en un convertor óptico-eléctrico seguido de un amplificador dotado de control automático de ganancia. Después de ser filtrada, la salida del amplificador se lleva a un comparador donde se convierte en señal digital.

El convertor optoelectrónico se aloja en un encapsulado hermético de 14 terminales, junto con un diodo PIN y un amplificador FET de transimpedancia. Se utilizan dos diferentes módulos PIN-FET dependiendo de la velocidad de transmisión: uno para 2 y 8 Mbit/s y otro para 34 Mbit/s. El filtrado y limitación de la banda se realiza mediante dos circuitos híbridos diferentes, diseñados uno para funcionamiento a 2/8 Mbit/s y otro para 34 Mbit/s. En el ETLO de 2/8 Mbit/s se selecciona para cada aplicación el filtro adecuado mediante puentes en la placa base.

El módulo receptor genera una señal interna (indicador) cuando el nivel de la señal entrante es bajo para utilizarse en el control automático de la redundancia, y otro indicador cuando no hay señal entrante, lo que desencadena el corte del láser del módulo emisor correspondiente.

La redundancia óptica se consigue transmitiendo simultáneamente por dos caminos ópticos y seleccionando a la recepción la salida de uno de los dos receptores ópticos, conectados a los respectivos caminos, según la TEB detectada. El control de la redundancia puede ser manual o automático, accionándose la conmutación automática de un receptor a otro cuando la TEB recibida es mayor de 10^{-3} , siempre que el nivel de señal entrante en el receptor en

Figura 3
Configuraciones de redundancia.
APS - conmutador automático de protección
RX - receptor
TX - transmisor
 μ P - microprocesador.



reserva supere al umbral de sensibilidad (Fig. 3).

La conmutación manual se inicia localmente mediante una orden emitida por el terminal portátil, o a distancia por medio del subcanal de supervisión. Si la orden es local, la conmutación tiene lugar con independencia de los niveles de señal óptica en los enlaces activo y en reserva. Sin embargo, cuando la orden se recibe de un terminal remoto, antes de autorizar la conmutación se considera el nivel de señal óptica en el receptor en reserva. En uno y otro caso, el camino óptico activo se indica por un LED en el frontal del ETLO.

Canal interno de servicio

Una importante facilidad del nuevo ETLO es que proporciona un canal interno de servicio entre los extremos de una SDL, el cual se forma por multiplexación en el tiempo de cuatro subcanales de servicio, asignados a: supervisión de línea, circuito de órdenes y dos canales de datos. Se pueden obtener más canales de datos por subdivisiones sucesivas de tales subcanales en otros de menor velocidad binaria.

El canal interno de servicio se inserta en la señal de tráfico codificada en CMI utilizando una técnica de violación periódica de ese código. Esta violación de código se realiza de acuerdo con diferentes patrones específicos para evitar la aparición de disparidades en la señal de línea y, por lo tanto, de componentes de baja frecuencia en la envoltura de la señal óptica.

Un muldex interno crea la estructura de trama a partir de los bits asignados a cada subcanal. Las diferentes señales de reloj que éstos necesitan se obtienen por divisiones de frecuencia de la señal de reloj del canal de tráfico.

El canal interno de servicio está protegido de cualquier posible simulación de la secuencia de sincronismo de trama en los tributarios que lo forman. El alineamiento automático de trama se controla mediante un protocolo interactivo sostenido entre los dos circuitos VLSI incluidos en los equipos de línea que forman la SDL.

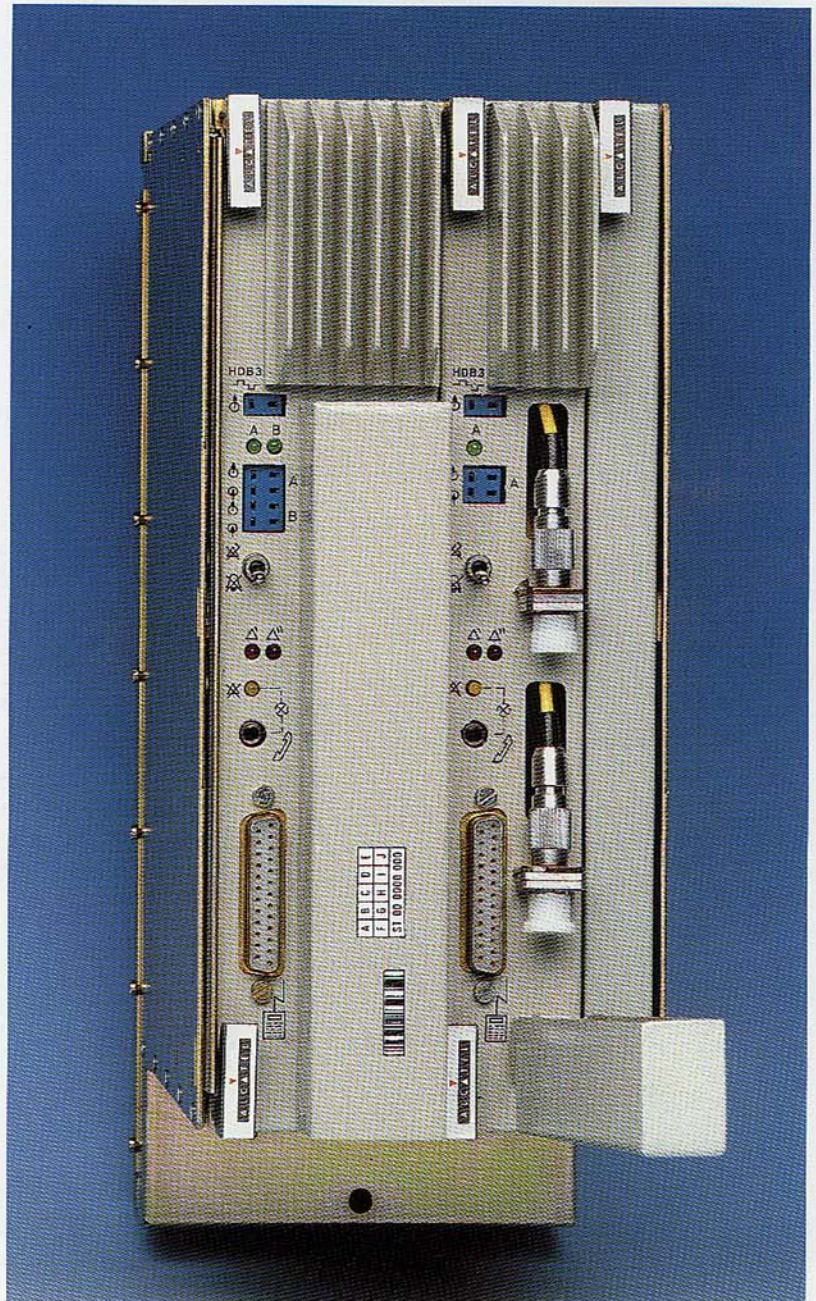
La asignación típica de los subcanales de servicio en un ETLO de 2 Mbit/s es: 32 kbit/s para el circuito de órdenes, 16 kbit/s para supervisión, y 64 y 8 kbit/s para los canales de datos del usuario. Se pueden configurar otras combinaciones de velocidades añadiendo unidades de diseño específico.

Al circuito de órdenes se le asigna una velocidad mínima de 32 kbit/s. Está realizado en una placa hija opcional que incluye un codec de modulación delta y un ampli-

ficador de audio. Normalmente se accede al canal del circuito de órdenes enchufando un microteléfono en un jack situado en el frontal del ETLO. Se pueden hacer llamadas selectivas y de conferencia mediante el uso del terminal portátil sin degradación de la calidad de la señal de datos principal.

El subcanal de supervisión se utiliza para intercambiar señales de datos entre los microprocesadores de los ETLO local y distante. La supervisión remota, indicación de alarmas y control de la redundancia se realizan por tal medio. Dado que la velocidad de información transmitida por el subcanal de supervisión es inferior a la velocidad binaria propia de este subcanal, se realiza un sobremuestreo que proporciona

Vista frontal de dos ETLO en un armazón T9. El de la izquierda dispone de redundancia óptica.



una protección adicional frente a errores en la línea.

Los subcanales de datos de usuario se asignan a usos específicos, dependiendo de la aplicación. Los interfaces para estos subcanales cumplen la Recomendación V.11 del CCITT, siendo accesibles por un conector en la parte trasera. Pueden funcionar en modo síncrono a las velocidades nominales correspondientes, o en modo asíncrono a velocidades binarias inferiores.

Sistema de supervisión

El ETLO incluye un circuito de supervisión gobernado por microprocesador que controla un subcanal de supervisión remota hacia el ETLO distante de la misma SDL, y otro subcanal de extensión, también para supervisión remota, hacia el ETLO perteneciente a la SDL adyacente (Fig. 1). El sistema de supervisión permite:

- visualizar y notificar las alarmas locales, remotas y externas de cada equipo terminal
- enviar órdenes a cualquier ETLO y recibir las correspondientes respuestas
- conectar con un centro de supervisión o un sistema de gestión de red.

Cada equipo terminal detecta sus propias alarmas internas y externas, así como las del equipo múltiple asociado en los sistemas compactos de 4×2 y 16×2 Mbit/s, y genera una señal de información del estado local, que se envía al terminal distante como señal de indicación del estado remoto. Cada ETLO combina las indicaciones de estado local y remoto en una única señal de estado de la SDL. Cuando se conectan varias SDL en cascada, toda la información de estados de cada una se pasa al ETLO siguiente, donde se almacena junto con la indicación de su posición relativa (Fig. 1).

Los ciclos de supervisión se inician periódicamente. La información de estados incluida en cada ETLO se actualiza a la vez que se transmiten las correspondientes órdenes entre los ETLO, así como las respuestas que hubiere. Las órdenes y las respuestas se pueden generar internamente, en cuyo caso se ejecutan dentro del ETLO. No obstante, si la generación es externa, el ETLO actúa como un medio de transmisión transparente entre los terminales involucrados.

El sistema de supervisión dispone de los interfaces siguientes:

- interfaz interno para la detección de las alarmas locales

- interfaz paralelo para recogida de las alarmas del múltiple asociado
- interfaz externo para recibir las alarmas exteriores
- interfaz para órdenes/respuestas externas
- interfaz para el terminal portátil.

Las órdenes internas se pueden utilizar para determinar el estado de cualquier ETLO, y controlar a distancia ciertas funciones como realización de bucles de prueba y conmutación manual entre las partes redundantes de un ETLO perteneciente a cualquier SDL.

Las órdenes externas permiten explorar y controlar a distancia el estado de dispositivos remotos, suponiendo que su interfaz sea inteligible para el ETLO. Ejemplo de tales dispositivos son los sensores de temperatura y los detectores de irrupción (robo).

El terminal portátil se emplea para:

- fijar la configuración del ETLO
- explorar el estado global de cada SDL
- identificar las alarmas del ETLO local y el remoto
- conocer y controlar a distancia el estado de los conmutadores de la redundancia, los bucles de prueba, los dispositivos externos y atender llamadas a través del circuito de órdenes.

Los subcanales de extensión para supervisión remota del primero y último ETLO de una ruta permiten que el sistema se conecte a un centro de supervisión o sistema de gestión de red mediante el interfaz Q2. Dicho centro puede realizar todas las funciones posibles con el terminal portátil.

Conclusiones

La nueva familia de ETLO de 2, 8 y 34 Mbit/s de Alcatel ha sido diseñada para satisfacer los requisitos más exigentes en cuanto a calidad, servicio, redundancia y modularidad, con el máximo nivel de integración en una sola placa. Flexibilidad y fiabilidad se han combinado con una amplia gama de opciones para ayudar a los diseñadores de sistemas a conseguir una solución óptima en cada aplicación.

El interfaz Q2 definido por el CCITT permite que el ETLO sea integrado con cualquier sistema estándar de gestión de red, asegurando el futuro de la familia ETLO frente a la evolución de los sistemas de supervisión. La supervisión del sistema,

el mantenimiento y la operación se ven facilitados por una presentación local de las alarmas y un terminal portátil (herramienta estándar para prueba de los equipos de transmisión de Alcatel), gobernado por menús, que facilita el intercambio de información entre el sistema y el usuario mediante una serie de mensajes de fácil interpretación.

Fernando Canal Cano nació en Madrid, España, en 1949. Se graduó ingeniero superior de telecomunicación en 1973, y cuatro años más tarde se graduó en ciencias de la información. Desde su incorporación a

Standard Eléctrica en 1973 como ingeniero de desarrollo de equipos de conmutación ha desempeñado diversos puestos en la ingeniería. Recientemente el Sr. Canal ha sido designado por Alcatel responsable de producto para los equipos de línea de fibra óptica de baja capacidad, dentro del grupo de productos de transmisión.

Fernando Fatuarte Torres nació en Sevilla, España, en 1948. Se graduó ingeniero superior de telecomunicación en 1970. En 1971 ingresó en Standard Eléctrica, donde ha trabajado como ingeniero de diseño de equipos analógicos de baja frecuencia y de multiplexación de orden superior. Desde 1983 se ha dedicado al desarrollo de sistemas de fibra óptica en Alemania y España. Actualmente el Sr. Fatuarte es responsable de proyecto para los equipos de línea de fibra óptica de baja capacidad de Alcatel.

Sistema de vigilancia en vídeo por fibra óptica para el metro de Milán

Los cables de fibras ópticas resultan idóneos para instalaciones en entornos adversos tales como los sistemas de trenes metropolitanos (metro) de las ciudades. De ahí que estos cables se utilizaran como columna vertebral del sistema de vigilancia en vídeo para la red de metro de Milán. En este sistema se transmiten señales de vídeo digitales con multiplexación en longitud de onda, combinando dos señales ópticas de longitudes de onda de 1300 nm y 1500 nm en una única fibra óptica.

P. Barzagli

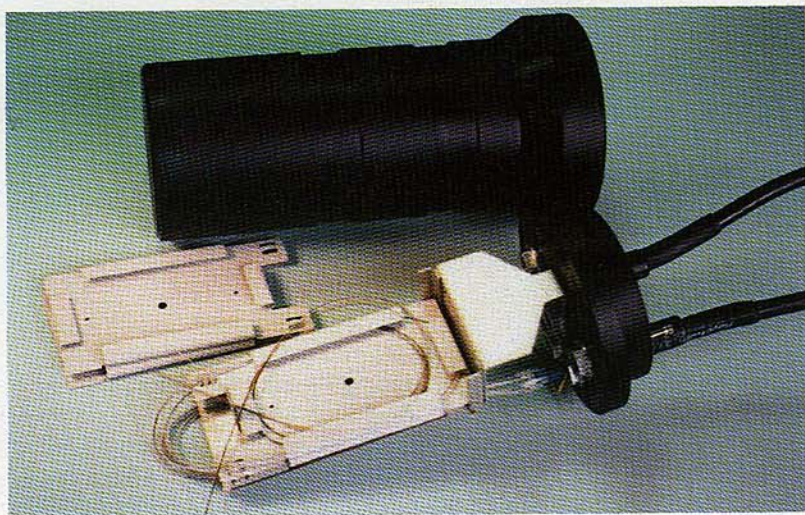
P. Covoni

Alcatel SIETTE, Florencia, Italia

Introducción

Alcatel SIETTE está participando en el desarrollo e instalación de una red de comunicaciones para una nueva línea de trenes metropolitanos en Milán. Es un sistema complejo, diseñado para automatizar las tareas de muchas de las personas empleadas en el metro, como el controlador de la seguridad de pasajeros y el personal de mantenimiento, ayudando así a reducir al mínimo el riesgo derivado de los errores humanos. En cuanto el sistema complete un breve periodo de funcionamiento, cierto número de operaciones (control remoto de equipos y movimientos de trenes, apertura y cierre de puertas de estaciones, vigilancia de los movimientos de los pasajeros al objeto de aumentar la seguridad, etc.) serán iniciadas por señales de control transmiti-

Caja de protección para los empalmes de fibra óptica.



das desde una sala centralizada. Este tipo de organización requiere la máxima fiabilidad del sistema de comunicaciones, el cual por lo tanto se duplica en el mayor grado posible. En consecuencia, si ocurre un fallo en la mitad del sistema, la otra mitad deberá establecer una conexión por sí misma. Se suministra un par de cables para cada servicio, tendidos a cada lado del túnel (denominados lado par y lado impar), con lo que se logra la máxima fiabilidad posible; los dispositivos transmisores envían las señales por ambos cables.

El enlace principal de transmisión para la red de comunicaciones utiliza cables de fibra óptica, dado que poseen características que los hacen especialmente adecuados para uso en entornos desfavorables, tales como los ferrocarriles subterráneos donde no hay mucho espacio disponible y sí fuertes interferencias electromagnéticas. El carácter dieléctrico intrínseco de las fibras ópticas y las grandes distancias que pueden salvar sin repetidores da una máxima fiabilidad a las redes de comunicación, mientras que su alta capacidad de transmisión permite intercambiar señales de datos, voz y vídeo con la tecnología más reciente. Dado que los incendios son un máximo peligro en sistemas subterráneos, todo el equipo instalado se construye con materiales refractarios al objeto de garantizar la seguridad de los pasajeros.

Sistema de comunicación

El sistema de comunicación se centra en una red de transmisión por fibras ópticas la cual transporta señales MIC para enlaces

de datos y voz, operaciones de control remoto, enlaces entre PABX, etc. Una red de cuatro PABX digitales proporciona una red telefónica privada capaz de establecer llamadas hacia y desde el sistema.

La comunicación por radio se utiliza para obtener enlaces de voz y datos entre personal de los trenes y otros que trabajan para el metro, permitiendo al conductor comunicarse con bomberos, policía y equipo humano de mantenimiento, cuando sea necesario. Las señales de radio se captan en antenas que están instaladas en los trenes y en otros equipos de radio móviles. Dentro de los túneles, las señales se radian por cables coaxiales con ranuras, los cuales se fijan sobre las paredes de los túneles,

mientras que en las áreas abiertas, tales como el depósito de trenes, se utilizan antenas omnidireccionales.

Una red a base de cables de pares de cobre conecta todos los relojes del sistema, los cuales se sincronizan mediante transmisión de un cierto número de impulsos a intervalos de tiempo regulares desde el reloj maestro.

Se utiliza un sistema de radiodifusión de sonido para transmitir mensajes a través de toda la red del metro. Desde la sala central de control del sistema de radiodifusión es posible comunicarse con cualquier lugar, otorgando prioridad a los mensajes que se originen localmente. Los mensajes desde dicha sala de control a las estaciones se transmiten por canales MIC del cable óptico.

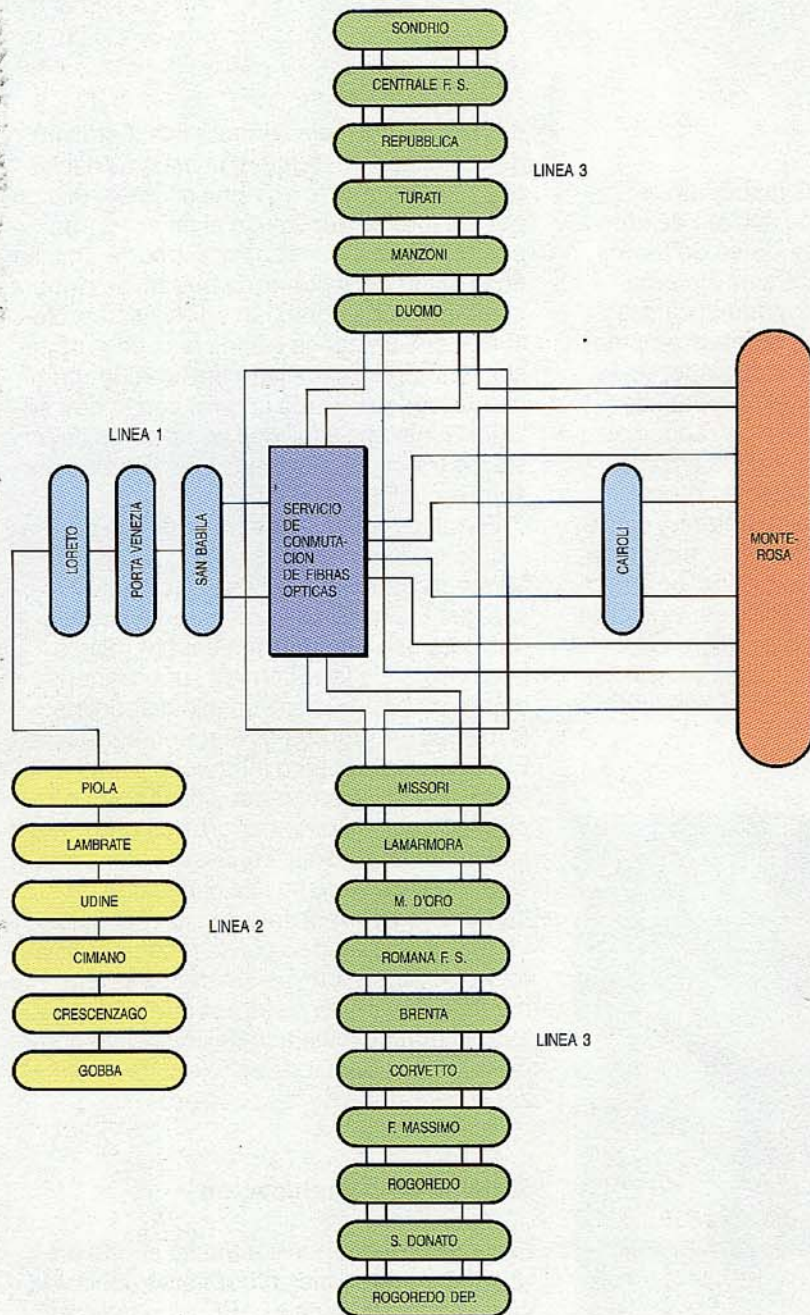
Una red de alarmas de andén permite a los pasajeros dar la alerta sobre cualquier situación de emergencia que pudiera producirse, para lo cual hay teléfonos en los andenes conectados a la oficina del jefe de estación local. Cuando un pasajero descuelga el teléfono, el jefe de estación oye un tono de alerta y puede entonces preguntar al pasajero qué es lo que sucede.

Un sistema de control informatizado comprueba que todo el equipo en la red de metro funciona adecuadamente y es capaz de identificar en tiempo real cualquier fallo. Cada dispositivo de comunicación incorpora contactos de relé que indican si ese equipo trabaja correctamente (contacto abierto) o si presenta un fallo (contacto cerrado); los estados de estos contactos se transmiten por cable de pares trenzados a un centro de control informatizado. En la sala de control central se visualiza la situación de fallo, con lo que el supervisor puede actuar en consecuencia.

Una red de televisión en circuito cerrado ayuda a observar todas las áreas a las que tienen acceso los pasajeros. Las señales de TV se transmiten por fibra óptica.

Varios departamentos de Alcatel SIETTE participan conjuntamente en el desarrollo e instalación de este sistema de comunicaciones. En particular, la división de fibra óptica y sistemas es responsable de instalar las fibras ópticas y del sistema de transmisión óptica de las señales de vídeo.

Figura 1
Red de cables de fibra óptica y esquema del sistema de ferrocarril subterráneo de Milán.



Instalación del cable óptico

La red de cables se representa en la figura 1. La sala central de control del sistema de comunicaciones está ubicada en un edificio cercano a la primera línea de metro (Monte-rosa). Por consiguiente, el tendido de los cables de fibra óptica afecta no sólo a la línea tercera sino también a las líneas pri-

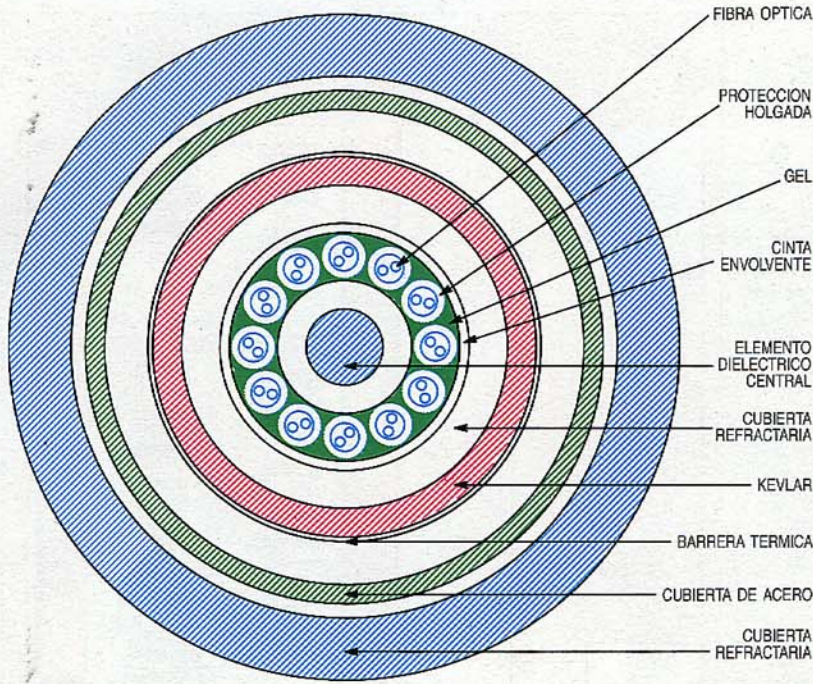


Figura 2
Sección transversal
de un cable de fibra
óptica.

mera y segunda. En total se instalarán más de 100 km de cable. El cable óptico escogido incorpora 24 fibras monomodo, tal y como se ilustra en la figura 2. Dos fibras se alojan en cada uno de los doce tubos que las protegen. El núcleo óptico del cable contiene grasa de silicona para que no penetre la humedad. Una cubierta corrugada de acero de 0,4 mm de espesor protege al cable contra la acción de los roedores. La cubierta externa de plástico es de material no inflamable. La figura 1 muestra que hay 14 secciones distintas de cable, identificadas por otros tantos símbolos que se imprimen en los cables a intervalos de 1 m de manera que puedan distinguirse con claridad, por ejemplo cuando por la misma conducción van varios cables. Se utilizan tramos de cable de fibra óptica entre los 2000 y los 2100 m. Las distancias entre estaciones son usualmente inferiores a los 1000 m, de manera que antes del tendido se cortan los cables en dos o tres secciones (en función de las distancias entre estaciones), con objeto de que sea mínima la cantidad de cable malgastada.

Tendido del cable óptico

Se utilizan diferentes técnicas de tendido para la tercera línea, y para la primera y segunda líneas del metro de Milán. Los cables para la tercera línea se tienden por conducciones de diámetro interno 120 mm, mientras que los de la primera y la segunda van por canalizaciones prefabricadas. En el caso de la tercera, se tienden dos cables por el interior de la conducción y en ambos lados del túnel, los cuales cables estiran

manualmente operarios que trabajan en cámaras separadas cerca de 25 m. Como esta línea no está todavía en servicio, las operaciones de tendido no son especialmente complicadas.

Por el contrario, las líneas primera y segunda están en servicio, de modo que el horario de trabajo para la instalación se limita a 4 horas durante la noche, cuando los trenes no funcionan. Además, al objeto de garantizar la seguridad de los pasajeros, todo el equipo de instalación debe ser restituído a su sitio al final de cada jornada de trabajo, y por ello cada tramo del cable se tiende en una sola jornada. La instalación consiste en tres procesos básicos. En primer lugar, se abren las canalizaciones prefabricadas. Después, el cable óptico se va tendiendo por las canalizaciones con ayuda de un carrito. En tercer lugar, las canalizaciones se vuelven a cerrar una vez tendido el cable por su interior. Si se necesita alojar más de un cable en la misma canalización, se tienden todos ellos al mismo tiempo.

Empalme de las fibras

A lo largo de la segunda y tercera líneas de la red del metro, el cable óptico no se empalma dado que los cables se terminan en cada una de las estaciones. Sin embargo, a lo largo de la primera línea se requieren algunos empalmes puesto que en ella el cable se termina solamente en las estaciones extremas de la misma, y en Cairoli. En consecuencia se requieren del orden de 60 empalmes de cable óptico.

La caja de empalme fue desarrollada por Alcatel SIETTE específicamente para esta aplicación, basándose en la experiencia adquirida durante muchas instalaciones de fibra óptica anteriores. La caja es de plástico resistente a la combustión y se diseña de manera que los dos cables entren y salgan por el mismo lado. En el interior de la caja hay tres bandejas en las que se apoyan las fibras empalmadas. Como los empalmes deben de realizarse en un ambiente lo más limpio posible, van encerrados en estuches especiales dentro de cajas de acero instaladas en los andenes de la red de metro; no se hace ningún empalme en las galerías de los túneles. Las fibras ópticas se empalman por fusión al arco, y luego se protege la zona del empalme reconstruyendo el recubrimiento primario de la fibra por el siguiente procedimiento:

- se coloca sobre la zona del empalme un tubo de teflón de diámetro interior 0,32 mm
- se inyecta resina dentro del tubo
- la resina se polimeriza utilizando una luz ultravioleta.

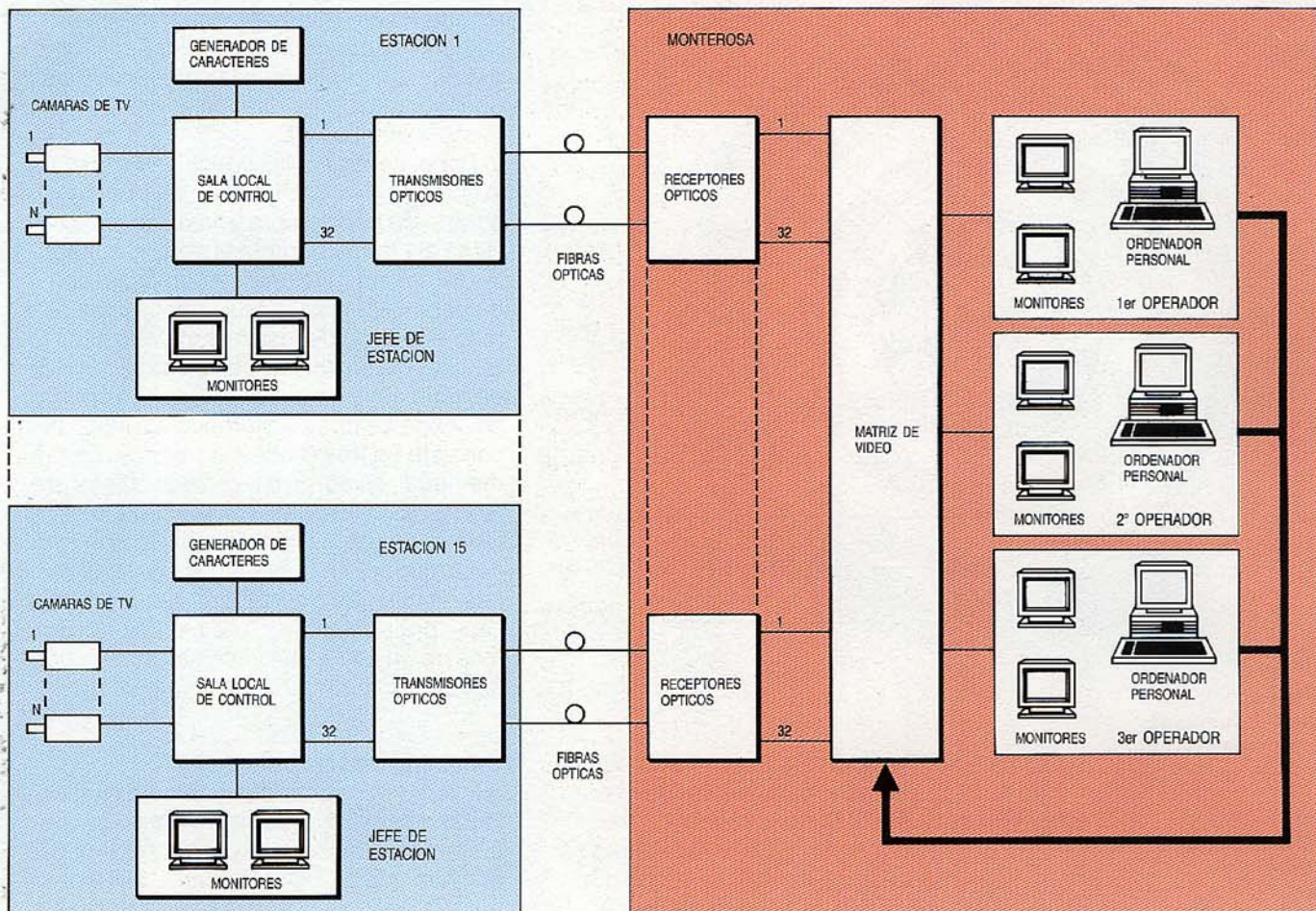


Figura 3
Diagrama de bloques del sistema de vigilancia en vídeo.

De este modo pueden situarse los empalmes en cualquier lugar de la bandeja sin fijarlos con abrazadera, dado que la protección es a la vez ligera y flexible.

Terminación de la fibra

Los cables ópticos se terminan en cada estación en las líneas segunda y tercera, pero solamente en tres estaciones (los dos extremos y Cairoli) en el caso de la primera línea. Alcatel SIETTE ha desarrollado un bastidor de columna (120 × 225 × 2500 mm) que se divide en cinco submódulos; cuatro de ellos contienen soportes capaces de sostener hasta 12 conectores de fibra para la conexión al equipo de comunicaciones. El quinto soporte, cuando es necesario, sostiene los bucles de las fibras "pasantes", es decir, las que no terminan en ese bastidor sino que lo atraviesan. Para terminar las fibras se utilizan conectores equipados con "tallos" (cortos trozos) de fibra. Los empalmes entre las fibras y los tallos de los conectores se realizan mediante la misma técnica utilizada para los empalmes a lo largo de la línea, y se colocan también en bandejas similares.

El equipo de transmisión utilizado en el sistema de videocomunicaciones requiere

conectores de altas prestaciones. No sólo debe ser baja la atenuación, sino que además los transmisores ópticos de señales de vídeo requieren una pérdida de retorno elevada. Para conseguirlo, se utilizan conectores ópticos de alta calidad, que presentan una atenuación media inferior a los 0,25 dB con una desviación típica de 0,1 dB, mientras que la pérdida media de retorno excede los 40 dB (la mínima garantizada es de 33 dB).

Sistema de vigilancia en vídeo

El objetivo de este sistema es el vigilar toda zona a la que tengan acceso los pasajeros, los movimientos de trenes, etcétera, con el fin de adoptar con rapidez las medidas adecuadas ante cualquier emergencia. La vigilancia en vídeo de las estaciones está controlada por:

- El jefe de cada una de las estaciones locales, responsable de controlar el entorno de su estación.
- Tres operadores en la sala central de control ubicada en Monterosa, la cual gobierna todas las estaciones.

- El oficial de policía en Porta Venezia, remoto con respecto a dicha sala central.

En cada estación las cámaras de TV se instalan en lugares estratégicos, tales como andenes, ascensores y escaleras mecánicas. Las cámaras, que utilizan dispositivos de acoplamiento de cargas como sensores, se conectan por cable coaxial a la sala central de control. Cada señal de vídeo recibida de las cámaras de TV pasa a través de un generador de caracteres de vídeo, que superpone a la imagen cierta información de texto (nombre de la estación, número del andén, etc.) con el fin de identificarla inequívocamente en la sala central de control. Las señales vídeo de las cámaras de TV situadas en los andenes se envían por cables coaxiales al jefe de la estación local. Unos transmisores ópticos multiplexan y transmiten por fibra óptica las señales de vídeo desde cada estación hasta la sala de control. Por razones de fiabilidad se utiliza un par de dispositivos transmisores, que transmiten por fibras ópticas tendidas a ambos lados del túnel. Normalmente en cada estación hay más cámaras que canales disponibles, de modo que solamente pueden transmitirse 28 imágenes, las cuales son seleccionadas por medio de señales remotas procedentes de Monterosa. Tanto el sistema "par" como el sistema "impar" prevén dos canales de reserva, con lo que en caso de fallo dos canales del sistema impar pueden transmitirse por el sistema par, y viceversa.

Las señales de vídeo se reciben y demultiplexan en receptores ópticos de vídeo en la sala de control. Después estas señales se envían (Fig. 3) hacia una matriz de vídeo con 700 entradas y 44 salidas, la cual está controlada por varios ordenadores personales (uno por cada operador) de tal manera que los operadores de la sala de control y el oficial de policía de Porta Venezia puedan escoger imágenes, de modo automático (el sistema repite cíclicamente imágenes seleccionadas) o manual. Cada operador puede elegir cualquier imagen procedente de las 15 estaciones que atiende el sistema, con independencia de las imágenes que escojan los demás operadores. Así, todos los operadores pueden visionar simultáneamente la misma imagen. La selección de la imagen está controlada por soporte lógico: en sus ordenadores personales los operadores ven en secuencia las páginas que indican las posiciones de la cámara en cada estación, y pueden escoger entre ellas. Dado que la estación de policía está a una distancia considerable de Monterosa, los seis canales elegidos por el policía se transmiten a Porta Venezia por fibra óptica monomodo.

Sistema de transmisión de vídeo

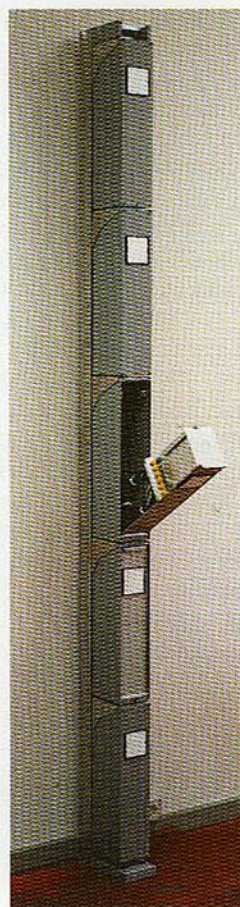
En la organización centralizada que adopta la tercera línea del metro, el sistema de vigilancia por vídeo juega un importante papel dado que muchas de las acciones de los operadores responderán a las imágenes que reciban de las 15 estaciones, y por tanto se requiere una máxima fiabilidad y calidad de la transmisión de vídeo.

Pueden transmitirse canales de vídeo por fibra óptica mediante técnicas analógicas o técnicas digitales. Con las analógicas, las señales de vídeo de banda base (normalmente hasta 16) se envían a un modulador, donde cada una de ellas modula una portadora de RF con frecuencia seleccionable entre los 50 y los 500 MHz. Estos canales se combinan luego y se convierten en una señal óptica por medio de un láser. Sin embargo, esta técnica tiene varios inconvenientes, entre ellos el ruido de intermodulación y la degradación progresiva de la señal, por lo que se requiere tecnología digital para obtener la mejor calidad de transmisión posible. La transmisión digital puede basarse en codecs que utilicen métodos de reducción redundantes para convertir una señal de vídeo de banda base en un tren digital de datos de 34 Mbit/s. Con multiplexores de 565 Mbit/s pueden transmitirse hasta 16 canales de vídeo. El principal inconveniente de esta opción es el coste del sistema de transmisión.

Alcatel STR ha desarrollado recientemente el OVID 4 CQ, un sistema de transmisión óptica (fibra única monomodo) de señales de vídeo digitales con capacidad de ocho canales de vídeo. Las señales analógicas compuestas de vídeo en banda base son digitalizadas, procesadas por medio de un algoritmo MIC diferencial híbrido y multiplexadas para obtener una trama serie de datos a 678 Mbit/s. Un diodo láser convierte esta señal eléctrica en señal óptica, la cual se transmite luego por la fibra. En el extremo receptor se realiza el proceso inverso, dando finalmente como salida las ocho señales de vídeo en banda base. Alcatel SIETTE decidió instalar el sistema de transmisión vídeo OVID 4 CQ porque ofrecía las prestaciones que requería el sistema de vigilancia de vídeo de la red de metro de Milán. Cada estación ha de transmitir 32 señales de vídeo hacia la sala central de control en Monterosa (Fig. 4). En particular, deben enviarse 16 canales (14 de vídeo + 2 de reserva) por una fibra óptica del cable tendido en el lado par de la galería (llamado sistema par), y 16 por una fibra del cable denominado impar.

Dado que cada unidad del OVID 4 sólo puede transmitir ocho canales de vídeo, se necesitan dos de ellas para cada uno de los sistemas impar y par, lo que totaliza cuatro

Bastidor de tipo columna para alojar las terminaciones de los cables.



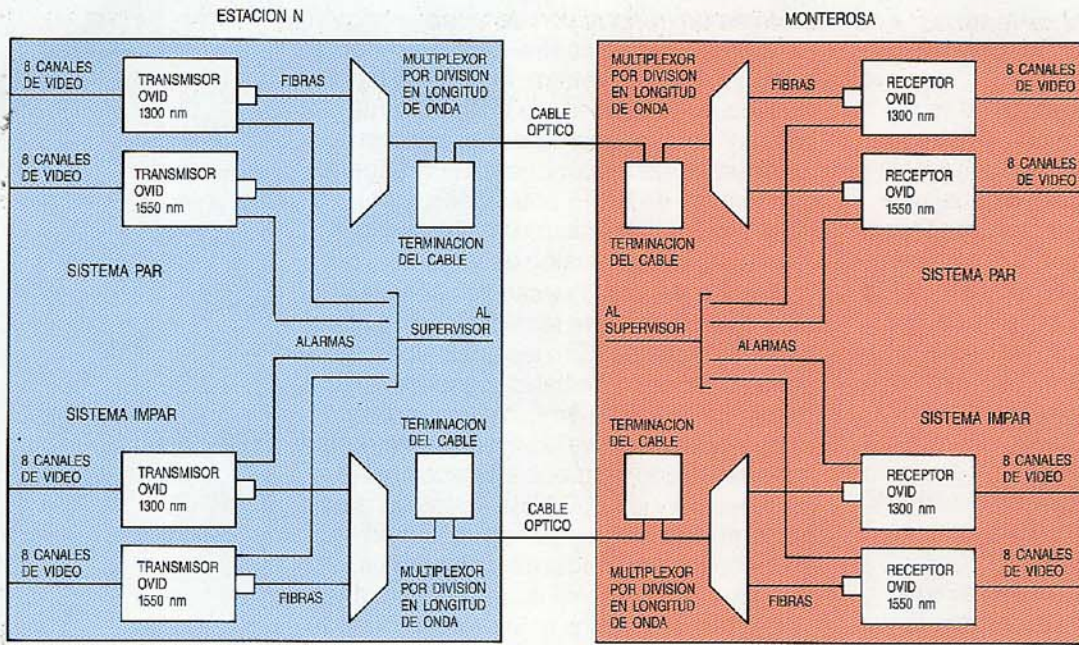


Figura 4 Diagrama de un enlace de vídeo por fibras ópticas entre una estación y la sala central de control en Monterosa.

unidades OVID 4 en cada bastidor de estación.

La multiplexación por división en longitud de onda se utiliza para combinar las señales ópticas procedentes de dos unidades OVID en una sola fibra. Por lo tanto cada sistema, impar y par, utiliza dos unidades OVID 4 equipadas con diodos láser que trabajan a 1300 nm y 1550 nm. En el lado transmisor, las dos longitudes de onda se combinan en un multiplexor en longitud de onda antes de ser enviadas por la fibra óptica al lado receptor, donde un demultiplexor en longitud de onda se encarga de separar las portadoras de 1300 nm y 1550 nm y enviarlas a sus respectivos receptores.

Para asegurar que el sistema de vídeo funcione correctamente, se eligieron multiplexores y demultiplexores en longitud de onda con valores de diafonía muy bajos y elevadas pérdidas de retorno. La baja diafonía es importante para evitar interferencias entre los sistemas de 1300 nm y de 1550 nm, mientras que las pérdidas de retorno altas garantizan un comportamiento estable de los láseres.

En cada sistema OVID 4, se utilizan relés de tres contactos para indicar situaciones de alarma. Los estados de estos contactos de relé se envían a un centro de supervisión en Monterosa, y se combinan para obtener una alarma de bastidores acumulativa, lo que facilita y acelera el mantenimiento.

Conclusiones

Se ha iniciado recientemente la implantación del sistema de comunicación de vídeo para la tercera línea del metro de Milán. Alcatel SIETTE ha aplicado su experiencia, adquirida durante varios años de dedicación a la instalación de numerosos tipos de sistemas de fibras ópticas, al desarrollo de técnicas que sean adecuadas al adverso entorno de los ferrocarriles subterráneos. Parte de este equipo se diseñó especialmente para esta aplicación. Se eligió un sistema de transmisión digital de señales de vídeo por ofrecer una serie de ventajas frente a los de técnica analógica. La multiplexación por división en longitud de onda se utiliza para combinar portadoras de 1300 nm y 1550 nm en una fibra óptica única, con lo que aumenta de forma efectiva la anchura de banda transmitida por la fibra.

Paolo Barzagli nació en Florencia, Italia, en 1962. Recibió un diploma de enseñanza superior en 1980. Después del servicio militar ingresó en Alcatel SIETTE, donde desde 1986 ha estado trabajando en la división de fibras ópticas y sistemas. El Sr. Barzagli se dedica actualmente a la instalación de sistemas de fibra óptica.

Paolo Covoni nació en 1960. Se graduó en ingeniería electrónica en 1989, presentando una tesis sobre una topología original de RAL de fibras ópticas. Estudió el comportamiento de una red de área local FDDI por métodos de simulación. El Sr. Covoni se incorporó seguidamente a la división de fibras ópticas y sistemas de Alcatel SIETTE, donde actualmente trabaja en sistemas de fibra óptica.

Red de área metropolitana experimental de fibra óptica para la Universidad de Florencia

El proyecto FIORE se ha puesto en práctica para adquirir experiencia en el desarrollo y uso de servicios telemáticos y videomáticos en un entorno operativo real. Se basa en una extensa red de área metropolitana de fibra óptica instalada en Florencia.

P. Boscolo
S. Renault
S. Susini

Alcatel SIETTE, Florencia, Italia

Introducción

El concepto de red de área metropolitana (MAN, metropolitan area network) ha surgido de la necesidad de ofrecer facilidades propias de RAL (red de área local) en una zona geográfica amplia, típicamente en un área urbana. La estructura de una MAN se asemeja a una RAL distribuida en la que deben conectarse los grupos de RAL dispersos por una zona urbana para que puedan intercambiar información. Además, una MAN puede integrar señales de voz, datos y vídeo en una sola red de alta velocidad, privada o alquilada.

La actividad oficial de normalización en MAN se centra en la norma IEEE 802.6 que tiene en desarrollo el comité del IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Esta norma, que debe regular la transmisión de datos, voz y vídeo a distancias comprendidas entre 5 y 50 km^{1,2}, utilizará enlaces de fibra óptica como arteria de alta velocidad. Sin embargo, muy probablemente tendrá que competir con las tecnologías basadas en líneas de cable coaxial para TV. En la actualidad, la gran diversidad de RAL ha hecho que no exista una definición de MAN completa o normalizada. En consecuencia, varios proveedores de servicios de telecomunicación públicos y privados están probando estructuras de MAN que satisfagan sus necesidades específicas en lo referente a topologías existentes, densidad de RAL, servicios y tarifas.

Ya desde comienzos de 1984, la necesidad de adquirir experiencia en el desarrollo, estudio y explotación de servicios telemáticos y videomáticos en un entorno real con una red de área metropolitana integrada de fibra óptica, condujo al proyecto FIORE que ahora se realiza en Florencia.

Red de área metropolitana de fibra óptica

Las pruebas de campo han demostrado que actualmente sólo se utilizan dos estructuras para la realización de MAN:

- red en árbol
- series de anillos.

La red en árbol es similar a una red de TV por cable (Fig. 1a) con un tronco básico (de fibra óptica o coaxial) que recorre todo el área urbana. Desde los nodos primarios, unos cables alimentadores coaxiales o de fibra óptica distribuyen servicios a nodos secundarios y de ahí a las instalaciones de RAL por ramas de fibra óptica, cable coaxial o pares de cobre. Los nodos primarios y secundarios serán activos o pasivos, según la filosofía de red elegida; así, podrán ser simples unidades pasivas de derivación o contener componentes activos (conmutadores, sintonizadores de TV por cable, proveedores de servicios). En términos generales, esta estructura guarda cierta semejanza con la red telefónica actual.

La estructura alternativa es una jerarquía de anillos interconectados por puentes³, representada en la figura 1b. La velocidad de transferencia de información en los anillos decrece al descender de nivel en la jerarquía; el nivel superior, el anillo básico que interconecta los anillos, requiere fibras ópticas.

Las ventajas de la topología en árbol son que optimiza la longitud del cable óptico de alimentación, es fiable y fácil de mantener y reconfigurar. Además, utiliza las mismas fibras del tronco básico y alimentadores para transportar independientemente diferentes servicios (datos, vídeo).

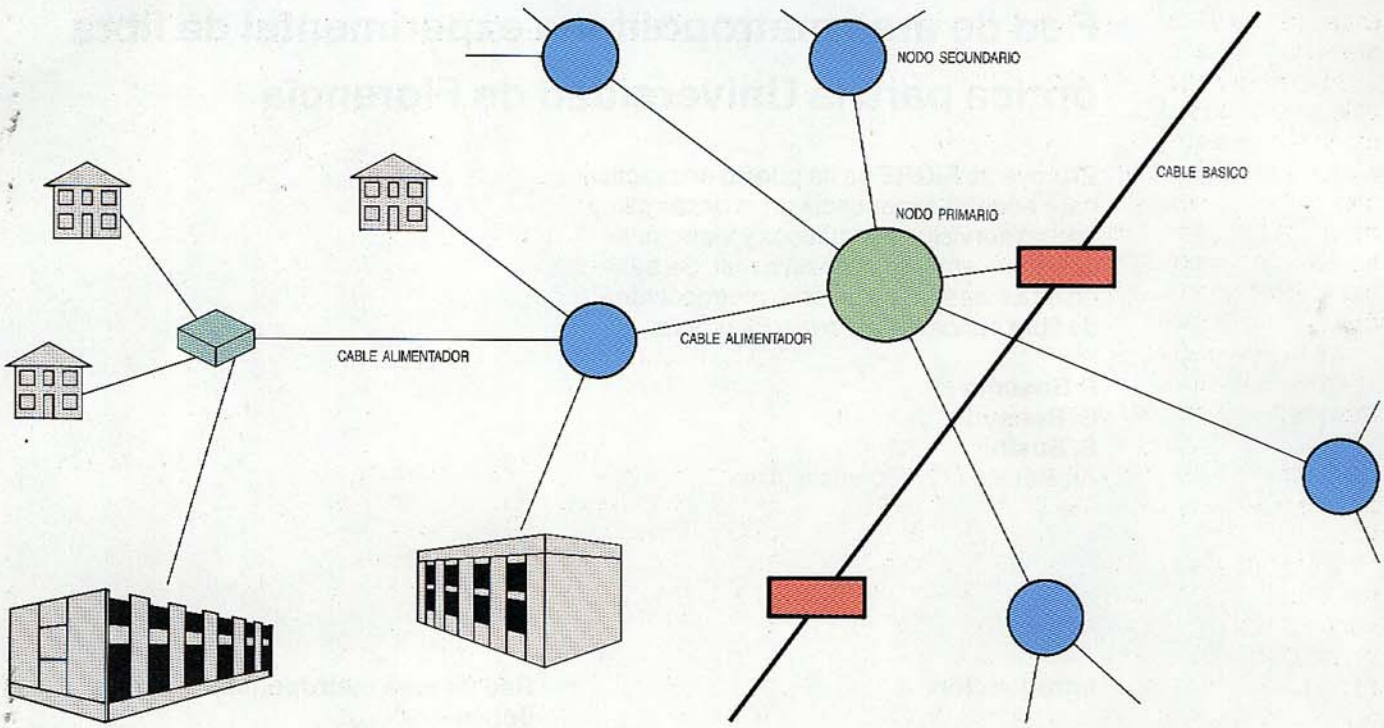
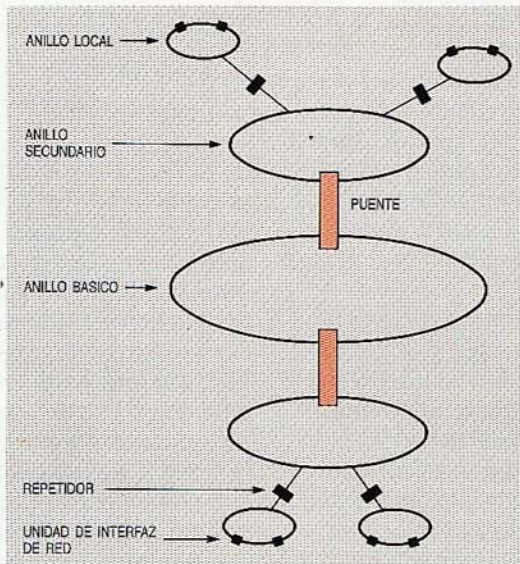


Figura 1
Estructuras posibles para una red de área metropolitana: red en árbol (arriba) y red jerárquica en anillo (abajo).



La estructura en anillo tiene como principal ventaja el tiempo fijo de entrega de datos, consecuencia del protocolo de acceso determinista. Sin embargo, no es especialmente fiable (característica inherente de un anillo), y sólo puede transmitir señales de vídeo digitalizadas.

Resumiendo todas las consideraciones y para centrar las posibles opciones de una estructura MAN, la figura 2 muestra una matriz de requisitos/servicios, mientras la figura 3 ilustra la evolución a largo plazo a través de diferentes niveles de integración. Es evidente que hay una frontera clara, marcada por el estado de la técnica, al pasar de imágenes fijas a imágenes en pleno

movimiento. En las fijas, la señal puede tratarse en forma digital, mientras que las señales de imágenes en movimiento requieren una vía especializada.

Existen productos que permiten transmitir por una sola fibra óptica varios canales de TV (de 4 a 12), mediante técnicas de transmisión analógica de bajo coste relativo. No obstante, las tendencias actuales de la técnica indican que las redes futuras transportarán en formato digital toda la información, con lo que, a largo plazo, la introducción masiva de técnicas de compresión de vídeo posibilitará también la transmisión de imágenes digitalizadas en pleno movimiento, optimizando el uso de los medios de transmisión existentes. La fuerte penetración de las MAN dependerá de que la realización sea rentable, comenzando por reducir el coste de los enlaces entre las RAL. Los equipos desarrollados para MAN afectarán a los costes y a la compatibilidad, tanto con la topología de red telefónica existente como con los nuevos servicios portadores de datos que ofrezcan las Administraciones.

Un próximo desafío al concepto de MAN puede ser la introducción de canales RDSI, que ciertamente ofrecen una solución económica. No obstante, su baja velocidad de datos será crucial en cuanto proliferen sistemas de almacenamiento óptico puesto que requieren canales de capacidad más alta. En consecuencia, las fibras ópticas se destacan como medio de transmisión estándar para las MAN, habida cuenta de su alta

capacidad y del continuo descenso de los precios.

En el caso de servicios de distribución de vídeo, la mejor solución inicialmente es utilizar una estructura de redes separadas para los servicios de vídeo y de datos, pero compartiendo la capacidad de transmisión de un medio único. Esto permite utilizar sistemas de transmisión de vídeo analógicos existentes, por cable de TV o fibra óptica.

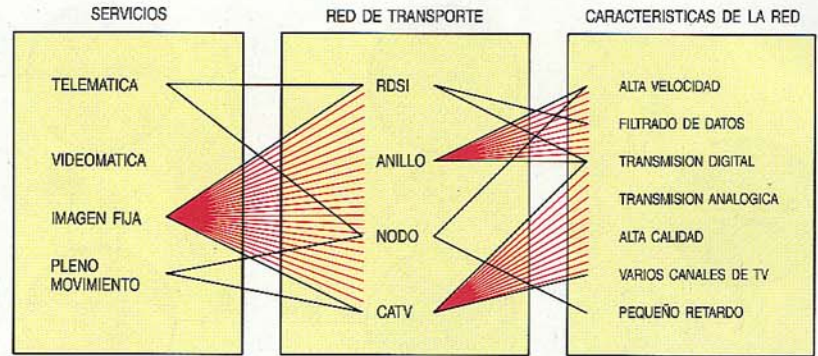


Figura 2
Matriz de requisitos/servicios para MAN.

Puentes y pasarelas para las MAN

Factor clave de la evolución es la disponibilidad de puentes y pasarelas para ofrecer interfaces entra las RAL y los medios de transmisión que proporcionen las Administraciones y operadores privados. En lo que concierne al usuario, una pasarela le debe proporcionar acceso transparente a los recursos de otras redes, lo que implica que la pasarela ha de tener en cuenta las diferencias en medios físicos de transmisión, protocolos y estructuras de direccionamiento⁴. Por otra parte, un puente ofrece un interfaz entre dos redes similares con estructura de direccionamiento y plan de encaminamiento comunes. En términos del modelo ISA de 7 capas, el puente proporciona enlaces de capa 2, mientras que la pasarela utiliza servicios proporcionados por las capas 3 a 7.

Se dispone de cuatro tipos de puentes, que ofrecen diferentes capacidades de transferencia y normas de transmisión:

- Ethernet de alta velocidad: puede proporcionar un puente en fibra óptica entre dos RAL Ethernet; trabaja a 10 Mbit/s sobre distancias de hasta 15 km.
- Ethernet de baja velocidad: opera a 2,048 Mbit/s y es compatible con las recomendaciones del CCITT para equipos terminales.

- FDDI (fibre distributed data interface): es una norma reciente para un anillo con paso de testigo en fibra óptica a 100 Mbit/s; las estaciones pueden conectarse por tramos de fibra de hasta 2 km, con una longitud máxima total de cable de 100 km. El uso de fibra óptica monomodo permite aumentar la distancia máxima entre dos nodos hasta 50 km.
- Fibra óptica para extensión de anillo: permite extender un anillo con paso de testigo hasta 2000 m.

Las pasarelas son más complejas que los puentes, pues también convierten el protocolo de encaminamiento. Hoy día, las más usuales son las utilizadas para servicios públicos y privados, como la conmutación pública de paquetes, el télex y el videotex. Cuando se emplean en conjunción con MAN y RAL, a menudo necesitan equipo y soporte lógico especializados.

El proyecto FIORE: primera prueba de campo de MAN en Italia

El proyecto FIORE, iniciado en 1984, es un desarrollo conjunto entre la Universidad de Florencia, Alcatel SIETTE y SIP, la Administración que presta los servicios públicos de

Figura 3
Procesos de evolución para MAN.



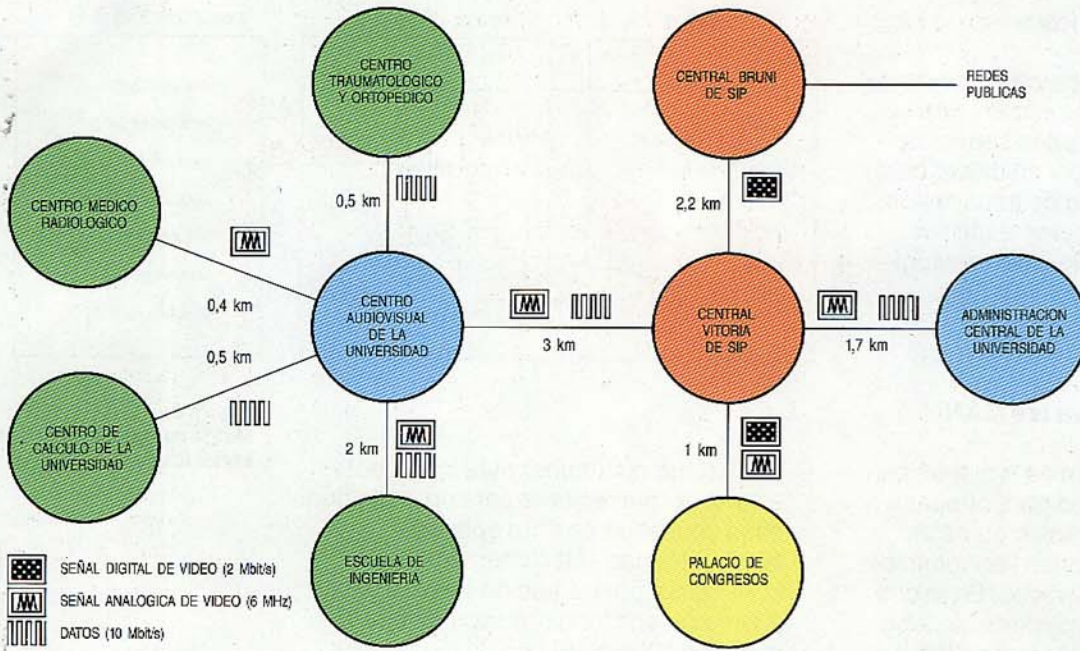


Figura 4
Topología de la MAN del proyecto FIORE.

telecomunicación en Italia⁵. Consiste en una MAN de fibra óptica que cubre el centro-norte de Florencia, proporcionando conexión a los institutos de la Universidad y a organizaciones privadas (Fig. 4). Tiene unos 10 km de diámetro.

El proyecto adoptó las siguientes premisas estratégicas:

- uso de fibra óptica multimodo como infraestructura de transmisión
- uso de tecnologías de transmisión existentes
- capacidad de transferencia máxima posible
- integración de servicios de voz, datos y vídeo
- cumplimiento de las normas internacionales cuando fuere factible.

Se prestó especial atención al desarrollo de herramientas de soporte lógico, para que cada usuario pudiera compartir todos los recursos del proyecto. Por tanto se utilizaron pasarelas para dar acceso a ITAPAC – la red italiana de conmutación de paquetes de datos – y a bases de datos internacionales, así como para acceder a servicios de vídeo internacionales.

La topología de red de FIORE es de tipo árbol con nodos pasivos. Los servicios videomáticos y telemáticos tienen sus propias redes superpuestas ya que utilizan fibras diferentes en los mismos cables básico y alimentadores.

Una matriz de conmutación óptica está instalada en el centro audiovisual, y a ella se conectan los abonados que requieren servicios de vídeo, mediante topología en estre-

lla. Este conmutador puede ser gobernado por los abonados directamente a través de un interfaz Ethernet.

Red de datos

La red de datos FIORE está formada por un grupo de subredes heterogéneas que difieren en tipo, medios y topología. El sistema principal es una RAL Ethernet que enlaza varios edificios de la Universidad distribuidos en un área metropolitana de unos 50 km². Se utilizan fibras ópticas y puentes remotos para interconectar los diversos edificios. Una subred de banda ancha basada en transmisión de TV por cable, permite transportar señales de voz, datos y vídeo sobre los mismos medios utilizando técnicas de multiplexación en frecuencia.

En la red pueden coexistir diferentes tipos de ordenadores personales y ordenadores principales, que pueden compartir

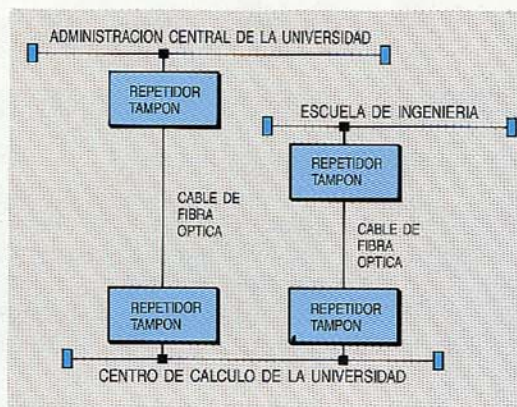


Figura 5
Topología de la red de datos: interconexión de las cuatro RAL de Ethernet en la MAN.

sus recursos. Se utilizan diversos equipos y programas para proporcionar conexiones entre estos distintos dispositivos de red, y ello se logra por la coexistencia de diferentes protocolos normalizados en la misma red física Ethernet. Cada estación de trabajo puede conectarse con cualquier ordenador principal de la red según un modo de terminal virtual que permite intercambiar datos en ambos sentidos. En particular, es posible conectar estaciones de trabajo directamente a ordenadores UNIX y utilizar su capacidad de proceso, organización del sistema de ficheros, gestión de impresoras, etc.

Los ordenadores UNIX que funcionan en modo servidor ejecutan un paquete de comunicaciones especializado que integra diferentes entornos operativos, tales como MS-DOS y UNIX. Cada abonado puede acceder al sistema de ficheros UNIX en modo transparente utilizando la sintaxis MS-DOS, que le proporciona un almacenamiento de masa mayor y más rápido que el disco fijo local⁶. A través de equipos de computación DEC y de ordenadores personales estándar (MS-DOS) se ofrecen facilidades semejantes.

Interconexión Ethernet a Ethernet

La MAN consta de cuatro segmentos Ethernet situados en la Administración Central, el Centro Audiovisual y el Centro de Cálculo de la Universidad, y en la Escuela de Ingeniería. Estos segmentos se interconectan mediante repetidores tampón, un transceptor óptico Ethernet y enlaces de fibra óptica en topología punto a punto, tal como muestra la figura 5.

El transceptor óptico convierte las señales Ethernet de formato eléctrico a óptico, haciendo posible el cambio de medio coaxial a fibra óptica. El repetidor tampón es un dispositivo de conexión entre redes independiente del protocolo, que almacena y reexpide paquetes de una red a otra. En conjunción con el transceptor óptico aumenta la separación permitida entre segmentos Ethernet sin degradar la velocidad de 10 Mbit/s, típica de esta red.

Para salvar diferentes distancias se utilizan dos tipos de transceptores ópticos que trabajan a distintas longitudes de onda:

- el transceptor LED de 830 nm, que opera en la primera ventana óptica, es adecuado para distancias de hasta 6 km
- el transceptor LED de 1300 nm, que funciona en la segunda ventana óptica, puede cubrir distancias de hasta 15 km.

Para el enlace de 6,7 km desde la Administración Central de la Universidad hasta la Escuela de Ingeniería, se necesitan trans-

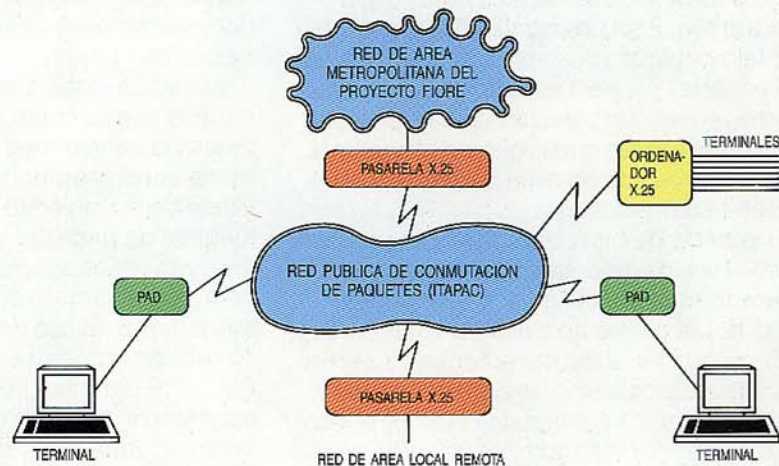
ceptores que operen en la segunda ventana. Sin embargo, entre el Centro de Cálculo de la Universidad y la Escuela de Ingeniería (2,5 km), y entre el Centro Audiovisual y la misma Escuela (2 km), son suficientes transceptores que trabajen en la primera ventana⁷.

La interconexión de los cuatro segmentos de esta manera permite considerar a la red entera como una sola RAL lógica.

Pasarela a ITAPAC

Merced a una pasarela X.25 instalada en el Centro de Cálculo de la Universidad todos los abonados conectados a la MAN pueden

Figura 6
Acceso a servicios nacionales e internacionales por la pasarela X.25 con ITAPAC. PAD – empaquetado/desempaquetado.



acceder a ITAPAC, que ofrece cobertura nacional y permite a los usuarios establecer conexión con otras redes de paquetes X.25. Esta pasarela amplía la gama de servicios disponibles en la MAN para incluir varios nuevos servicios nacionales e internacionales (Fig. 6):

- acceso desde terminales y ordenadores que forman parte del proyecto FIORE a recursos remotos (ordenadores principales, bases de datos, sistemas de almacenamiento masivo de imágenes, dispositivos periféricos)
- acceso desde ordenadores y terminales externos a recursos de la red FIORE
- conexiones con RAL Ethernet externas.

Acceso a la red internacional BITNET

La red FIORE permite a los usuarios que dispongan de terminales compatibles con VT100 u ordenadores personales, acceder a la red de datos internacional BITNET. Una de las características de esta red es la posibilidad de conexión con el ordenador más potente de Italia (el Cray 1 del Centro de

Cálculo de la Universidad para el nordeste de Italia en Bolonia). Además proporciona acceso a diversas redes especializadas del extranjero.

El acceso a BITNET se obtiene mediante conexión con el Instituto de Documentación Jurídica de Florencia a través del Centro de Cálculo de aquella Universidad, y de allí al CNUCE (Centro de Cálculo de la Universidad de Pisa), que es un nodo BITNET.

Experiencias y servicios telemáticos

La red de datos FIORE pone diversos servicios a disposición de los usuarios. Además de la compartición de ficheros e impresoras y del correo electrónico, hay una unidad de disco óptico (1 G-octeto por cara) WORM (una escritura, muchas lecturas) situada en la Escuela de Ingeniería, que está conectada a la red. Esta unidad se utiliza fundamentalmente para dos aplicaciones: archivo de imágenes para el Laboratorio de Proceso de Imágenes y recolección de datos de una serie de sensores que registran el nivel del agua del río Arno con el fin de predecir y prevenir inundaciones.

El servicio de biblioteca de la Escuela de Ingeniería está automatizado gracias a una conexión por fibra óptica con el ordenador principal del centro de cálculo. A través de los servicios de la red otros centros pueden utilizar servicios administrativos que presta la Administración Central de la Universidad.

Se están acometiendo interesantes estudios en relación con el control de la red de vídeo por medio de una matriz de conmutación óptica situada en el centro audiovisual. Esta matriz óptica está controlada por un canal RS232C conectado a un puerto servidor de terminales; cada usuario de la red de datos puede cambiar a distancia el programa de televisión en su terminal de vídeo conmutando las fibras de la matriz a la configuración deseada por medio de un paquete de soporte lógico especializado.

Las entradas de vídeo a la matriz óptica están constituidas por un conjunto de magnetoscopios y un videodisco, que además está controlado por un puerto servidor de terminales. La selección y transmisión de imágenes almacenadas en videodisco (operaciones quirúrgicas, conferencias universitarias, experimentos científicos) es otro servicio que ofrece la MAN. Se han planificado nuevos desarrollos para crear y gestionar una base de datos de imágenes, con la idea de digitalizar imágenes de resonancia magnética nuclear generadas en el Centro de Radiología y almacenar todos los datos en un disco óptico WORM. El soporte lógico de gestión de la base de datos permitirá a las estaciones de trabajo autorizadas la búsqueda y visualización de estas imágenes.

Red de vídeo

La red de vídeo FIORE está diseñada para proporcionar y distribuir servicios de vídeo en un entorno metropolitano. Entre ellos se incluyen la distribución y el acceso al servicio público de videoconferencia, los servicios educativos por vídeo y la consulta a expertos distantes⁵.

El equipo de transmisión óptica OVID de Alcatel STR es la base de esta red. Es capaz de transmitir una señal de vídeo de alta calidad junto con dos señales de audio de banda ancha o una señal de datos a 2 Mbit/s según G.703 del CCITT, a distancias de hasta 26 km en fibra multimodo y hasta 34 km en fibra monomodo, con una relación señal/ruido mejor que 65 dBW. Se utiliza transmisión analógica ya que ofrece un buen compromiso entre coste y prestaciones.

La red de vídeo tiene una estructura punto a punto, como indica la figura 7; todas las conexiones se reúnen en un centro de servicios situado en el Centro Audiovisual de la Universidad. Se utiliza una longitud de onda óptica de 880 nm, y se incluyen varios acopladores ópticos pasivos para que el número de transmisores ópticos sea mínimo. El uso de transmisores que operen en la primera ventana óptica (880 nm) permitirá potenciar las redes mediante instalación de equipo que trabaje en la segunda ventana (1300 nm) con las mismas fibras, utilizando dispositivos pasivos de multiplexación por división en longitud de onda.

Los usuarios pueden optar por dos tipos de servicio de videoconferencia: uno con interlocutores remotos utilizando un codec de vídeo normalizado Cost 211 el cual, unido a las técnicas de reducción de redundancia, transforma señales de vídeo en un tren de bits de 2 Mbit/s. El otro servicio, adecuado para conferencias locales, ofrece un ancho de banda completo de 6 MHz.

Esta estructura de red de vídeo es interesante por diversas razones:

- varios usuarios pueden compartir recursos valiosos como el codec vídeo
- pueden establecerse videoconferencias desde cualquier localidad de usuario conectada a la subred de fibra óptica, contribuyendo así a los objetivos de eficiencia y ahorro de tiempo que justifican este servicio
- la calidad es excelente ya que todas las conexiones a los usuarios y a la central de conmutación del codec utilizan fibras ópticas.

El Centro Audiovisual de la Universidad de Florencia, que actúa como un verdadero

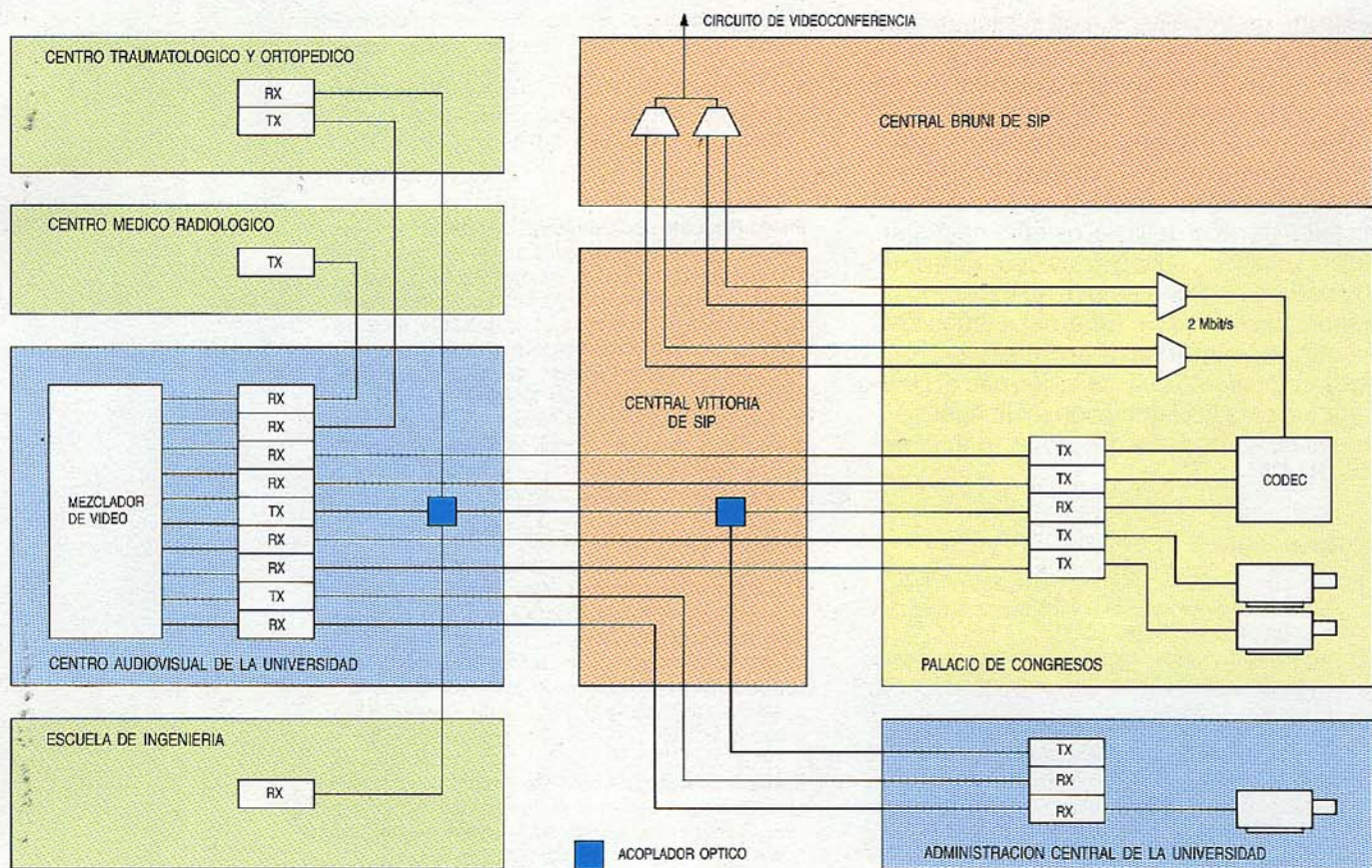


Figura 7
Sección videomática de la red FIORE.
RX - receptor
TX - transmisor.

centro de servicios, es el elemento clave del subsistema de vídeo. Posee un centro de TV que es capaz de conmutar señales de vídeo y distribuirlas a los usuarios sin modificar el nivel de calidad profesional, para operaciones tales como grabación en vivo o transmisión de programas grabados. En consecuencia, por la red FIORE se puede prestar un servicio de educación a distancia que comprenda:

- grabación remota de lecciones, seminarios y reuniones
- distribución de programas grabados, con la posibilidad, en un futuro próximo, de que los enseñantes incluyan en sus clases películas en videocintas.

Es evidente que esta estructura puede aplicarse también a la distribución de programas de vídeo con finalidad comercial, utilizando la misma configuración de red y de centro de servicios, que recoge peticiones y realiza la conmutación de vídeo.

Así, pues, diferentes tipos de usuarios que requieran diversos servicios de calidad variable pueden utilizar una red similar. Sin embargo, el atender estos requisitos con buen rendimiento económico exigirá una integración mayor de señales de audio, vídeo y datos. En este campo, se está realizando una experiencia sobre la red de vídeo para estudiar los siguientes aspectos:

- conmutación óptica
- gestión de bases de datos de imágenes
- distribución de servicios de banda ancha
- interfaces con servicios telemáticos.

Una solución inicial al problema de la conmutación en banda ancha ha sido la instalación de una matriz capaz de conmutar directamente señales ópticas, eliminando la necesidad de conversión a etapas eléctricas intermedias. Esta matriz dispone de 35 canales y permite conmutar 17 conexiones al mismo tiempo sin bloqueo. La conmutación se lleva a cabo utilizando un elemento piezoeléctrico para doblar físicamente las fibras. La pérdida de inserción es de 4 dB y el tiempo de conmutación menor que 0,5 s.

Conclusiones

La integración de diversos servicios de banda ancha requiere superar una serie de problemas técnicos. En concreto, hay que encontrar soluciones tecnológicas y topológicas para optimizar el número de fibras y dispositivos sin sacrificar la flexibilidad en cuanto a conexiones y servicios.

La puesta en práctica del proyecto FIORE ha demostrado que es posible crear, en un

entorno metropolitano, una infraestructura que ofrezca servicios avanzados a un gran número de usuarios heterogéneos, de una manera económica y con ventajas claras respecto a la disponibilidad de servicios.

La primera fase del proyecto FIORE terminó a finales de 1987. Se están planificando nuevos desarrollos que mejorarán los resultados conseguidos durante la mencionada fase. Por ejemplo, se está preparando una extensión Ethernet a todos los centros administrativos universitarios, y está en proyecto una conexión con el centro médico para la distribución de imágenes médicas como parte del proyecto Telemed del RACE.

Referencias

- 1 R. W. Klessig: Overview of Metropolitan Area Networks: *IEEE Communications Magazine*, enero 1986, volumen 24, págs. 9-15.
- 2 Meeting of the Long Range Communication Access Method Subgroup of IEEE 802: *Minutes*, 5 febrero 1982.
- 3 D. T. W. Sze: A Metropolitan Area Network: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1985, volumen SAC-3, págs. 815-824.
- 4 B. Hutchinson: Gateways to the Future: *Communications International*, noviembre 1984, págs. 28-31.
- 5 FIORE Project: *SIP (Compañía nacional explotadora de telecomunicación en Italia)*, noviembre 1986.
- 6 S. Susini: Performance Evaluation of Ethernet Through Simulation Based on the Selection/Resolu-

tion Model: *Proceedings of International Conference on Digital Signal Processing*, Florencia, septiembre 1987.

- 7 W. Stallings: One Way to Get a Close Estimate of a Data Link's Efficiency: *Data Communication*, octubre 1986, págs. 229-241.

Paolo Boscolo nació en 1960. Se graduó ingeniero electrónico por la Universidad de Florencia en 1986. Durante su estancia en la Universidad estudió una pasarela entre redes X.25 y un microordenador utilizando el sistema operativo Unix System V. De 1986 a 1987 estuvo involucrado en la investigación sobre métodos de análisis y síntesis de protocolos de comunicación en la referida Universidad. En 1988, el Sr. Boscolo se incorporó a Alcatel SIETTE, donde trabaja en el desarrollo de protocolos de comunicaciones para RAL dentro del grupo de soporte lógico de la división de sistemas y fibra óptica.

Sergio Renault nació en 1959. Se graduó ingeniero electrónico por la Universidad de Florencia en 1985, y luego se dedicó durante un año a investigar sobre reconstrucción de imágenes 3D dentro del laboratorio de comunicaciones digitales del departamento de ingeniería electrónica de la Universidad. Desde entonces el Sr. Renault trabaja en el grupo de RAL de la división de sistemas y fibra óptica de Alcatel SIETTE, pasando a dirigirlo en la segunda mitad de 1988.

Stefano Susini nació en 1959. Recibió la titulación en ingeniería electrónica por la Universidad de Florencia en 1987. Su tesis de graduación fue un estudio del comportamiento de RAL mediante simulación. El Sr. Susini se incorporó luego a Alcatel SIETTE, donde actualmente estudia el proceso de imagen dentro del grupo de soporte lógico de la división de sistemas y fibra óptica.

Instalación experimental de un cable de tierra de fibra óptica en líneas de alta tensión

A menudo se utilizan fibras ópticas en las líneas de transmisión aéreas debido a su insensibilidad a las interferencias electromagnéticas. Los cables de tierra ópticos tendidos a lo largo de las líneas de energía podrían ser particularmente útiles para constituir una red de transmisión de datos de alta velocidad. La instalación experimental de un cable de tierra de ese tipo ha demostrado la factibilidad de establecer un enlace óptico sobre tal soporte utilizando técnicas estándar de tendido y empalmes.

P. Laurenzi

G. Maraviglia

Alcatel SIETTE, Florencia, Italia

Introducción

Los cables de tierra se instalan en las redes de distribución de energía de alta tensión para proteger de los rayos a los conductores y evitar descargas accidentales entre conductores y tierra. Dichos cables se fijan mecánicamente en la parte superior de las torres por encima de los conductores de energía, y su misión es la de proporcionar un camino de baja impedancia a todas las

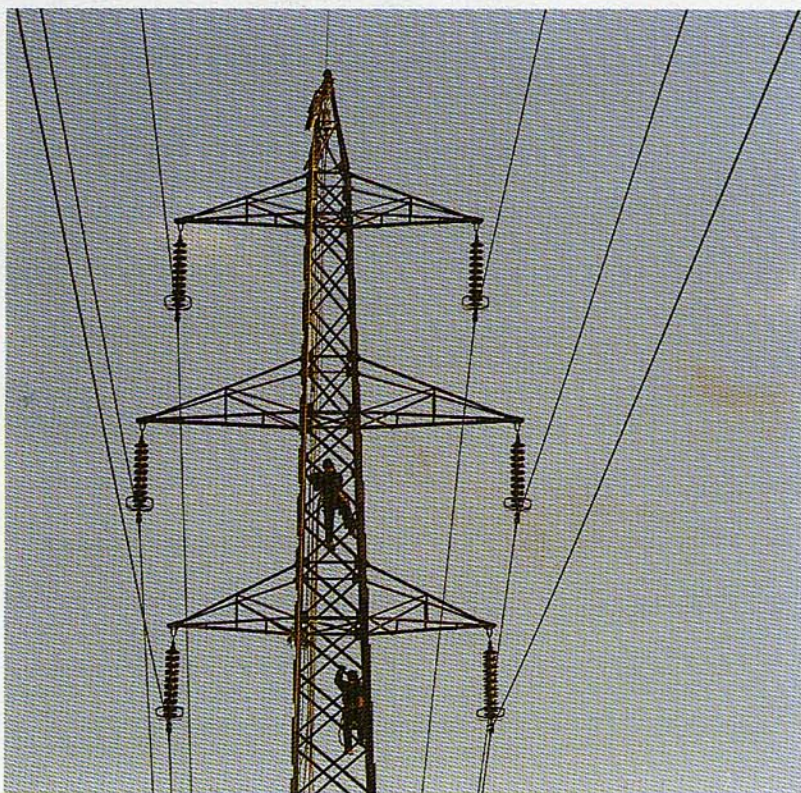
corrientes eléctricas indeseadas, y por consiguiente se conectan a tierra en cada una de las torres. Entre las características más importantes de un cable de tierra figura la corriente de cortocircuito que puede resistir sin deterioro, por lo que el modo de mejorar su comportamiento es aumentar el diámetro del conductor y utilizar materiales de menor resistividad. Sin embargo, la facilidad en la instalación impone un límite superior al diámetro del conductor del cable de tierra.

Puesto que todas las redes de distribución de energía requieren un cable de tierra, sería factible incluir fibras ópticas en tales cables y aprovecharlos para establecer una red de telecomunicación de larga distancia y alta velocidad a un coste muy económico (esencialmente el de añadir las fibras ópticas al cable de tierra).

Alcatel SIETTE ha instalado un cable óptico de tierra (OPGW, optical ground wire) experimental, que incorpora cuatro fibras ópticas monomodo. El desarrollo de este OPGW, eléctrica y mecánicamente equivalente a un cable de tierra convencional, se llevó a cabo en colaboración con ENEL, la entidad eléctrica oficial italiana, como parte del proyecto TESEO que estudia la factibilidad y la fiabilidad de instalar varios tipos de cable óptico aéreo en las redes de distribución de energía. Transcurrido el periodo de prueba, ENEL utilizará los resultados para evaluar el uso de cables de tierra ópticos.

Se eligió para este proyecto a Alcatel SIETTE por su considerable experiencia en la realización de líneas de energía de baja, media y alta tensión, así como en instalación de sistemas de fibra óptica.

Cable OPGW instalado en la parte superior de la torre.



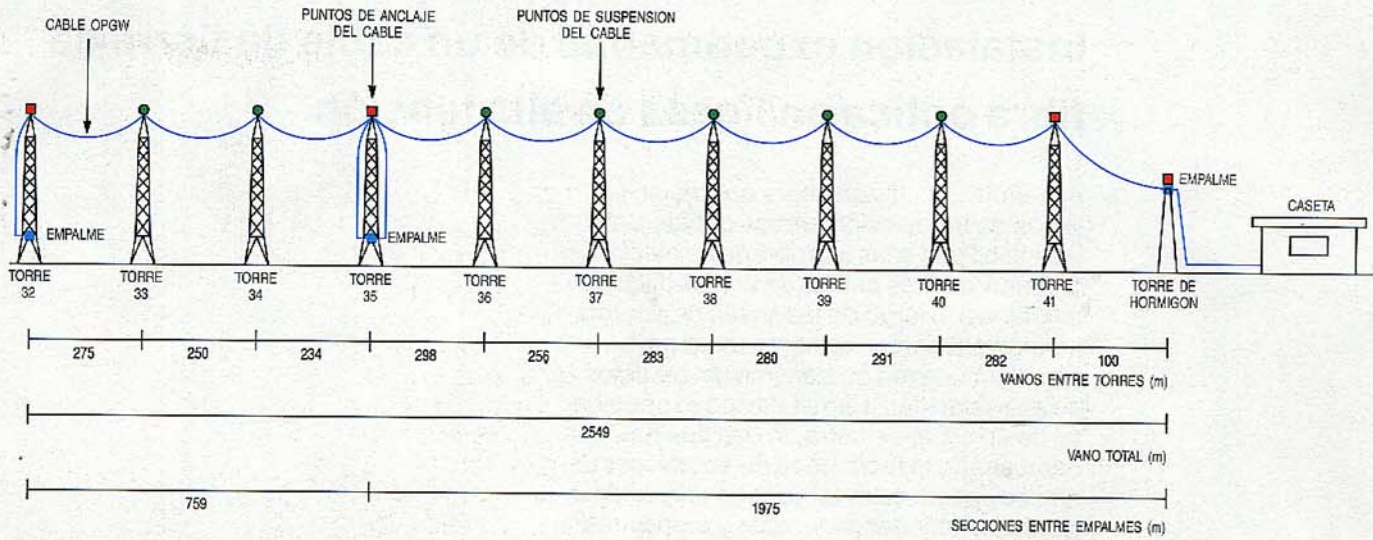


Figura 1
Principales características de la línea de energía de 132 kV Fontanelle-Collialti.

La instalación experimental, mostrada en la figura 1, se realizó a lo largo de una línea fuera de servicio de 132 kV denominada Fontanelle-Collialti, cerca de Florencia. El tendido se llevó a cabo en la sección comprendida entre las torres 41 y 32, con un empalme del cable OPGW en la torre 35. Las tres torres mencionadas se utilizaron como puntos de anclaje. Una vez tendido el cable OPGW, se consiguió un enlace óptico de longitud 11,731 km empalmado las fibras en bucle en la torre 32.

Cuatro fueron los objetivos principales del proyecto:

- Estudio de los problemas de instalación relativos al uso de OPGW en nuevas líneas de energía.
- Pruebas del OPGW después del tendido para asegurar que su comportamiento óptico no se degrada por los esfuerzos de la instalación.

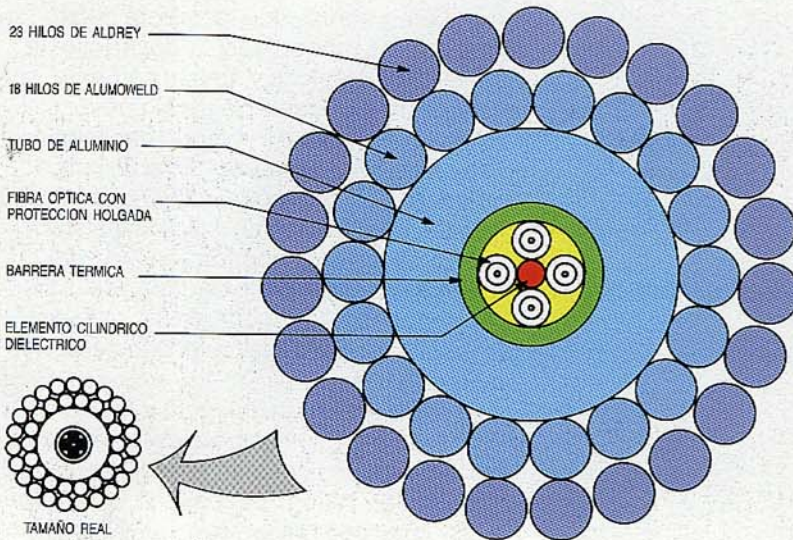
- Comprobar la idoneidad de los instrumentos de medida normalizados.
- Observar el enlace óptico para identificar cualquier correlación entre las variaciones en las características de la fibra y de los empalmes y las condiciones meteorológicas.

Estructura del cable OPGW

La figura 2 muestra la estructura del OPGW, y sus principales características se resumen en la tabla 1. El cable contiene cuatro fibras ópticas monomodo cuyas características cumplen la Recomendación G.652 del CCITT. Cada fibra tiene un primer revestimiento de acrilato y una segunda protección del tipo de tubo holgado, resultando un diámetro exterior de 2 mm.

Los cuatro tubos están enrollados alrededor de un elemento central dieléctrico en forma de cilindro. Para rellenar los espacios se utiliza un gel de petróleo, que ayuda a evitar la entrada de agua y amortigua el impacto de las fibras con las paredes de los tubos. Se consigue una barrera térmica mediante una cinta enrollada alrededor de esta estructura fibra/núcleo. La protección térmica es importante porque el OPGW debe funcionar sobre un amplio margen de temperatura (típicamente de -20 a +50°C). El núcleo óptico del OPGW está alojado en un tubo de aluminio de grosor 2,5 mm, que proporciona la necesaria protección mecánica. Esta estructura permite depositar las fibras con holgura en trayectoria helicoidal, de manera que no sufran esfuerzos provocados por las tracciones del cable durante su tendido. Alrededor del tubo de aluminio se coloca una doble cubierta metálica cilíndrica, formada por capas concéntricas de 18 hilos de Alumo-

Figura 2
Estructura del cable OPGW.



weld y 23 hilos de Aldrey. La protección secundaria contra la corrosión y la entrada de agua se consigue rellenando los huecos libres dentro del tubo de aluminio y los intersticios entre los hilos de armadura con una grasa de alto punto de fusión.

Tendido del cable OPGW

El cable OPGW fue tendido en dos secciones. La primera sección de 2200 m se tendió entre las torres 41 y 35, distantes unos 1690 m. La segunda, de menor longitud (1105 m), se instaló entre los postes 35 y 32, que aproximadamente distan 760 m.

Se utilizó la misma técnica de tendido tensado por cuerda que para las líneas de energía (Fig. 3). El cable OPGW pasa sobre poleas y se mantiene bajo una tensión constante utilizando un tensor hidráulico y un tractor hidrostático, respectivamente situados en cada extremo de la sección. Esta técnica tiene como mérito el conseguir una tensión relativamente baja y una catenaria controlada, evitando así que el cable llegue a tocar un conductor más bajo o algún obstáculo. El tendido para la instalación experimental se hizo en las fases siguientes:

- Fijación de las poleas en lo alto de las torres. Para evitar esfuerzos tangenciales que dañarían el cable OPGW por aplastamiento del tubo de aluminio se utilizó una polea de 800 mm de diámetro.
- Tendido de un cable de amarre, de acero, para tensar el cable OPGW siguiendo un método de tendido libre, en el cual el cable de amarre se hace pasar a mano por las poleas y se tensa mediante un tractor sin control de tensión.
- Colocación del tensor y de dos bobinas de cable OPGW en las proximidades de la torre 41. El tractor principal se colocó en la torre 32, con un tractor secundario en la torre 35 a fin de poder hacer descender los dos extremos del cable para hacer empalmes.

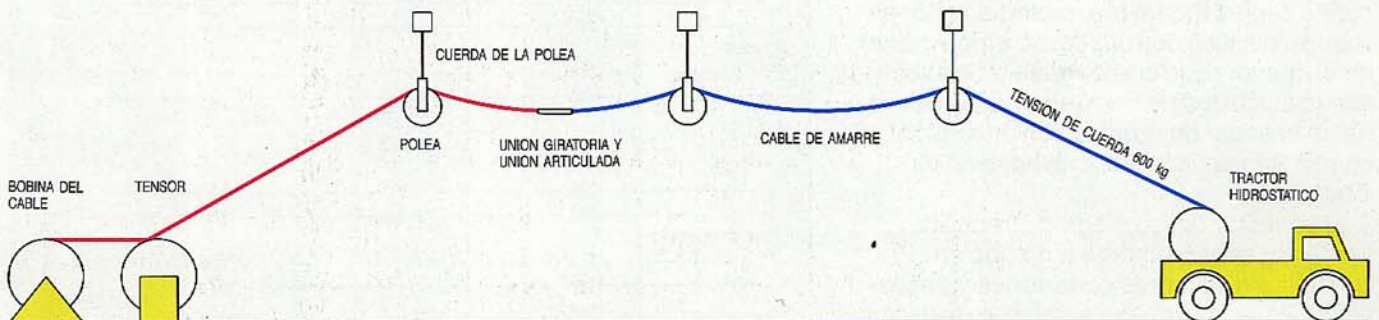
Tabla 1 – Principales características del cable OPGW

<i>Estructura</i>	
Primera capa	18 x 2 mm de Alumoweld
Segunda capa	23 x 2 mm de Aldrey
<i>Tubo de protección de la fibra óptica</i>	
Material	Aluminio
Diámetro exterior	9,8 mm
Espesor	2,5 mm
Diámetro exterior del cable	17,9 mm
Peso	0,755 kg/m
Tensión de ruptura	9300 kg
Módulo de tensión	8200 kg/mm ²
Corriente de cortocircuito máxima (500 ms)	20 kA
<i>Fibras ópticas</i>	
Número y tipo	4 monomodo
Atenuación	< 0,6 dB/km
Dispersión	< 5 ps/nm.km

- Conexión del cable OPGW y el cable de amarre utilizando una unión por engranaje articulado y una unión giratoria. Para conectar las dos secciones del cable se utilizó una doble unión articulada.
- Tensado del cable OPGW: la tensión de la cuerda se fijó a 600 kg y se controló mediante tensores hidráulicos de presión calibrada. Esta fase se interrumpió brevemente para poder realizar la doble unión entre la sección de cable OPGW tensada y la otra sección.
- Cuando la doble unión estaba justamente a 50 m de la torre 35, se detuvo el tensado, y se sujetó al OPGW con una abrazadera un segundo cable de amarre. Luego se volvió a tensar el OPGW y el tendido prosiguió otros 100 m hasta una nueva parada.

El cable OPGW se sujetó con una abrazadera en el extremo superior de la torre en el lado correspondiente al tensor. El tensado

Figura 3
Método de tensión por cuerda.



se completó invirtiendo el tractor principal y tirando con el secundario mediante el segundo cable de amarre. Gracias a ello los dos cables unidos se pudieron bajar a tierra para empalmar las fibras.

Después se fijó el OPGW transitoriamente a los extremos superiores de las torres, y la tensión se reguló a 1011 kg para 15°C. Se quitaron luego las poleas y el cable quedó permanentemente sujeto utilizando abrazaderas provistas de dispositivos antivibratorios, que se cierran mediante llave dinamométrica. Finalmente las abrazaderas de anclaje se ensamblaron en las torres 32, 35 y 41.

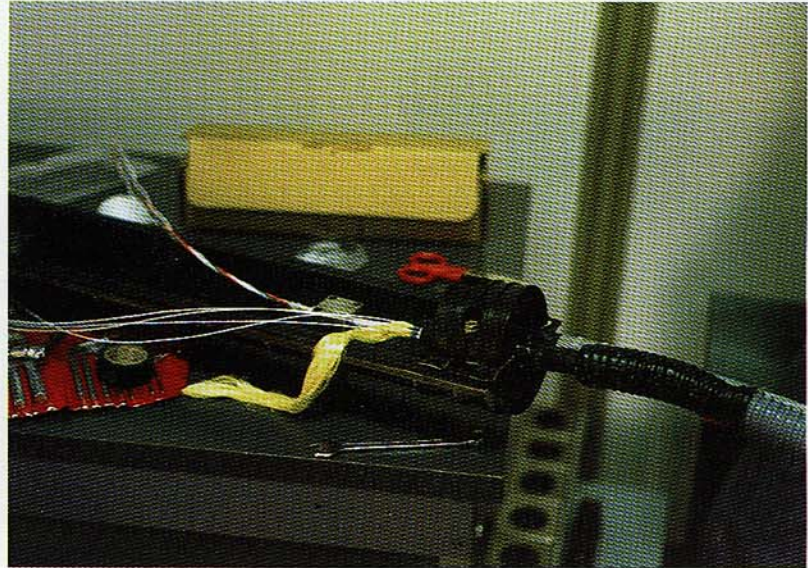
El tendido del cable OPGW exigió cerca de 100 horas de trabajo con ocho personas. Se probaron en el laboratorio varias abrazaderas de anclaje y suspensión comerciales para determinar si eran o no adecuadas para el OPGW. La colaboración de Alcatel SIETTE, ENEL y varios fabricantes de abrazaderas cristalizó en la elección de un conjunto de abrazaderas idóneo.

Topología del enlace óptico

La figura 4 muestra la topología del enlace óptico, incluyendo las terminaciones y uniones del cable OPGW. Como el principal objetivo del proyecto era estudiar la fiabilidad de la red óptica, es necesario poder comprobar los diversos parámetros ópticos, tales como atenuación de la fibra y pérdidas de los empalmes, en las cuatro fibras. Por conveniencia, ello debe hacerse desde una sola caseta de medición, situada en un extremo del enlace, para lo cual se realizaron dos empalmes en bucle entre las fibras del cable OPGW en la torre 32. Otra ventaja de este planteamiento es que se consigue un enlace de fibra largo, que es representativo de una red óptica real.

Cerca de la torre 41 se situó una caseta que contenía las terminaciones del cable y los equipos de medida. El aislamiento eléctrico de dicha caseta se realizó mediante cuatro empalmes terminales (GT1 a GT4) que unían el cable OPGW a cuatro cables dieléctricos de una fibra sobre un pilar de cemento distante 100 m de la caseta. Los cuatro cables monofibra, protegidos por un tubo de plástico corrugado, se empalmaron en el interior de la caseta (Gb1 a Gb4) con cuatro latiguillos de fibra terminados dentro de un bastidor de terminación que utiliza conectores ópticos ensamblados en el laboratorio.

El conector óptico elegido ofrece alta fiabilidad, especialmente teniendo en cuenta las frecuentes conexiones y desconexiones. A lo largo del enlace se realizó un



Caja para los empalmes realizados en la torre de hormigón.

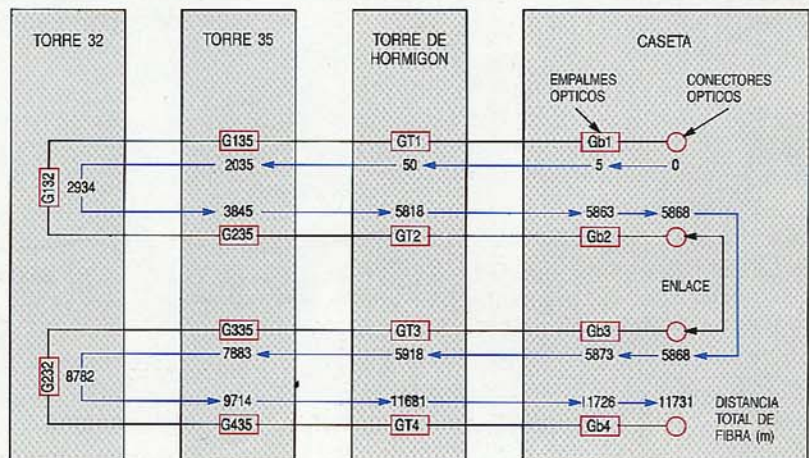
empalme de línea y otro de bucle en las torres 35 (Gn35) y 32 (Gn32). Un bucle de conexión, en el bastidor de terminación, entre las líneas ópticas 2 y 3 dio lugar a un trayecto óptico total de 11 731 m.

Esta configuración permite efectuar mediciones ópticas en dos sentidos o en dos puntos desde los conectores 1 y 4.

Técnicas de empalme

Los empalmes se realizaron por medio de una empalmadora comercial de fusión por arco que emplea el sistema de alineamiento de perfil para alinear los ejes de los núcleos de las fibras monomodo, midiendo para ello el perfil de índice de refracción de ambas fibras. El alineamiento de la fibra, la prefusión y la fusión se controlan automáticamente por un microprocesador. Sólo se necesita desnudar unos 9 mm cada fibra de su recubrimiento primario. Tras el empalme,

Figura 4 Topología del enlace óptico.



se reconstruye este recubrimiento y la zona del empalme se protege del esfuerzo mecánico con un manguito termorretractil que lleva una pequeña barra de acero como refuerzo.

Se utilizaron dos diferentes cajas de empalme:

- Caja de aluminio para las uniones del cable en las torres 32 y 35.
- Cajas cilíndricas para la unión entre el OPGW y los cuatro cables monofibra. Es un tipo de caja cilíndrica estándar con una carcasa interior de plástico y otra exterior de material dieléctrico de alta densidad. La caja incorpora también una barrera antihumedad.

Aun cuando el cable OPGW está puesto a tierra por las abrazaderas de anclaje en la torre donde está situado el empalme, es importante que las cajas de empalme sean capaces de resistir fuertes corrientes de cortocircuito de hasta 20 kA durante 500 ms.

La caja de empalme de aluminio, desarrollada y construida por Alcatel SIETTE, consiste en dos medias carcasas atornilladas entre sí con una junta hermética de plástico intermedia. Las entradas del cable incorporan protección contra el pandeo y un cierre que relaja la tensión. Una de las mitades de la carcasa es una bandeja que puede sostener hasta seis empalmes y una longitud de fibra de reserva de aproximadamente 150 cm. Las fibras ópticas se fijan con abrazaderas que aseguran un radio de curvatura de 40 mm, suficiente para impedir una propagación anómala de la luz en la envoltura de la fibra.

El empalme en la torre 35 requirió que los dos extremos del cable fuesen fijados con una abrazadera a lo largo de un puntal vertical de la torre. Cerca de la base de ésta, el cable OPGW forma una gran curva de 180° para penetrar en la caja de empalme por debajo, como se muestra en la figura 5.

Entre ambos puntos de anclaje del OPGW y las entradas del cable en la caja de empalme, se ha dejado una longitud aproximada de 100 m de cable como reserva para el mantenimiento y para ayudar a distinguir entre posibles pérdidas ópticas debidas a curvatura en los puntos de anclaje y la atenuación del empalme. Las medidas de retrodispersión a 1550 nm sirvieron para detectar puntos de atenuación alta creados por las abrazaderas de fijación; la fibra de reserva se necesita por la limitada resolución espacial del equipo de medida reflectométrico.

La longitud de reserva del cable OPGW permitió también realizar los empalmes en una tienda de campaña. Tras el empalme, la

caja de empalme y la longitud de cable de reserva se fijaron a la torre a unos 6 m sobre el nivel del suelo. Las abrazaderas de anclaje también dan tierra al cable OPGW por medio de una abrazadera al efecto. El empalme del bucle en la torre 32 y el empalme terminal GT se hicieron de forma similar, y en la torre 41 se situó una longitud de reserva de cable OPGW para el empalme terminal.

Medidas de instalación

Se adoptó un procedimiento de medida estándar de Alcatel SIETTE para el enlace óptico experimental, compuesto de tres fases diferentes:

- mediciones de control antes del tendido del cable
- mediciones de control durante el tendido del cable
- mediciones de prueba inmediatamente después del tendido del cable.

Durante la primera etapa, las características de transmisión de las fibras OPGW se determinaron en el laboratorio mediante medidas reflectométricas en ambos sentidos a 1300 y 1550 nm utilizando un reflectómetro en el dominio del tiempo (OTDR) convencional. La figura 6a muestra la presencia de varios puntos de atenuación alta a 1550 nm,

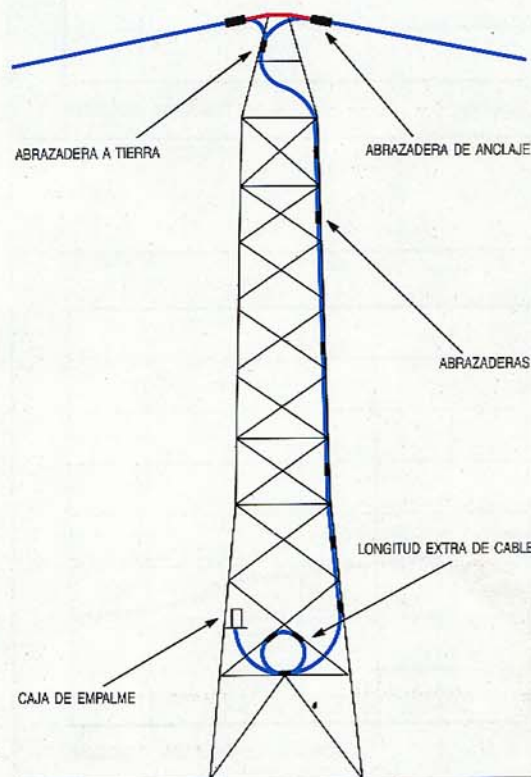


Figura 5
Método de fijación del OPGW en la torre 35.

probablemente causados por el esfuerzo de torsión al enrollar el cable en bobinas. Dichos puntos desaparecieron tras el tendido de ambas secciones.

El procedimiento de empalme y terminación permitió evaluar los parámetros del empalme en ambas direcciones de transmisión. Fue necesario comprobar en las dos direcciones para compensar cualquier diferencia en las características geométricas de las fibras. Todas las medidas de control por reflectometría se realizaron a 1550 nm, en donde resaltan más los efectos de la curvatura. Se utilizó la secuencia de operación siguiente:

- Dos empalmes en bucle G132 y G232 en la torre 32 controlados desde la torre 35 utilizando una empalmadora mecánica para conectar el OTDR a las líneas ópticas.

- Cuatro empalmes terminales GT1, GT2, GT3 y GT4 con control en dos sentidos desde la torre 35, mediante dos empalmes en bucle, realizados en la caseta de protección, entre los pares de cables monofibra (1,2) y (3,4). En estos dos casos se exigía una calidad estándar del empalme.
- Cuatro empalmes terminales Gb1, Gb2, Gb3 y Gb4. La calidad de la terminación se midió desde la caseta utilizando una fibra de acoplamiento de 500 m.
- Cuatro empalmes G135, G235, G335 y G435 en la torre 35 con medidas de control en las dos direcciones desde la caseta por medio de los dos empalmes de bucle G132 y G232. Para los empalmes y mediciones de control se necesitó un total de 80 horas de trabajo.

Se emplearon cuatro trabajadores en esta operación. Terminada la instalación, se midieron las características de transmisión de todas las líneas ópticas a 1300 nm y 1550 nm. Dos personas fueron capaces de completar las mediciones de prueba en ocho horas aproximadamente.

No se identificaron puntos de alta atenuación óptica en ningún anclaje. Por otra parte, como muestran las figuras 6a y 6b, desaparecieron los puntos de alta atenuación creados por esfuerzos de torsión. Este fenómeno de relajación de la curvatura de la fibra después del tendido era típico de muchas estructuras de cable en el momento de la instalación. Hoy en día, existen fibras ópticas menos sensibles a la curvatura.

Se midieron unas pérdidas medias por empalme de 0,05 dB, con un valor máximo de 0,085 dB. La pérdida total de inserción del enlace (A_{14}) entre los conectores 1 y 4, y la atenuación total característica relativa (AC_{14}) fueron:

$$A_{14} = 5,92 \text{ dB} \quad AC_{14} = 0,50 \text{ dB/km (a 1300 nm)}$$

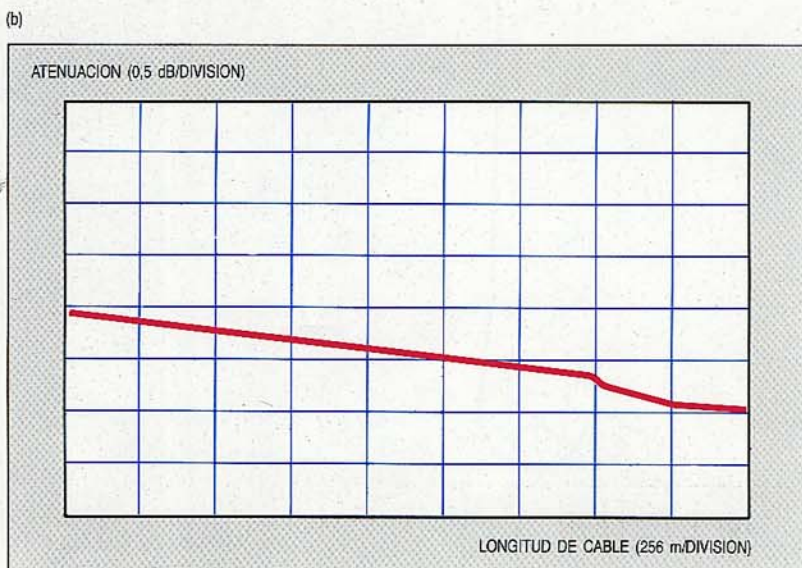
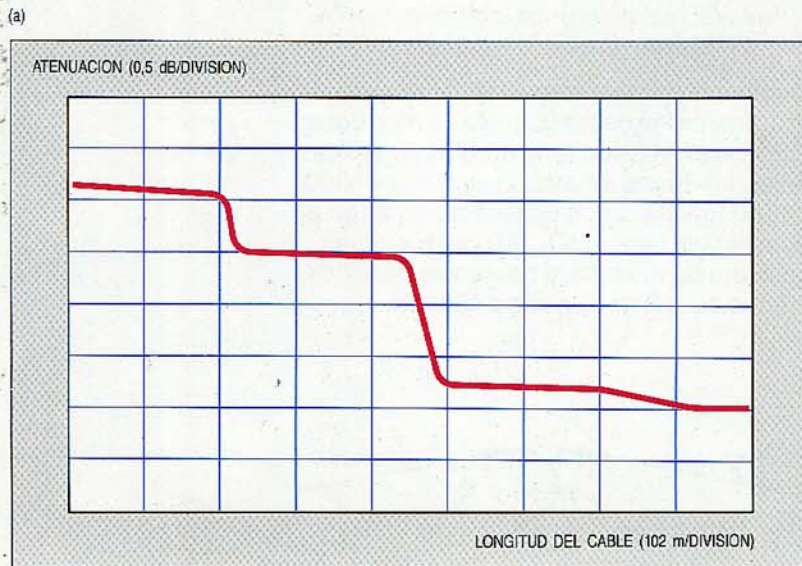
$$A_{14} = 4,05 \text{ dB} \quad AC_{14} = 0,34 \text{ dB/km (a 1550 nm)}$$

Estos valores relativamente altos fueron el resultado de un tipo inusual de terminación (con los dos empalmes terminales GT y Gb) y la conexión entre los conectores ópticos 2 y 3.

Resultado de las medidas

Las medidas de atenuación óptica efectuadas durante 15 meses de observación de las características de transmisión de las fibras del cable OPGW no arrojaron variacio-

Figura 6
Pérdidas ópticas a 1550 nm de la fibra 1 en el cable tendido entre las torres 32 y 35 (a) antes del tendido mostrando los puntos de atenuación alta, y (b) después del tendido, indicando que los puntos de atenuación alta han desaparecido.



nes significativas. Cada tres meses se hicieron mediciones de control a 1300 nm. La mayor pérdida de inserción medida en el enlace (A_{14max}) fue de 6,35 dB a 1300 nm.

Además, por el enlace se está transmitiendo continuamente una señal MIC de 34 Mbit/s. La tasa de errores de bit (TEB) y la potencia óptica recibida en este enlace se vigilan constantemente. Se garantiza la calidad de transmisión especificada siempre que la TEB sea mejor que 10^{-9} . Sin embargo, tan pronto como la TEB exceda al valor de $0,5 \times 10^{-9}$, se la registra continuamente y además se miden todos los parámetros ópticos del enlace. Como el sistema de registro de datos abarca tres semanas, podrán transcurrir tres semanas como máximo antes de que los ingenieros de ENEL realicen pruebas de campo para determinar la causa de la elevada TEB.

Asimismo están en constante observación los parámetros meteorológicos, como la humedad, temperatura del aire y velocidad y dirección del viento. Hasta ahora, el valor de TEB medido nunca ha excedido el valor umbral durante la operación normal. La figura 7 es un esquema de bloques del sistema de observación.

La instalación experimental de 34 Mbit/s ha probado la factibilidad y fiabilidad de una red de fibra óptica sobre las líneas de energía. Ha funcionado sin fallos, y sus parámetros ópticos son típicos de los valores encontrados en enlaces de alta velocidad y larga distancia. El uso de fibras ópticas de baja atenuación y baja dispersión y de sistemas transmisores y receptores adecuados podría elevar la velocidad de transmisión hasta 565 Mbit/s.

Conclusiones

La experiencia de Alcatel SIETTE con la instalación de un cable OPGW ha demostrado que es factible y fiable el uso de un sistema de telecomunicaciones basado en este tipo de cable óptico. Se utilizó una técnica de tendido de cable de energía ligeramente modificada, introduciendo variaciones para conseguir la correcta curvatura del cable OPGW sin que las fibras ópticas sufrieran daño.

Las técnicas normalizadas de terminación y empalmes resultaron ser adecuadas para la instalación del cable OPGW. Se requiere particular precaución para aislar la terminación del cable por medio de una unión terminal entre el cable OPGW y un cable dieléctrico. La fiabilidad observada del sistema es comparable con la de los cables ópticos aéreos estándar. La posibilidad de daño causado por descargas eléctricas

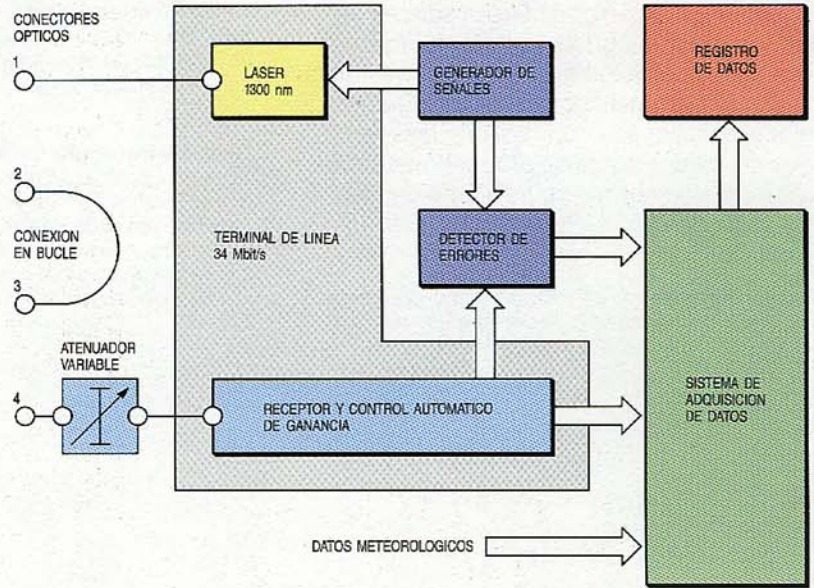


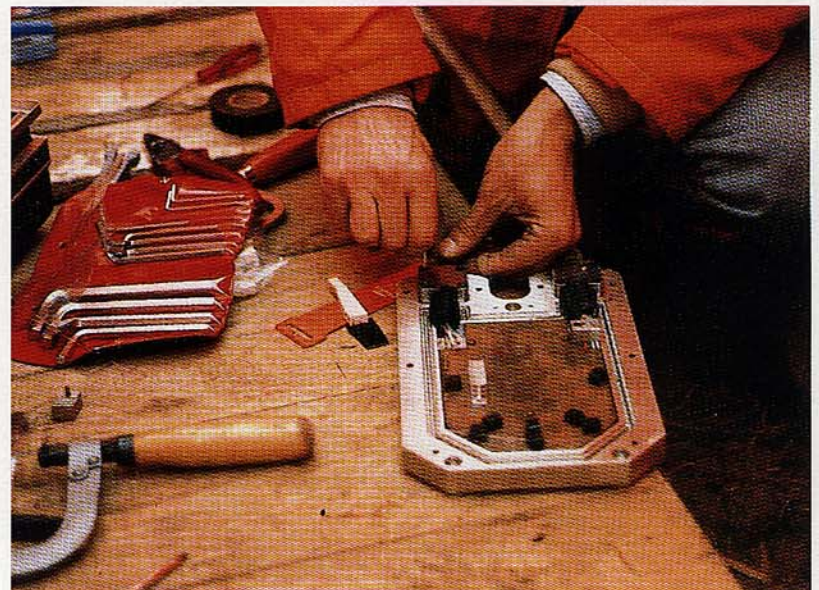
Figura 7
Esquema de bloques del sistema de observación.

cas se compensa por la protección intrínseca contra el fuego debido a la altura sobre el nivel del suelo. De hecho, una frecuente causa de daño en cables aéreos es la combustión por incendios de la maleza del campo.

El tendido del cable OPGW a lo largo de una línea de energía sería todavía menos costoso que en el sistema experimental, ya que las nuevas técnicas de empalmes permiten realizar los mismos en el extremo superior de las torres, reduciendo aún más los costes. Se necesitan muchas horas de trabajo para empalmar las fibras a nivel de tierra.

Un tendido normal del OPGW siguiendo las líneas de energía permitiría crear una red de transmisión de datos de alta velocidad entre centros de ENEL.

Caja de empalme del OPGW durante las conexiones en la torre 35.



La alimentación con células solares de los repetidores ópticos permitiría lograr vanos de repetición máximos. Esto es de la mayor importancia porque la red de energía eléctrica italiana a menudo atraviesa regiones en las que es difícil proporcionar una alimentación normal en baja tensión para los repetidores.

Prieto Laurenzi nació en 1959 en Foligno, Italia. Estudió ingeniería electrónica en la Universidad de Ancona,

donde se doctoró en 1985. Se incorporó a Alcatel SIETTE en 1988 para trabajar en el campo de instalación de fibras ópticas. Actualmente el Dr. Laurenzi es el jefe del laboratorio de fibras ópticas de SIETTE.

Giovanni Maraviglia nació en 1950 en Ancona, Italia. Estudió ingeniería civil en la Universidad de Padua, en la que se doctoró. En 1980 se incorporó a Alcatel SIETTE, trabajando en el departamento comercial en actividades de instalación. En 1986 se encargó de los trabajos de instalación de líneas de energía. Desde 1988, el Dr. Maraviglia es el jefe del departamento de energía de SIETTE.

Ingeniería de redes asistida por ordenador

La ingeniería e instalación de redes suele manejar gran cantidad de documentos, muchos de los cuales incluyen diagramas sobre la distribución de cables y la situación de equipos. La envergadura de la actividad de ingeniería e instalación de cables implicada en el sistema de telecomunicaciones de la primera generación en Francia obligó a introducir el diseño asistido por ordenador para acelerar el proceso y asegurar la coherencia de los datos.

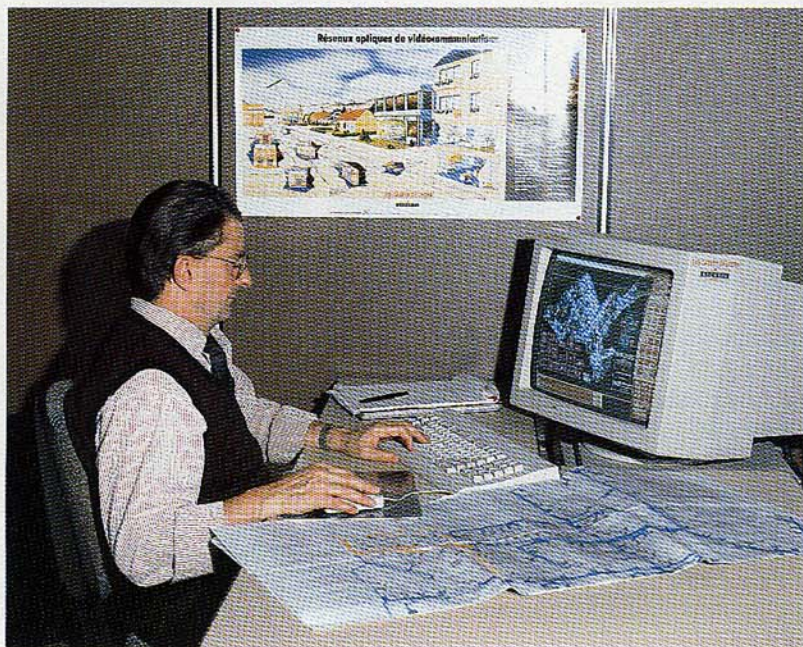
C. Guthmann

Les Câbles de Lyon, Clichy, Francia

Introducción

Es importante considerar la cantidad de documentos gráficos a producir en el área de la ingeniería e instalación de redes de cables, a partir de los cuales se han de obtener numerosas y detalladas listas de materiales. Más aún, toda esta documentación ha de actualizarse con regularidad para seguir los inevitables cambios ocurridos a medida que avanza el trabajo de planificación e instalación de la red de cables. Dentro de este marco, el diseño asistido por ordenador se presenta como una herramienta flexible y de uso agradable, que permite tratar fácil y rápidamente, y sin introducir errores, la multitud de ficheros implicados.

El soporte físico de la ingeniería de redes de telecomunicación incluye estaciones de trabajo de diseño ergonómico con monitores para gráficos en color de alta resolución.



Dada la magnitud del proyecto de redes de telecomunicación en el que Câbles de Lyon era un participante principal, se decidió instalar un potente sistema CAD en el departamento de ingeniería e instalación de redes de cables para ayudar a la planificación del proyecto, que se esperaba implicase decenas de miles de documentos y dibujos.

Realización del CAD

La elección de un sistema CAD adecuado, con un desarrollo tal que cumpliera los requisitos de la ingeniería de las redes de cables se basó en cinco consideraciones principales, siendo la más importante de ellas la de mejorar la calidad y la normalización de todos los documentos gráficos. También se estimó como esencial adquirir todos los datos de una sola vez para minimizar los errores de transcripción entre documentos y eliminar cálculos repetidos y aburridos.

Las otras consideraciones importantes fueron obtener automáticamente listas de materiales (con fines contractuales o para gestión del proyecto) a partir de los dibujos, facilitar la actualización de los datos, y el proceso auxiliar de dibujos de detalle y listas de materiales secundarias mediante microordenadores en la instalación.

En colaboración con una importante casa de ordenadores, durante la etapa inicial del proyecto se seleccionó el equipo siguiente:

- una unidad central de proceso con un disco de 300 M-octetos
- dos consolas para gráficos en color, cada una con un digitalizador de formato A0

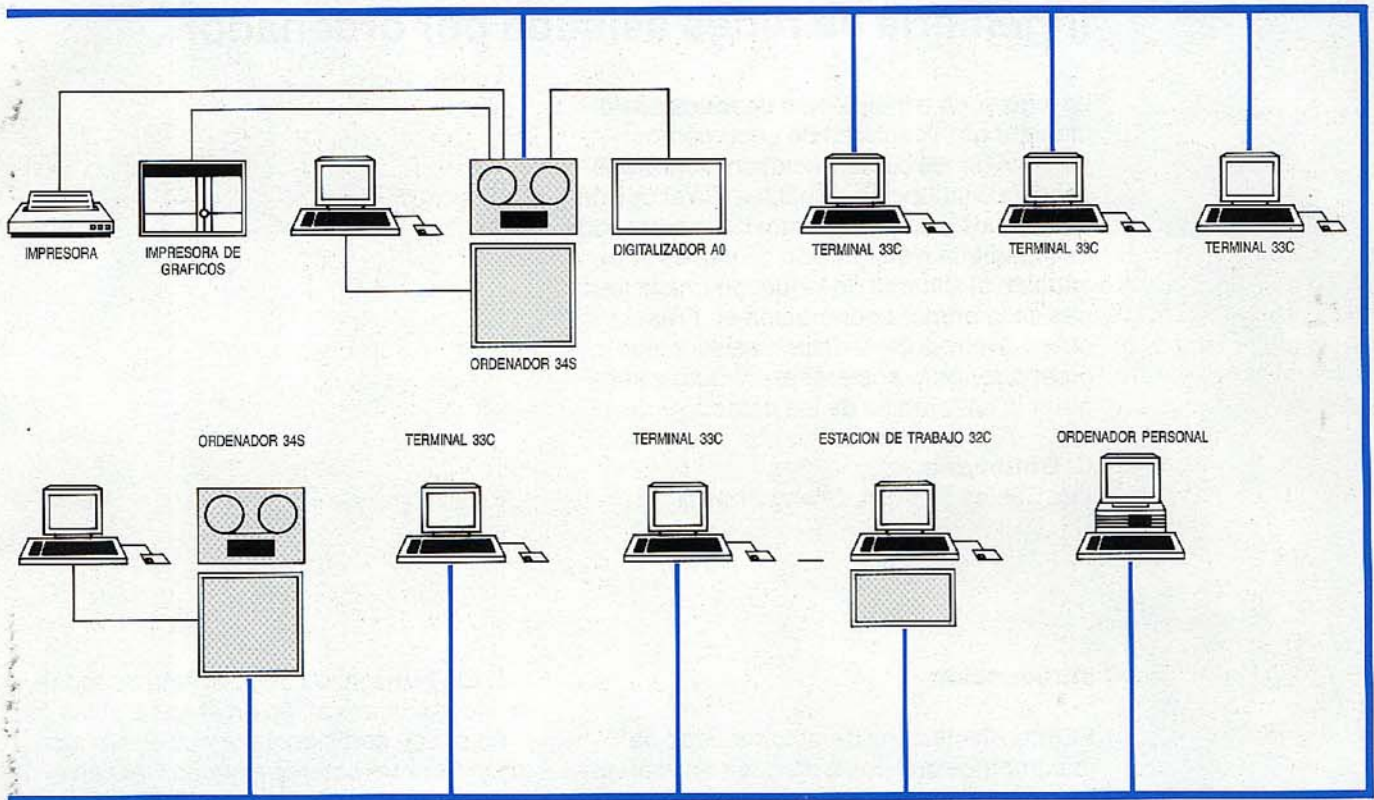


Figura 1
Instalación de ordenadores en el departamento de ingeniería e instalación de redes de Les Câbles de Lyon en Clichy.

- un microordenador capaz de emular las facilidades de las consolas para gráficos, pero con respuesta más lenta
- un trazador de gráficos multicolor, de pluma y de alimentación continua
- un microordenador en el lugar de trabajo.

Se prestó cuidadosa atención a la elección del soporte lógico a ejecutar en el procesador central, a fin de asegurar que ofreciese la potencia y flexibilidad necesarias. Se seleccionó un programa soporte de gráficos adecuado, junto con un módulo planimétrico de toda la cartografía, un módulo de red que uniera entre sí las entidades gráficas para formar la obra entera de ingeniería civil o la red de cables, y unos programas específicos de aplicación para la ingeniería e instalación de dicha red. Además, se seleccionó un paquete informático de gráficos para usar en el microordenador de la instalación.

Tras una serie de pruebas satisfactorias en las dependencias de Câbles de Lyon en Marsella, se decidió usar el nuevo sistema en todos los estudios de instalaciones futuras. Por esto fue necesario comprar dos consolas en color para gráficos y dos digitalizadores, así como también un segundo disco fijo de 300 M-octetos. Al mismo tiempo, cada instalación se equipó con dos sistemas basados en microordenadores 386.

Al final de 1987, cuando ya se disponía de programas para gráficos utilizables en una estación de trabajo de alto rendimiento, se reconsideró este soporte físico, y ello permitió transferir todas las aplicaciones a unos equipos de superior prestación con una potencia de proceso de 4 MIPS (millones de instrucciones por segundo) que admitían todas las normas de proceso de datos importantes, como Unix y Ethernet. En consecuencia, se decidió instalar un nuevo soporte físico para aprovechar este superior rendimiento. La configuración actual de equipo, reflejada en la figura 1, es la siguiente:

- dos estaciones de trabajo principales equipada cada una con una memoria principal de 16 M-octetos y disco fijo de 1 G-octeto
- cinco estaciones "esclavas", cada una con memoria principal de 4 M-octetos conectada a ambas estaciones principales
- una estación de trabajo adicional con memoria principal de 12 M-octetos que actualmente está conectada a una principal, pero que puede modificarse para funcionar de modo autónomo
- un trazador de gráficos multicolor de pluma y de alimentación continua
- un digitalizador de formato A0

- una red Ethernet que conecta estas ocho estaciones de trabajo para que puedan intercambiarse datos
- un microordenador que también está conectado a la red para permitir el intercambio de ficheros con los microordenadores de la instalación.

La versión más reciente (versión 4) de los programas originales de gráficos es la que se ejecuta actualmente en las nuevas estaciones de trabajo. Durante 1988 se fueron transfiriendo todas las aplicaciones y ficheros al nuevo soporte físico.

Las configuraciones de la instalación se basan en microordenadores 386 que ejecutan a 20 MHz, equipados con monitores de color de 19 pulgadas y digitalizadores de 12 pulgadas. Se está utilizando el mismo paquete de gráficos del microordenador, apoyado en programas de aplicación de nuevo desarrollo escritos en lenguajes UPL y Basic. En la instalación, los documentos gráficos se imprimen en formato A4 con una impresora láser.

La aplicación principal de este sistema es hoy la planificación e instalación de redes de cables de videocomunicación¹.

Ingeniería CAD para una red de videocomunicación

La ingeniería de las centrales de videocomunicación se realiza en varias fases.

Preparación de los planos básicos

Han de digitalizarse los planos de la zona total que ha de cubrir la red de videocomunicación, en la que puede haber varias centrales de videocomunicación (centros de distribución). Los planos se ensamblan y corrigen, si fuese necesario, en sus puntos de unión. Esta etapa de diseño requiere utilizar mucho una estación de trabajo, y es aburrida por no añadir ningún valor intelectual. Por consiguiente, se decidió subcontratar esta parte de la obra.

Debe resaltarse que en el estado actual de la técnica, el uso de un analizador para introducir los planos básicos no aporta ventaja alguna ya que los diversos elementos topográficos deben ser almacenados en diferentes niveles del gráfico. Además, como el analizador no reconoce textos, se requiere un considerable reproceso sobre el texto de estos planos.

Las zonas que han de servir estas centrales de videocomunicación se deducen de los planos ya acabados, siendo los límites de tales zonas propuestos por el cliente.

Situación de los abonados

Se realiza en cada emplazamiento un censo completo de todas las unidades de abonados posibles (bloques de apartamentos, pisos, casas, oficinas), asignando una clasificación a cada una. El número de abonados potenciales equivalentes (denominado ELR, del francés *équivalents logements raccordables*, viviendas conectables equivalentes) de cada centro de distribución se deduce de esta clasificación.

Los ELR se reúnen luego en grupos de diez para determinar el número de centrales de videocomunicación que se han de instalar, así como también sus zonas de influencia. Una vez introducida esta información en el sistema, el operador sabe en cualquier momento cuántos ELR existen en el área que abarca el estudio y, en caso necesario, puede modificar el área de influencia de una central de videocomunicación si la capacidad planificada de ésta es insuficiente para atender al número previsto de ELR.

El sistema también verifica si quedan ELR no asignados a ninguna central de videocomunicación, y si alguna zona de influencia sobrepasa los 10 ELR, avisando al diseñador de la red para que decida finalmente la configuración de la misma.

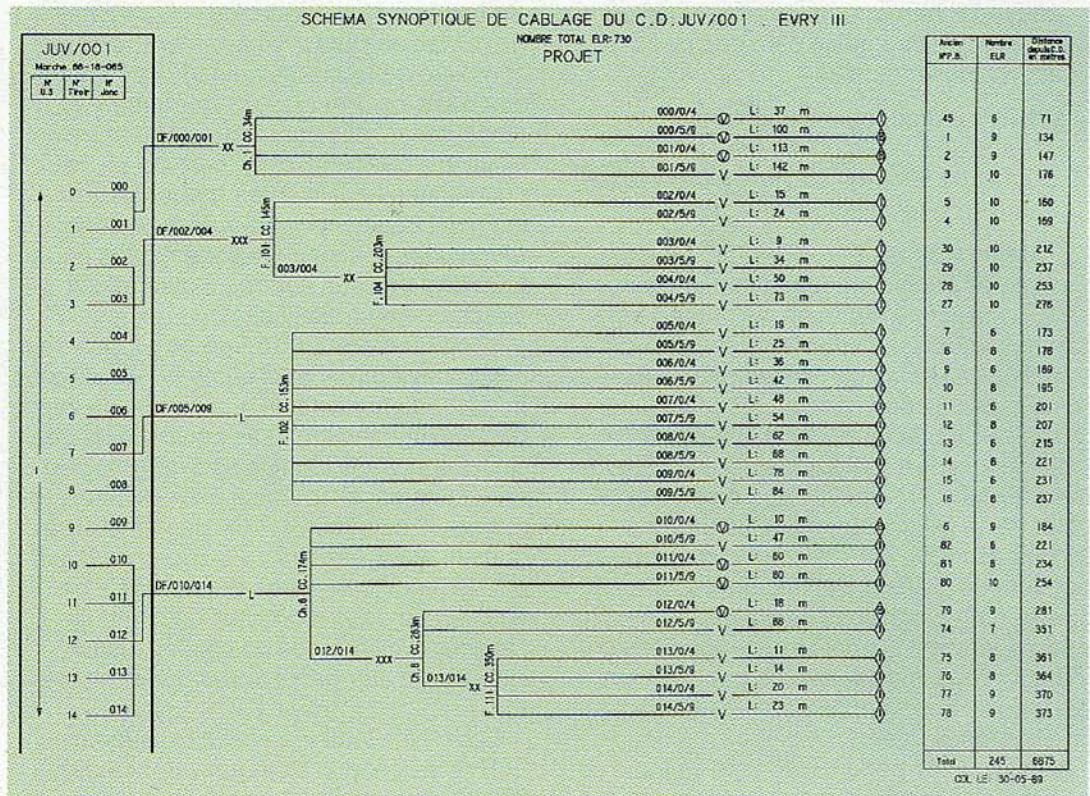
Diseño de la ingeniería civil y del encaminamiento

Las obras en curso de ingeniería civil y de encaminamiento se examinan sobre el terreno y se introduce luego toda la información relevante en la base de datos valiéndose de programas que garantizan la coherencia de tales datos. La comparación entre la longitud del trayecto deducida de los diagramas y la longitud propuesta por el diseñador de la red permite detectar y corregir los errores de situación de cámaras de registro o de postes en los planos.

Tendido de cables

Con base en la posición de los puntos de distribución proyectados durante la asignación de las posiciones de abonados, la red de cables puede diseñarse siguiendo los trayectos existentes o creando trayectos nuevos. La red se planifica partiendo desde los puntos de distribución y avanzando hacia el centro de distribución. Los cables de baja capacidad se sustituyen gradualmente por cables mayores, dependiendo de las capacidades de los cables existentes y del espacio todavía disponible para cajas de empalme en las cámaras de registro.

Figura 2
Esquemático de cables.



Una vez finalizada la red de cables, el sistema calcula todas las distancias acumulativas entre las centrales de videocomunicación y todas las cajas de empalme y extremos de la red. Estas distancias incluyen todos los excesos de longitud que requieren las espiras del cable en las cámaras de registro y las holguras que se dejan en las cajas de empalme y los puntos de distribución. Los resultados se graban automáticamente sobre los planos.

Otros programas verifican una serie de reglas de ingeniería: por ejemplo, se identifica todo punto de distribución situado a más de 1000 metros de la central de videocomunicación para asegurar que satisface las reglas de atenuación de la señal. El sistema comprueba la calidad de la red propuesta (agrupamiento de cables, fibras de reserva), y detecta cualesquiera incompatibilidades entre la obra de ingeniería civil y la red de cables: trayectos y conducciones de cables que estén infradimensionados, no utilizados en absoluto o sólo parcialmente.

El cálculo de todo lo anterior, junto con otras informaciones generales del centro de distribución, permite al explotador valorar la calidad de la red. Tras las modificaciones y correcciones necesarias, se calcula y verifica nuevamente la red hasta que se obtengan resultados satisfactorios.

A partir de los dibujos se producen luego automáticamente las listas de materiales requeridas para la gestión del proyecto.

Además, el sistema genera los diagramas de bloques de la red de cables, que incluyen diagramas y tablas que relacionan los elementos principales de la red (Fig. 2).

Procesar de esta manera toda la información relativa a centros de distribución garantiza la consistencia y la coherencia de la documentación. Sin embargo, la adquisición preliminar de todos estos datos es una prolija y lenta tarea. Por consiguiente, se instaló un microordenador en la instalación que libera al sistema principal de una serie de trabajos auxiliares. Entre ambos sistemas los datos se transfieren por discos flexibles.

Proceso de datos en la instalación

Formulario para bloques de apartamentos

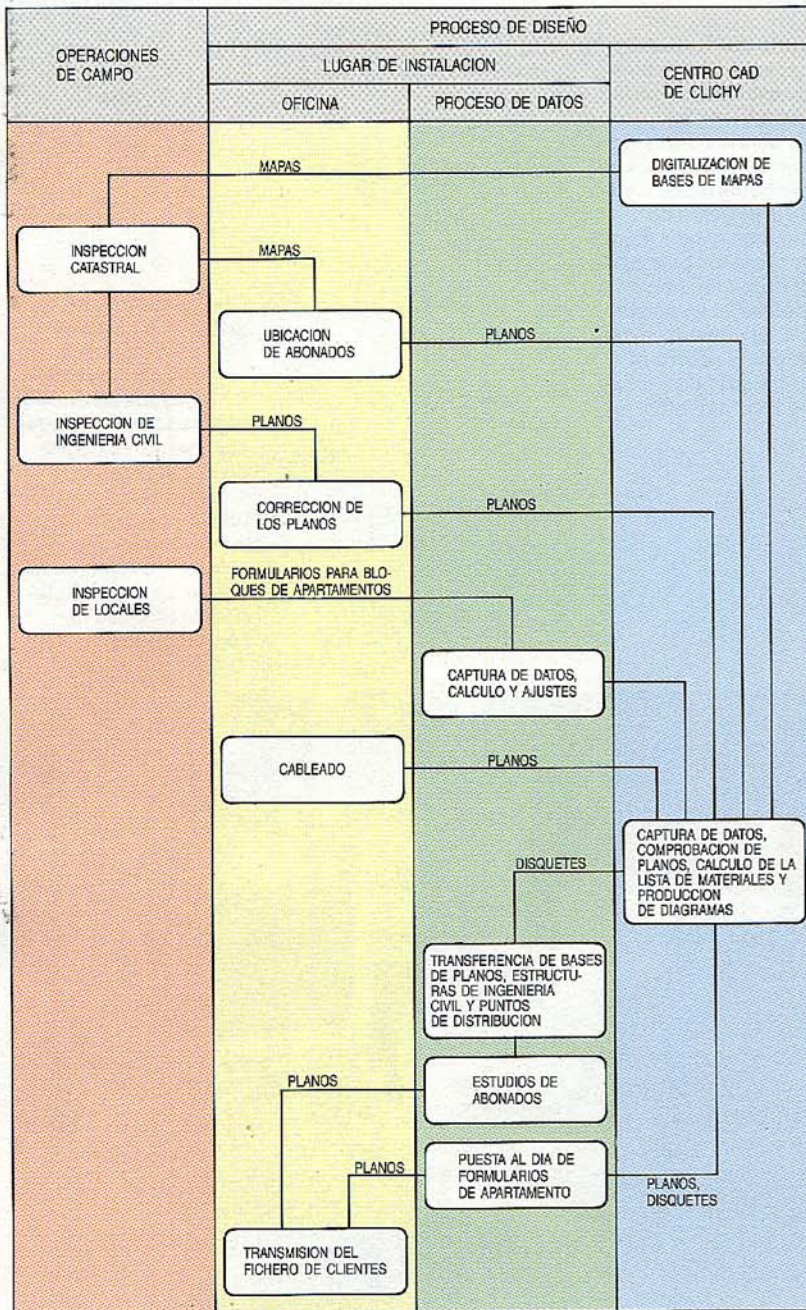
Se instalan puntos de distribución dentro de todo edificio que tenga más de seis ELR distribuidos en tres pisos, y en tal caso se prepara un documento llamado formulario de bloques de apartamentos, el cual consta de una primera página que da información general sobre el edificio (dirección, propietario, número de ELR, puntos de conexión y lista de materiales de cables, etc.), seguida por un diagrama de situación de ELR y de puntos de distribución para cada escalera. Este documento se completa con dibujos que indican, para cada piso, el trayecto del cable y la clase de equipo a suministrar.

Un centro de distribución requiere aproximadamente 50 formularios con cinco páginas de formato A4 cada uno (es decir, 250 páginas), que se procesan totalmente en la instalación. Para introducir estos datos se utiliza un programa de preguntas y respuestas que al completarse genera un fichero ASCII conteniendo todos los datos pertinentes relativos al edificio y la red con él asociada. Este fichero se utiliza de dos maneras: una copia se transfiere al sistema principal del departamento de ingeniería e instalación de redes de la oficina central, donde complementa la base de datos de centros de distribución, y por otro lado, en la instalación, un programa analiza el fichero y crea automáticamente la primera página y

los diagramas de situación de ELR en cada escalera. Los programas de gráficos se utilizan solamente para trazar croquis de trayectos en cada piso. Las listas básicas de materiales se deducen del sistema.

Algunos datos, tales como las distancias acumulativas, longitudes y la numeración de los cables sólo se pueden utilizar una vez enteramente procesados los datos de la central de videocomunicación en el sistema de la oficina principal. Por esto los formularios de los bloques de apartamentos han de actualizarse antes de que circulen. Un programa de reanotaciones automático realiza esta función para los ficheros de gráficos de microordenadores. Los diagramas se imprimen en modo por lotes en la impresora láser.

Figura 3
Proceso de la información de trabajo de ingeniería e instalación de redes de videocomunicación.



Estudio del servicio de abonados

En ciertas instalaciones, la administración local puede solicitar estudios suplementarios de los trayectos de cables relativos a la conexión de los abonados con cada central de videocomunicación. Tales estudios se llevan a cabo en microordenador, lo que obliga a transferir desde la base de datos central los elementos siguientes: planos básicos, áreas de influencia de las situaciones de abonados y de los puntos de distribución, estructura de la obra civil y posiciones, cantidades y situaciones de los puntos de distribución. Esta información, utilizada por el paquete de gráficos del microordenador, completa los planos al incluir los trayectos de cables de conexión de abonados a cada punto de distribución.

Las listas de materiales y las salidas en impresora láser de los dibujos completos para cada punto de distribución son posteriormente procesados por lotes.

No es fácil gestionar un proceso que utiliza estaciones de trabajo y microordenadores. Aunque los problemas técnicos se resolvieron rápidamente, fue ardua de establecer la organización global del tráfico de datos entre las diferentes instalaciones y el sistema principal en el Departamento de Ingeniería e Instalación de Redes. También hubo que solucionar los problemas de actualizar y gestionar las versiones sucesivas de cada fichero. Esta organización es una de las características principales del sistema (Fig. 3).

La capacitación del personal para el uso de las nuevas técnicas de proceso de datos sin afectar al trabajo de la producción se consiguió mediante cursos de formación que se realizaron por etapas y que fueron complementados por breves cursos de repaso en cada instalación.

Actualmente alrededor de 30 personas utilizan el sistema CAD a diario. Cada año el departamento de ingeniería CAD produce

unos 160 ficheros correspondientes a 80 000 abonados nuevos que han de ser procesados en 16 000 horas de trabajo y producirán 700 planos en formato A0 y 40 000 páginas en formato A4.

El éxito de introducir el CAD en el campo de la ingeniería de redes de videocomunicación ha preparado el terreno para su utilización en otras diversas áreas.

Perspectivas futuras del CAD en la ingeniería de redes

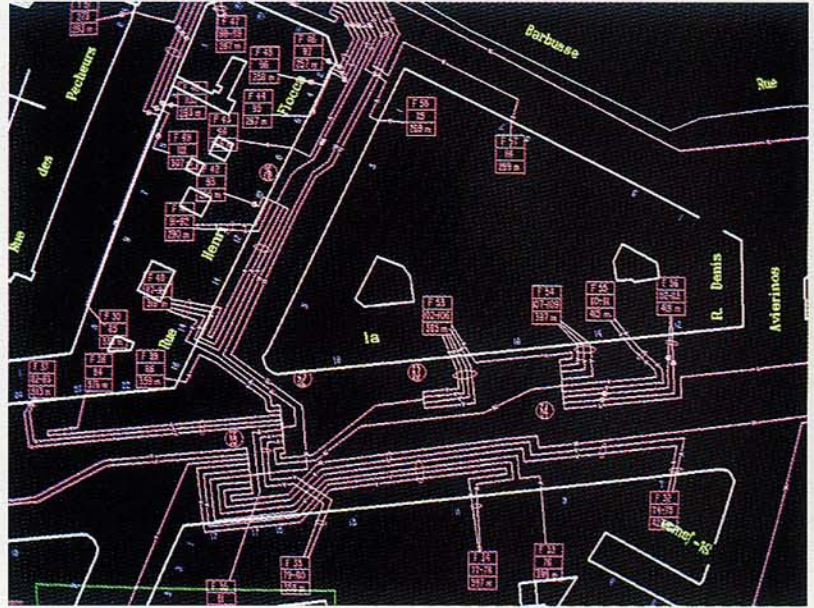
Redes de telecomunicación

El diseño de redes de videocomunicación se basa en principios similares al diseño de redes de telecomunicación, aunque este último es más complejo. Ante la perspectiva de tener que dedicarse a la ingeniería e instalación de redes de telecomunicación importantes "llave en mano", se decidió desarrollar un soporte lógico de CAD adecuado, que actualmente se está preparando en colaboración con una destacada empresa informática de Francia, con el objetivo de introducirlo en 1990. Este nuevo soporte lógico ayudará a los diseñadores durante todas las fases de la ingeniería:

- previsión de la demanda y planificación general
- diseño de la red primaria (de central a armario repartidor)
- diseño de la red secundaria (de armario a punto de distribución)
- obras de ingeniería civil
- fichero de gestión conteniendo información de abonados
- fichero de gestión conteniendo información de todos los conductos y subconductos a lo largo de una ruta.

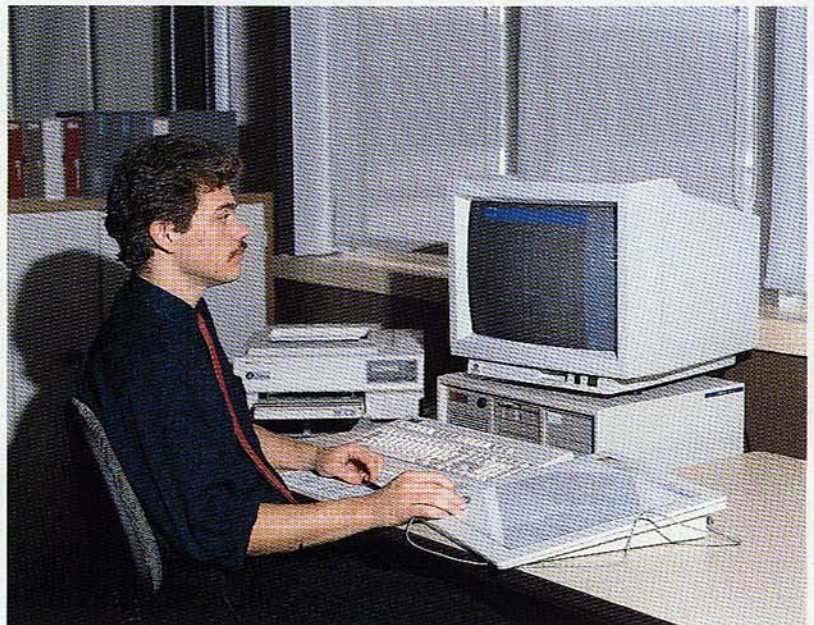
Los objetivos principales que han servido de guía para la selección del soporte físico y lógico de las redes de videocomunicación son todavía válidos. Sin embargo, los nuevos programas que hoy existen en el mercado prestarán un soporte más cómodo y completo durante las diferentes etapas de diseño.

El equipo a utilizar también será una combinación de estaciones de trabajo y microordenadores. Asimismo, resulta posible seguir empleando el mismo paquete de gráficos en vista de su potencia y flexibilidad, habiéndose potenciado dicho paquete por incorporación de una base de datos relacional para tratar la gran cantidad de listas de materiales basadas en datos a menudo interdependientes. Uno de los



Parte del nivel de cableado de un plan de cables mostrando los cables y los puntos de distribución a los que se conectan. Los símbolos cuadrados en el extremo de algunos cables significan que los puntos de distribución han de instalarse en un edificio. El número corresponde al pertinente formulario del bloque de apartamentos.

Configuración del sistema: cada instalación está equipada con una configuración CAD basada en ordenadores 386 equipados con monitor en color de 19 pulgadas y digitalizador. Se utiliza una impresora láser para sacar los planos en formato A4, como requieren los formularios de bloques de apartamentos.



principales objetivos es desarrollar un sistema informático que aproveche plenamente las características orientadas al usuario de cada paquete lógico al tiempo que elimine la adquisición de datos redundantes.

Ingeniería de accesorios

El departamento de ingeniería e instalación de redes también diseña los accesorios para la instalación y conexión de cables, tales como terminaciones de cable y cajas de empalme de diferentes tipos. Anteriormente se ha preparado el modelo de la pieza a diseñar mediante integración de los elementos más adecuados de pasados proyectos, obteniendo así un prototipo a partir del cual pueden deducirse los diagramas de ensamble y las distintas secciones transversales, junto con todas las descripciones e instrucciones de montaje.

Recientemente el departamento introdujo un paquete de modelación "en relieve" que los operadores pueden utilizar para simular el ensamble, y que también permite producir rápidamente documentos gráficos claros, garantizando de este modo la elevada calidad de las descripciones detalladas y los manuales de operación.

Conclusiones

Después de un comienzo prudente pero resuelto, el CAD es ahora parte integrante del Departamento de Ingeniería e Instalación de Redes de Câbles de Lyon. El personal está ya familiarizado con esta nueva herramienta de diseño y la utiliza a diario para simplificar las tareas de ingeniería e instalación de redes de cables. Los excelentes resultados obtenidos con este sistema en la ingeniería de redes de videocomunicación han provocado la extensión del CAD a otras áreas, como la ingeniería de redes de telecomunicación y la modelación en relieve de los accesorios de cables.

Referencias

- 1 J.-P. Boinet: Redes de videocomunicación por fibra óptica: ingeniería e instalación de redes de cable: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, nº 3, págs. 286-293.

Christian Guthmann nació en 1960. Estudió topografía en la Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Estrasburgo, donde se graduó en 1983. Trabajó luego en el National Centre for Scientific Research, donde intervino en el levantamiento de los templos egipcios del Valle Superior del Nilo, y realizó programas de diseño tridimensionales por microordenador de arquitectura arqueológica. En marzo de 1986, el Sr. Guthmann ingresó en Câbles de Lyon donde ahora es responsable del desarrollo y producción CAD del departamento de ingeniería e instalación de redes.

Redes de videocomunicación por fibra óptica: ingeniería e instalación de redes de cable

Francia ha avanzado mucho en la realización de una red de videocomunicación a gran escala basada en conmutación en estrella. La instalación de una amplia red de cables de fibra óptica y puntos de distribución de abonados ha requerido una eficaz planificación y dirección del proyecto.

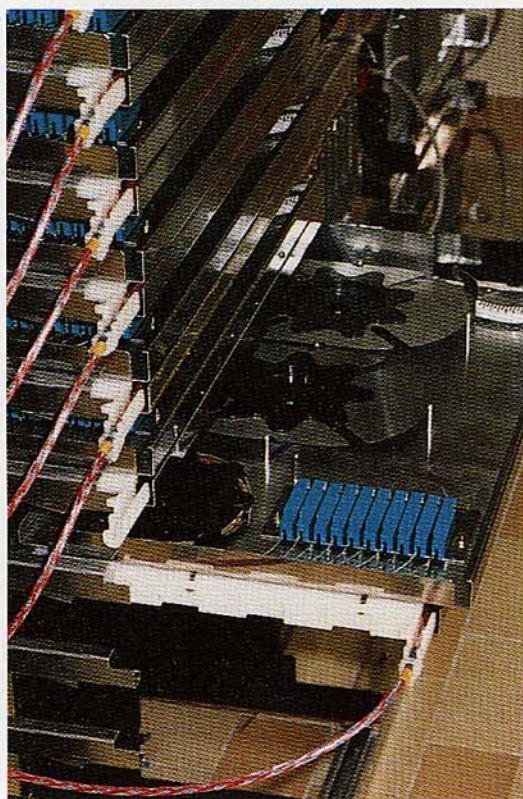
J.-P. Boinet

Les Câbles de Lyon, Clichy, Francia

Introducción

En 1983, France Telecom decidió en principio cablear Francia entera. En aquella época sólo se habían construido unas pocas redes dispares, ya fuese para absorber zonas de sombra, para construcción de nuevas ciudades, o para experimentar con nuevas redes ópticas. Dentro de la estructura del plan acordado iban a realizarse dos tipos de red:

Redes de "generación cero", que tenían estructura de árbol y utilizaban cables coaxiales para distribución de servicios de radiodifusión de televisión y radio de alta fidelidad.



Armario óptico con empalme desmontable.

Redes de "primera generación", con estructura en estrella y utilizando fibra óptica como medio de distribución de servicios. Además de emisiones de televisión, estas redes pueden proporcionar acceso a los actuales y futuros servicios interactivos audiovisuales y de telecomunicación. Otros posibles servicios incluyen la recepción de canales de acceso controlado, canales de televisión de pago, canales de televisión de retorno que permitan a ciertos usuarios transmitir imágenes de vídeo a otros usuarios o redes, servicios telefónicos y de datos a través de un canal digital bidireccional de 64 kbit/s, videotex rápido y control y seguridad a distancia.

France Telecom seleccionó un sistema desarrollado por Alcatel y adjudicó un contrato a Alcatel CIT y Les Câbles de Lyon como directores de obra para establecer las redes de distribución conmutadas en estrella. Alcatel CIT es responsable del sistema, el equipo, la operación y los subsistemas de usuario, y a Les Câbles de Lyon corresponde la ingeniería de redes y el trabajo de instalación que abarca ingeniería de planta, desarrollo y fabricación de cables y equipo relacionado, además de la instalación y pruebas in situ.

Esta dirección de obra se basa en una estructura que requiere utilizar varias herramientas para controlar tres aspectos del proyecto:

- Calidad: el objetivo inicial de la red era construir una infraestructura de cable de fibra óptica de alta calidad e instalar un equipo de videocomunicación de la primera generación capaz de ulterior modificación o ampliación según la evolución de la demanda de nuevos servicios y a medida que se dispusiera de nuevas tecnologías.
- Controlar los plazos de puesta en servicio del sistema: el programa se basa en

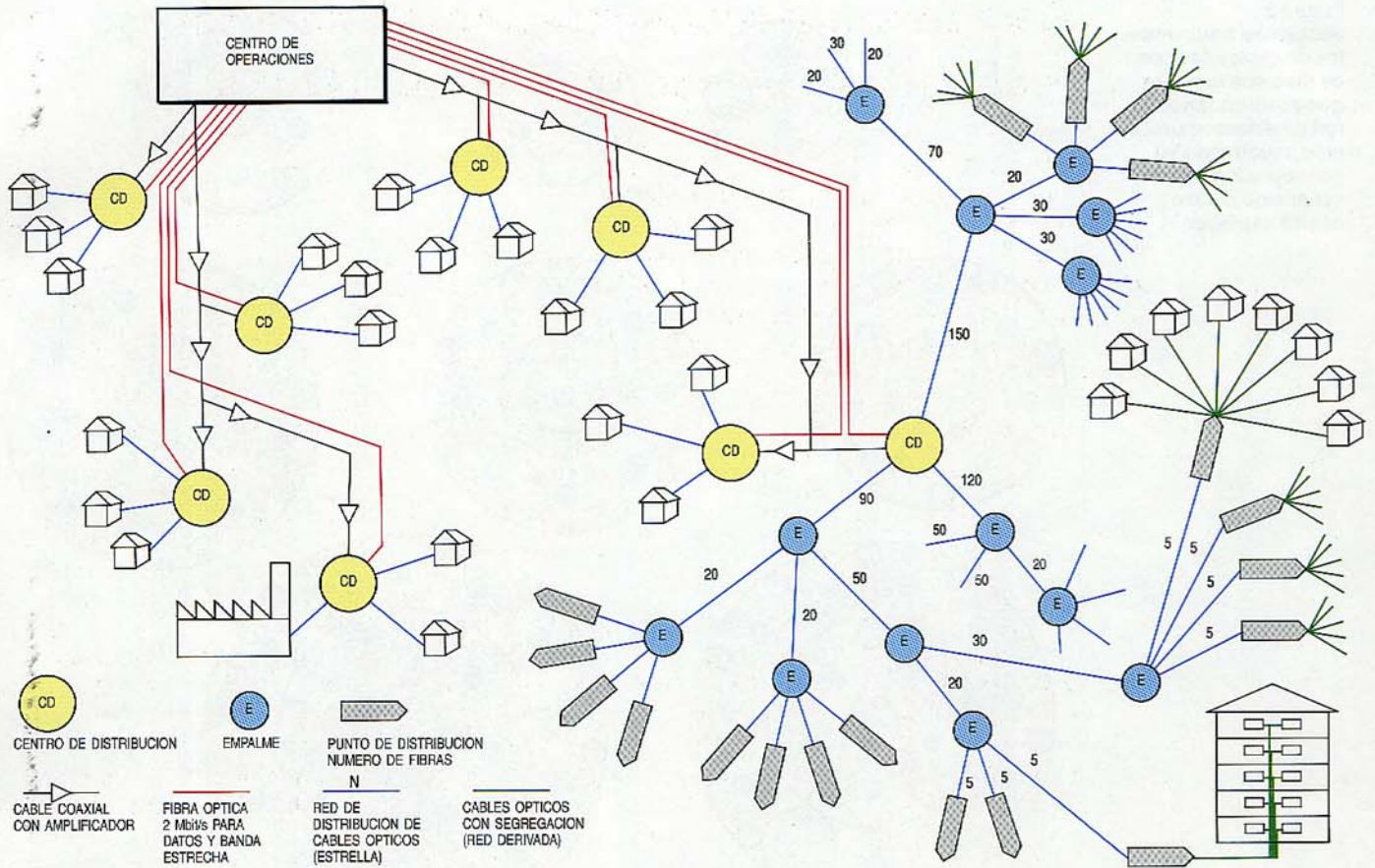


Figura 1
Organización global de la red de videocomunicación mostrando el centro de operaciones, los centros de distribución y los puntos de distribución.

los compromisos comerciales adquiridos por France Telecom con los explotadores de la red.

- Controlar los costes para asegurarse de que permanecen dentro de los límites presupuestarios.

Actualmente las dos compañías de Alcatel se han comprometido a instalar conexiones en unas 900 000 viviendas de 12 ciudades, habiendo ya realizado cerca de un tercio de las mismas (300 000 conexiones).

Arquitectura funcional

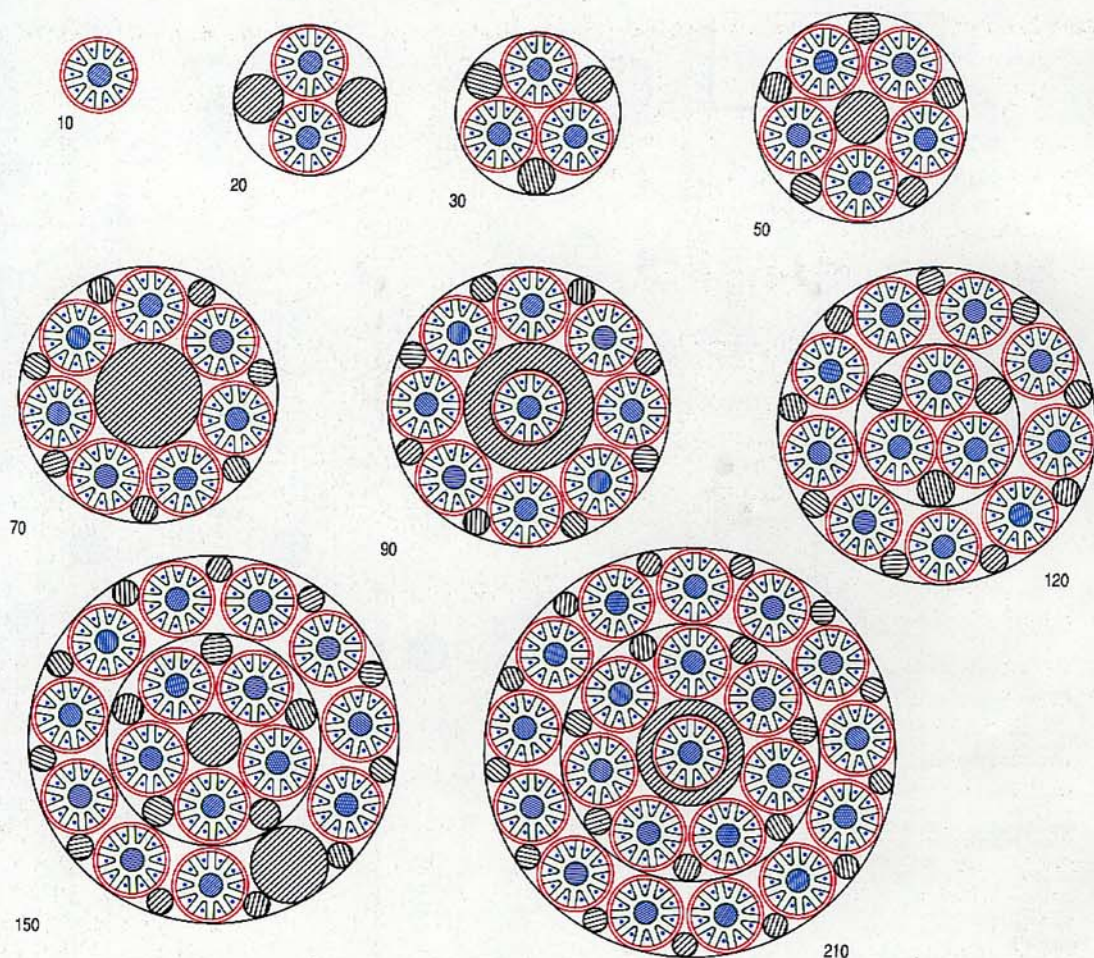
Las redes de videocomunicación de Alcatel de la primera generación se basan en una *estación central* que incorpora un centro de modulación y un centro de operaciones. La estación central recibe las diversas señales que van a ser distribuidas en la red vía satélite, redes de microondas o de cables de enlaces, estudios locales, etc. Las señales se tratan luego por la unidad de proceso para generar un conjunto, multiplexado en frecuencia, de 30 señales moduladas en amplitud utilizando portadoras separadas a intervalos de 8 MHz en la gama de 136 a

368 MHz. Este conjunto se encamina luego, por medio de cables coaxiales de 3,9/17,3 mm (diámetro interno/externo) al *centro de distribución*, que puede atender entre 500 y 2000 usuarios (Fig. 1).

El centro de operaciones, que desempeña todas las funciones de mantenimiento y operación de red, está conectado a todas las centros de distribución por enlaces bidireccionales de fibra óptica de 2 Mbit/s que transmiten información de operación y mantenimiento y servicios interactivos de banda estrecha. Cada línea óptica de abonado está conectada, mediante un cuadro óptico de distribución, a una unidad de selección de abonado que ofrece facilidades para diálogo con el usuario y selección de programas de televisión, así como un interfaz optoelectrónico entre el distribuidor coaxial y la fibra óptica de abonado.

La señal seleccionada por el usuario se encamina por la red de distribución de fibra óptica, a la *unidad de interfaz de abonado* a través de un *punto de distribución* donde está conectado el cable de abonado. Cuando los abonados conectados son cinco o más, cada fibra se utiliza para atender a dos abonados mediante multiplexación por división de longitud de onda, siendo las utilizadas 0,85 μm y 1,3 μm . Tras la unidad de interfaz de abonado, que

Figura 2
Secciones transversales de cables ópticos de diversos tamaños que se utilizarán en la red de videocomunicación, mostrando su construcción a partir del mismo núcleo básico estriado.



proporciona toda la conversión optoelectrónica necesaria, el usuario está equipado con una *unidad de interfaz terminal* y un teclado mediante el cual se seleccionan programas de televisión o se accede a servicios interactivos. El canal de retorno es transportado por la misma fibra óptica que la señal audiovisual hacia el centro de distribución, y es luego transmitido al centro de operaciones. La red de distribución en sí se compone de cables de fibra óptica que enlazan los centros de distribución a los diversos puntos de distribución donde se conectarán los abonados.

A medida que la red se acerca a los abonados, los grandes cables se dividen en cables más pequeños dentro de las cajas de empalme.

Equipo instalado

Fibras y cables para la red de distribución
Las principales características de los cables multimodo utilizados en la red de distribución se indican en la tabla 1. Las fibras son fabricadas por Fibres Optiques Industrie, una subsidiaria de Les Câbles de Lyon. Los cables se componen de un núcleo de polietileno extruido de 4,5 mm, con un elemento central resistente de acero galvanizado de 1,8 mm de diámetro. El núcleo incorpora varios surcos helicoidales para alojar las fibras ópticas. Varios de estos núcleos se agrupan y protegen con una capa de aluminio laminado/polietileno de alta densidad para obtener un cable que contenga 20, 30, 50, 70, 90, 120, 150 ó 210 fibras (Fig. 2). La tabla 2 resume las características de estos cables.

Para los puntos de distribución se utiliza un cable especial de fibra óptica, construido a base de un núcleo cilíndrico de 4,5 mm de diámetro con cinco surcos, cada uno de ellos capaz de alojar una única fibra. Existen tres versiones para instalación en distintos entornos:

- Versión para uso en conducciones múltiples (un cable por tubo) o dentro de

Tabla 1 – Características de las fibras multimodo

Diámetro del núcleo	85 ± 5 µm
Diámetro de la fibra cubierta	125 ± 3 µm
Apertura numérica	0,26 ± 0,02
Atenuación a 850 nm	≤ 4 dB/km
1300 nm	≤ 2 dB/km
Banda de paso a 850 y 1300 nm	≥ 200 MHz km

Tabla 2 – Principales características del cable

Principales características físicas	Número de fibras							
	20	30	50	70	90	120	150	210
Máximo diámetro exterior (mm)	16	18	20	21	27	30	33	35
Peso aproximado (kg/km)	210	230	320	450	500	720	720	900
Esfuerzo máximo de tensión para un alargamiento de fibra < 1,5% (daN/cm)	140	150	270	300	350	400	450	500
Resistencia al aplastamiento (daN/cm)	15	15	15	15	15	15	15	15
Mínimo radio de curvatura:								
Estático (mm)	200	200	230	230	230	300	300	300
Dinámico (mm)	200	200	250	250	250	300	300	350

edificios: presenta una cubierta de aluminio y polietileno de alta densidad (Fig. 3), con un diámetro exterior de 7,5 mm.

- Versión para instalación en muros exteriores: un cable estanco obtenido mediante incorporación de un material de relleno en el núcleo y con una cubierta de polietileno de alta densidad.
- Versión para instalación aérea: este cable autosoportado tiene una sección en forma de 8, con un elemento resistente de acero galvanizado (Fig. 4). Utiliza la misma estructura impermeable que el cable anterior.

El cable de abonado de fibra única es del tipo U, provisto de tres refuerzos, como se aprecia en la figura 5. Se fabrica en dos versiones. Una, destinada a instalaciones aéreas y exteriores, incorpora un relleno de gelatina de petróleo impermeable y un refuerzo externo de kevlar; su diámetro exterior es de 7,5 mm. La otra, para uso interno, tiene una cubierta de polietileno de 5 mm de diámetro.

Hasta mediados de 1989 se han fabricado e instalado unos 3500 km de cable con núcleos estriados, lo que representa unos 70000 km de fibra.

Cable coaxial

Este cable es del tipo 3,9/17,3 mm, con un conductor central de cobre, aislamiento de polietileno celular y conductor externo de aluminio soldado longitudinalmente. Tiene una impedancia de $75 \pm 2 \Omega$ y una atenuación de 3,8 dB por 100 m a 420 MHz.

Principio de conexión en el centro de distribución

El interfaz entre los hilos ópticos procedentes de la unidad de selección de abonado y la red de distribución se realiza mediante empalmes ópticos desmontables. Estos se combinan en módulos de diez y se alojan

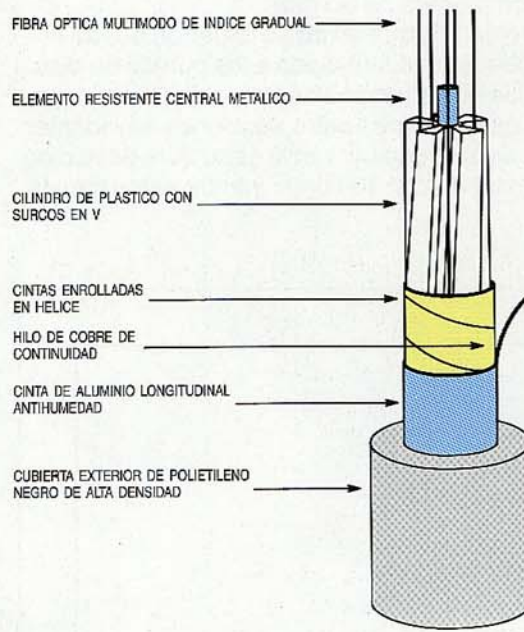


Figura 3
Cable de fibra óptica con núcleo estriado para instalaciones en edificios o conducciones.

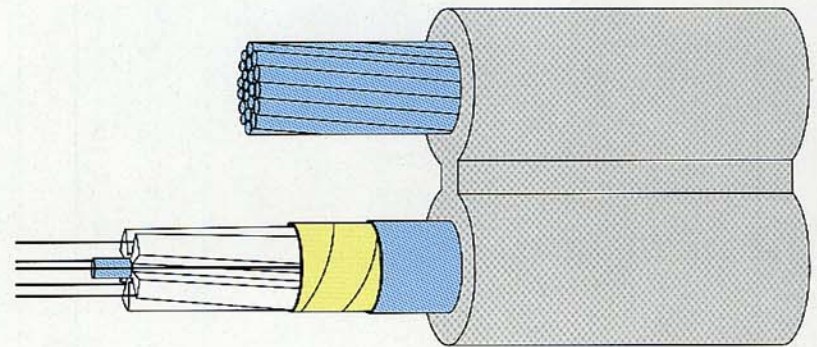


Figura 4
Cable aéreo mos-trando su sección en "forma de 8".

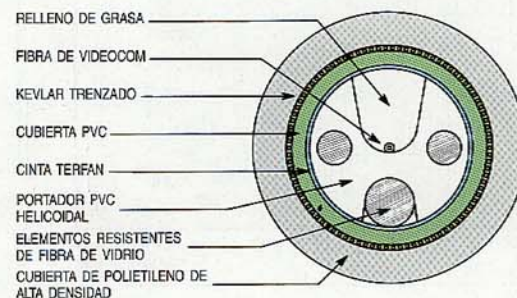


Figura 5
Cable óptico monofibra de usuario.

en cuadros repartidores. El principio de este empalme desmontable es que se separa el recubrimiento primario desde el extremo de las fibras, las cuales se colocan sin más en el fondo de un surco en V, se juntan a tope y se sujetan a las secciones no descubiertas, formando así una conexión desmontable pero no apta para conectarse y desconectarse. Hasta mediados de 1989, en el sistema de videocomunicación se habían realizado unos 180 000 empalmes desmontables, en los que se había conseguido una atenuación media próxima a los 0,15 dB.

Empalmes de la línea

A medida que la red se extiende desde el centro de distribución a los puntos de distribución, el tamaño de los cables disminuye. Los empalmes entre secciones adyacentes de cable que utilizan la estructura de núcleo estriado con 10 fibras, y entre estos cables

y las estructuras más pequeñas de núcleo estriado con 5 fibras, se alojan dentro de cajas de empalme.

El proceso adoptado para conectar las fibras es una técnica eficiente para el centrado estático de fibras sin necesidad de instrumentos mecánicos de precisión. Se emplea un bloque elastómero moldeado con un surco de sección rectangular, ligeramente menor que la sección de la fibra. Este surco se llena con un adhesivo transparente polimerizable y se cubre el bloque con una lámina de vidrio. Una vez despojadas del recubrimiento primario y talladas en su extremo, las dos fibras a conectar se empujan desde lados opuestos, a través del adhesivo, y son automáticamente alineadas por las fuerzas que produce la deformación del elastómero. El empalme se protege luego en un receptáculo relleno con la misma resina polímera. Tras comprobar el empalme con un microscopio, el adhesivo se polimeriza mediante exposición a la luz ultravioleta, y la conexión se protege en un receptáculo metálico.

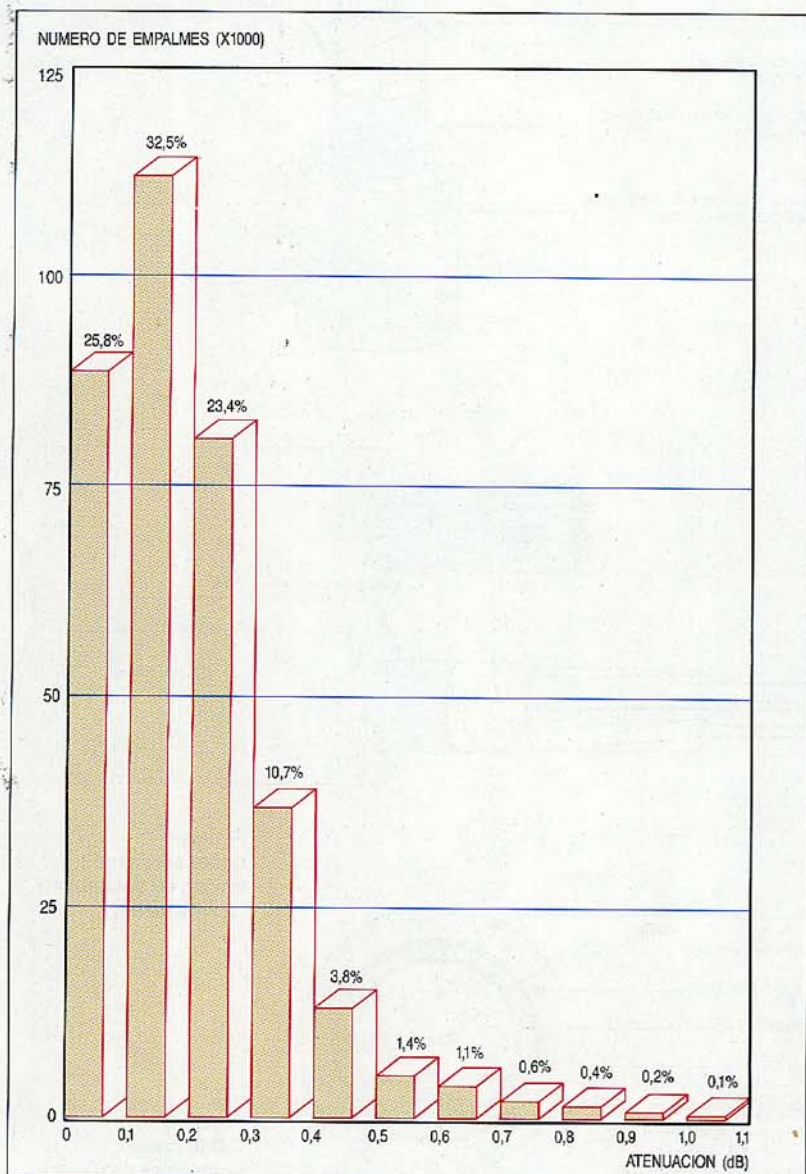
Los diez empalmes que requiere cada estructura de núcleo con fibras embutidas en surcos (o dos estructuras de 5 fibras) se instalan en un estuche de empalmes circular que protege las fibras descubiertas. Los núcleos se enrollan en torno de la periferia de dicho estuche, que se coloca luego en un cesto dentro de la caja de empalme. La ventaja de este método es que, si se necesita una reparación, pueden retirarse los estuches individuales para llevarlos a un puesto de trabajo, lo que facilita mucho el mantenimiento.

Hay cajas de empalme de diversos tamaños, que contienen 3, 9 ó 15 estuches, cada uno de ellos con 10 empalmes de fibra óptica. Se adaptan así a todas las conexiones de la totalidad de la gama de cables utilizados en el sistema de videocomunicación.

Se han desarrollado dos tipos de estuche de empalmes. Uno, que consiste en una caja de aluminio fundido impermeable hasta una presión de 400 mbar, está diseñado para instalarse en registros subterráneos. El otro, una caja de poliéster a prueba de salpicaduras y hermética al polvo, es adecuada para instalación en sótanos de edificios. Es característica común a estas cajas que todos los cables entrantes y salientes acceden desde el mismo lado en un sistema de "espinas de pez", lo que reduce al mínimo el volumen total y hace fácil y flexible su configuración. Cerca de 7000 de estas cajas (conteniendo 350 000 empalmes) han sido instaladas hasta mediados 1989.

La figura 6 muestra la variación de la atenuación conseguida utilizando este

Figura 6
Histograma mostrando la distribución de las atenuaciones de los empalmes.



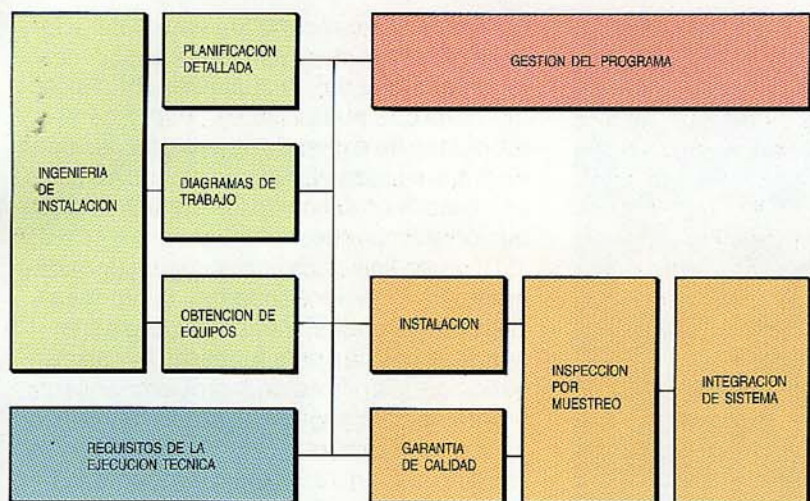


Figura 7
Principales etapas del proyecto cuyo control se realiza mediante el sistema de dirección de proyecto.

proceso de empalmes. La pérdida media es de 0,15 dB con una desviación típica de 0,145 dB.

Ramificaciones en el punto de distribución

El punto de distribución consiste en una caja donde un cable de distribución de cinco fibras se conecta directamente a un máximo de cinco cables de abonado mono-fibra, o hasta 10 cables de abonado mono-fibra mediante multiplexación. Esta caja está a prueba de salpicaduras y diseñada para ahuyentar insectos. Puede instalarse en un poste, en una pared, en un edificio o en un terminal externo.

Para facilitar la operación y el mantenimiento, en cada punto de distribución se instala un empalme desmontable. La fibra, sin recubrimiento primario, se sujeta en una contera rizada dentro de una pieza terminal que sostiene la fibra y su tubo protector. La parte frontal de la pieza terminal está provista de una caperuza desmontable que protege a la fibra cuando está desconectada (p. ej., durante las pruebas). Tras haber cortado una longitud calibrada de fibra, las fibras se introducen en un acoplador que las alinea directamente por los dos extremos utilizando un dispositivo de centrado consistente en seis filas de tres bolas de centrado.

A finales de mayo de 1989 se habían instalado 35 000 puntos de distribución que requirieron la conexión de 175 000 empalmes desmontables de piezas terminales con una atenuación media de 0,35 dB.

Balance energético

Considerando las variaciones en las características ópticas de los diversos accesorios de red y las características físicas de la línea (de 200 a 1000 m del centro de distribución a los puntos de distribución con un máximo de tres empalmes en línea), la atenuación

global de la red de cable se sitúa entre 1,5 y 5,5 dB (a 850 nm), incluidas las pérdidas en los empalmes. El diseñador del sistema debe contar con tales valores al calcular la atenuación de la señal.

Realización de la red y dirección del proyecto

Gestión del programa

La realización y dirección del proyecto se basa en un estricto sistema de gestión del programa controlado por Les Câbles de Lyon (Fig. 7), en el que existen tres etapas.

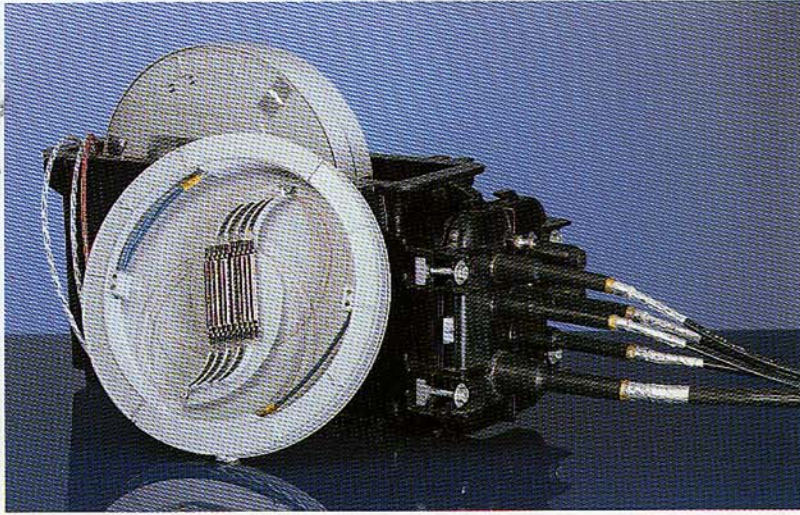
Primeramente, al comienzo de cada contrato, se establece un programa de objetivos que identifica un área de servicios de red extendida a una zona en la que puede haber de 10 000 a 30 000 conectores. Este programa fija los hitos siguientes: finalización de los estudios de ingeniería de instalación, disponibilidad de la infraestructura necesaria (edificios, conducciones, postes para líneas aéreas) proporcionada por France Telecom, y finalización del trabajo real de instalación. De ahí se deduce cuándo debe comenzar la fabricación de fibra y cables.

En segundo lugar, una vez terminadas las etapas preliminares del proyecto, se redacta un amplio plan maestro que cubre toda la red. Los resultados de la fase de estudio de ingeniería servirán para programar el aprovisionamiento interno y externo de equipo y materiales, y para gestionar el personal necesario y los recursos de equipo y herramientas.

La tercera etapa es un plan detallado, para cada centro de distribución, redactado al comienzo del trabajo, el cual muestra el camino crítico, los márgenes del programa, los interfaces entre todos los involucrados en el proyecto, y sus objetivos. Este plan sirve de referencia para valorar la marcha del proyecto. Las evaluaciones periódicas del progreso del trabajo permiten identificar cualquier desviación del plan (adelantos o retrasos), de forma que puedan tomarse las decisiones apropiadas a tiempo para adoptar medidas correctivas.

Estudios de ingeniería de instalación

Al principio, las autoridades locales y France Telecom colaboraron en un estudio de predicción de la demanda probable de servicios de videocomunicación, y redactaron planes generales para entrega a los directores de obra, Alcatel CIT y Câbles de Lyon. Este documento de referencia concierne a una instalación específica, marcando los límites del área a cablear, así como los objetivos en cuanto a volumen de usuarios.



Protección de empalme en línea fabricada por Mars Actel.

Los equipos de ingeniería topográfica de Les Câbles de Lyon determinaron ante todo el número potencial de abonados para cada zona, con el fin de poder dimensionar correctamente la red de tal zona. Efectuada esta valoración, en una fase de partición se agrupan los usuarios potenciales y se determina la situación de los puntos de distribución.

En cada zona de distribución, con 500 a 2000 conectores, el plan de partición formaliza la fase de estudio, especificando la distribución a los diversos edificios, el equipo en los mismos y las agrupaciones lógicas de viviendas en fichas de datos del

edificio. Tras un reconocimiento detallado de la infraestructura existente, el plan de ingeniería civil define cualquier obra suplementaria que pueda necesitarse. Además, los planos de cableado especifican los tipos de cable a utilizar y sus posiciones relativas, así como la situación de los puntos de distribución y empalme.

Una vez finalizada esta tarea, el departamento de ingeniería topográfica produce las listas de equipo y trabajos, que serán entradas básicas para todas las tareas de dirección: planificación, aprovisionamiento, programación, seguimiento de la instalación y control de costes.

En la función de ingeniería topográfica participan unas 50 personas sobre el terreno o en el departamento de ingeniería. La confección y dibujo de planos, que se hacía enteramente de forma manual en 1985, cuando comenzó la actividad, están ahora automatizados en alto grado y utilizan los medios de diseño y dibujo informatizados desarrollados por Câbles de Lyon¹.

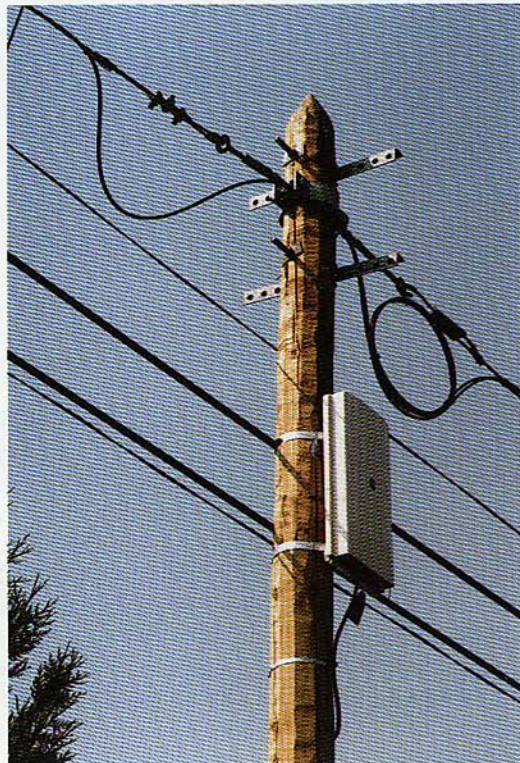
Control de calidad y del proyecto

En cada emplazamiento, las redes de cable son realizadas por las unidades de obra. Utilizando los planes de ejecución, los diagramas de trabajo y un surtido de manuales de equipo, estos grupos instalan las redes y, al finalizar, las entregan al departamento de control de calidad de France Telecom. Se sigue un procedimiento de aseguramiento de calidad para confirmar que la instalación cumple estrictamente los planes, en vez de efectuar tras la instalación pruebas sistemáticas de todos los accesorios, consumiendo un tiempo precioso.

Este enfoque implica:

- Adiestramiento de los especialistas de empalmes empleados por Câbles de Lyon y los subcontratistas, lo cual se realiza internamente mediante charlas y sesiones prácticas.
- Instrucciones técnicas de equipo: éstas se validan primero en los talleres y laboratorios en Clichy, y luego se someten a la aceptación de los departamentos técnicos del cliente.
- Suministro, por el departamento de aprovisionamiento, del equipo que cumple las especificaciones y haya pasado las pruebas de inspección de entrada.

En la práctica a cada instalación se le asigna un agente de calidad para ayudar al director de obra en cuanto al seguimiento de cualquier problema de calidad. Los problemas detectados se describen en fichas de incidentes, examinadas luego por los responsables en la oficina central para analizar cualquier disconformidad con las instrucciones



Punto de distribución para 10 usuarios.

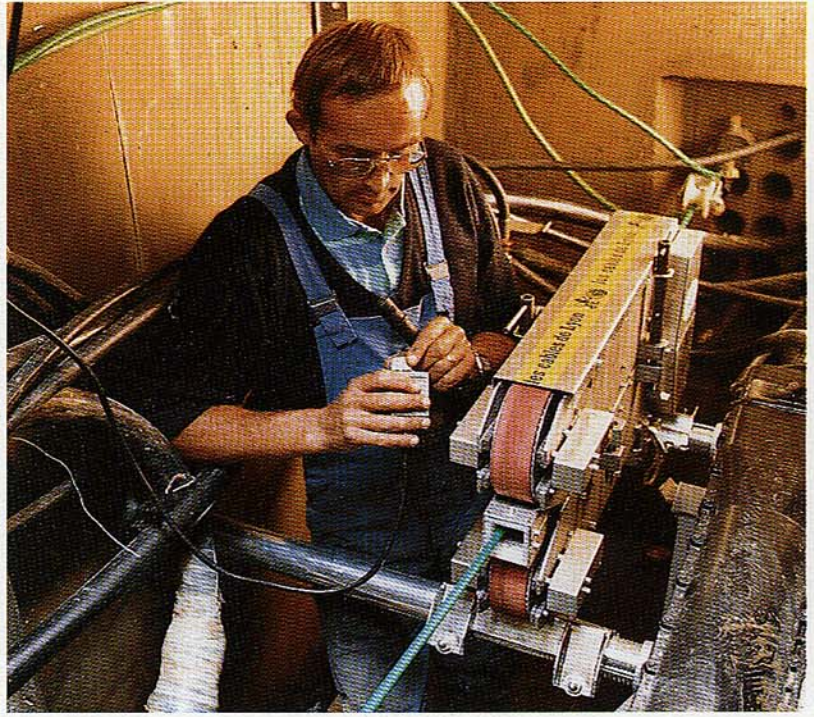
técnicas y, si fuere necesario, mejorar dichas instrucciones.

Debido a que los equipos de especialistas ya no realizan comprobaciones sistemáticas, la persona que realmente ejecuta el trabajo es responsable de su inspección utilizando valores objetivo a los que deben ajustarse las medidas realizadas. Esta metodología de instalaciones no sólo evalúa el trabajo de cada operario sino que refuerza su responsabilidad sobre su propio trabajo, lo que se traduce en una mejora de los niveles de calidad.

Conclusiones

Al igual que la mayoría de los sistemas de comunicación, las redes de videocomunicación utilizan profusamente los cables. La tecnología y la extensión de la red de videocomunicación por fibra óptica que se está instalando en Francia convierten esta red en un caso único.

Una profunda integración de todos los productos y servicios ha demostrado que Les Câbles de Lyon puede trabajar eficazmente con Alcatel CIT. En todo lo que afecta al equipo, las fibras, cables y accesorios se han desarrollado dentro de un programa común. Una dirección rigurosa, que utiliza abundantemente las técnicas de proceso de datos, ha facilitado la coordinación de los estudios de ingeniería de instalación y los procesos de fabricación e instalación, asegurando que se obtienen redes de alta calidad, terminadas a tiempo.



Instalación de cable de fibra óptica en conducción.

Referencias

- 1 C. Guthmann: Ingeniería de redes asistida por ordenador: *Comunicaciones Eléctricas*, 1989, volumen 63, n° 3, págs. 279-285 (en este número).

Jean-Pierre Boinet nació en 1944. Obtuvo un diploma en la Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, en 1967. Dos años más tarde ingresó en LTT, donde trabajó inicialmente en la construcción de la red telefónica francesa interurbana. En 1978 fue nombrado responsable del desarrollo de procedimientos para la instalación de cables de fibra óptica. Desde la fusión de LTT y Câbles de Lyon en 1986, el Sr. Boinet se ha hecho cargo de los proyectos de videocomunicación dentro del departamento de ingeniería e instalación.

Red telefónica en Tailandia

En Tailandia se lleva a cabo un importante proyecto para instalar una moderna red telefónica por todo el país. Como parte del proyecto global, Les Câbles de Lyon está tendiendo cerca de un cuarto de millón de pares primarios en Bangkok y las proximidades de la frontera de Malasia.

J. Swetchine

Les Câbles de Lyon, Clichy, Francia

Introducción

En 1986, TOT (Administración telefónica de Tailandia) publicó su quinto plan quinquenal de desarrollo económico y social que abarca el país entero, cuyo ambicioso objetivo es duplicar la red de telecomunicación de Tailandia y convertirla en el centro de una red regional de telecomunicaciones para el final del séptimo plan quinquenal.

Más concretamente, el plan implica la instalación de 1,2 millones de líneas de equipo de conmutación (en parte para digitalizar centrales existentes), 670 enlaces de transmisión y conexión y 1,5 millones de pares primarios y la red correspondiente.

En 1986, TOT convocó un concurso internacional para la presentación de ofertas, y al comienzo de 1987 seleccionó suministradores para el equipo de transmisión y conmutación y la instalación de la red. Les Câbles de Lyon fue uno de los ocho elegi-

dos para realizar la considerable obra de ingeniería e instalación de red. Cada suministrador es responsable de una zona de Bangkok y de una zona provincial por un valor global cercano a los 75 millones de ECUs. Por razones presupuestarias el trabajo se divide en cinco contratos de un año.

En la figura 1 se muestran las zonas de las que es responsable Câbles de Lyon: un área de 30 x 50 km al noreste de Bangkok, capital de Tailandia (160 000 pares primarios), y otra de 100 x 300 km en la frontera con Malasia, a unos 1000 km al sur de Bangkok, donde se instalarán 90 000 pares primarios adicionales.

Las condiciones del contrato son las mismas para los ocho adjudicatarios, que comenzaron en pie de igualdad en abril de 1987. El cliente y sus asesores supervisan continuamente y comparan los comportamientos de los suministradores en cuanto a su progreso y a las cuestiones técnicas financieras y administrativas.

Según los términos del contrato se privilegia el uso, siempre que sea posible, del material (cables, accesorios) fabricado en Tailandia. En particular, los fabricantes tailandeses de cables son los únicos proveedores de materiales del contrato.

Tarea asignada a Les Câbles de Lyon

Les Câbles de Lyon ha acometido un proyecto total, llave en mano, de ingeniería e instalación de red, el cual implica levantar planos de zonas, prever la demanda de servicios de telecomunicación, planificar a medio y largo plazo, diseñar la red, obtener materiales, realizar la ingeniería civil (construcción de conductos y cámaras y erección de postes telefónicos), tender y empalmar cables y poner en servicio la red tras una fase de pruebas intensivas.

Tendido de un cable a través de una conducción.

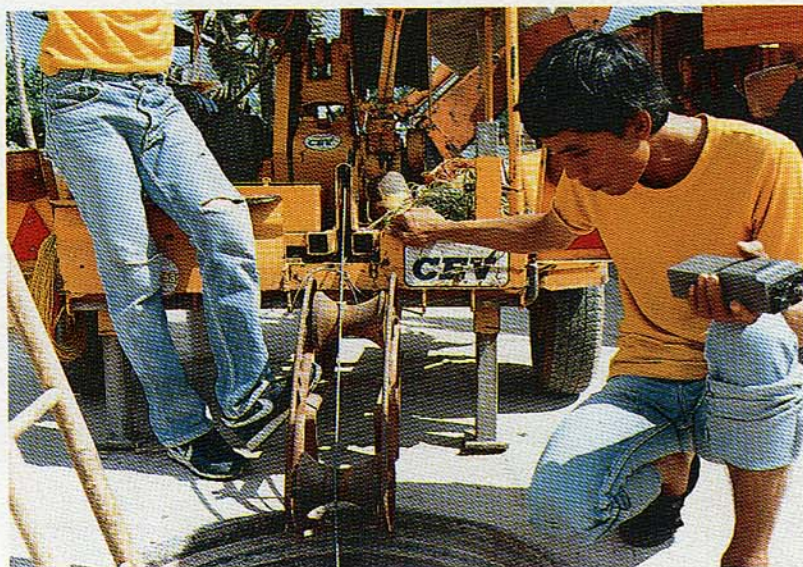
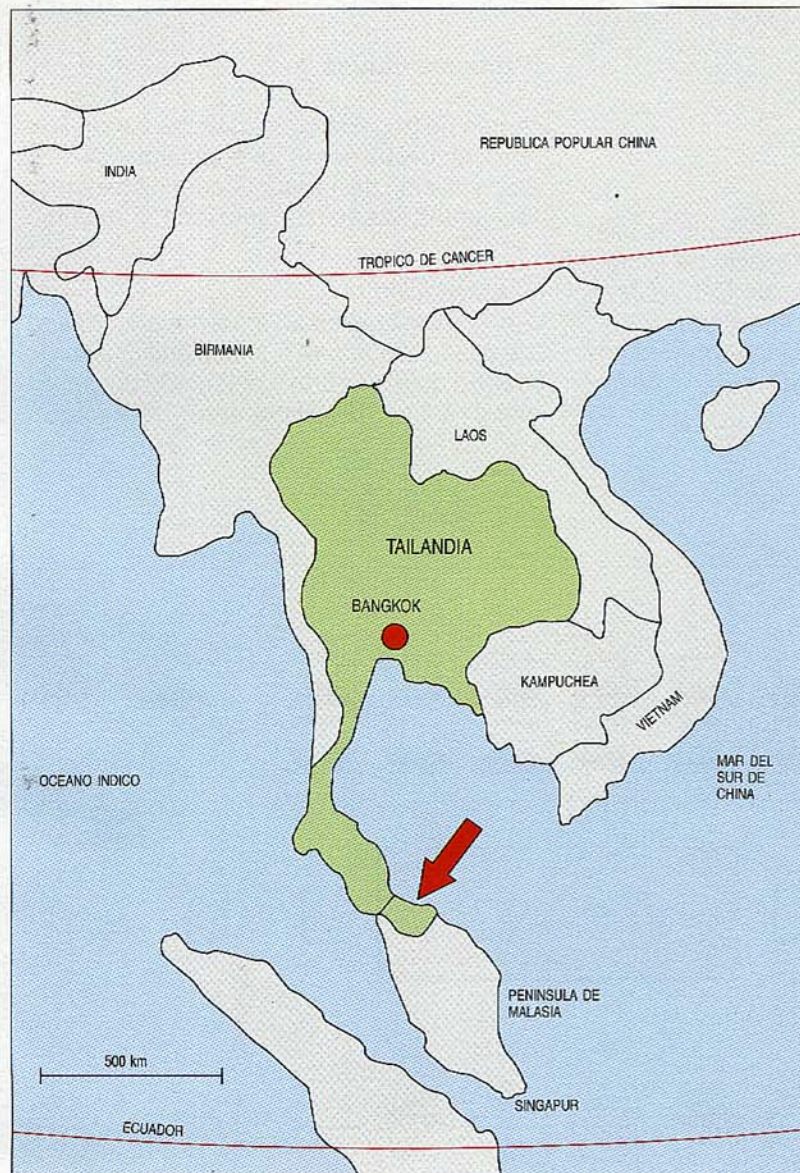


Tabla 1 · Principales hitos del proyecto

Fecha	km de conducción instalados	km de pares instalados	Pares primarios puestos en servicio	% completado (fines de 1989)
Junio 1988	150	59000	17000	100
Junio 1989	177	175000	51000	100
Marzo 1990	188	167000	54000	40
Septiembre 1990	102	181000	91000	—
Septiembre 1991	40	96000	37000	—

Una tarea logística fundamental es la capacitación del personal tailandés, que constituye la gran mayoría de la mano de obra. La capacitación eficaz ayuda a asegurar que la gestión global se realiza sin tropiezos, culminándose las principales etapas del proyecto y alcanzándose los objetivos de coste y calidad. Los principales hitos se indican en la tabla 1.

Figura 1
Situación de las instalaciones emprendidas por Cables de Lyon en Bangkok y en la frontera con Malasia, por contrato con la Administración Telefónica de Tailandia.



Organización del proyecto principal y criterios de gestión

La dirección del proyecto es uno de los principales aspectos del contrato, y por ello el cliente ha estimado su valor en un 20% del que corresponde al total de suministros y obras de instalación. Les Câbles de Lyon ha desarrollado un sistema de dirección del proyecto asistido por ordenador, basado en principios fundamentales establecidos al comienzo del proyecto, y que está ubicado en Tailandia.

La rama tailandesa de Câbles de Lyon goza de considerable autonomía pues la oficina central en Francia está muy lejos, los materiales han de adquirirse localmente y se han de cumplir las leyes del país. En consecuencia, se decidió sentar la base de operaciones sobre el terreno, con la dirección general en Bangkok, cerca del cliente y sus asesores. En cada zona de trabajo se crearon oficinas de instalación.

Las obras de ingeniería civil fueron subcontratadas a la empresa local Ital Thai Development Co, que participó también en otras áreas del proyecto, tales como planificación y diseño, obtención de materiales, obras de cables y dirección del proyecto.

Considerando los altos costes del traslado de personal desde Europa, se decidió utilizar personal tailandés en la medida de lo posible. En la práctica, el 95% de la mano de obra total es tailandesa. Por lo tanto tuvo que organizarse un extenso y completo programa de capacitación que cubriese los numerosos campos y actividades implicados en el proyecto.

Las finanzas y la administración se gestionan también desde Tailandia, aunque el personal que trabaja en estas áreas depende de la dirección de Les Câbles de Lyon en Francia.

Recursos

La organización entera del proyecto radica en Tailandia, con un sencillo interfaz hacia Francia (Fig. 2). El equipo local de dirección es responsable de todos los aspectos del proyecto, incluyendo la calidad, la programación, la eficiencia y los asuntos legales y fiscales.

Inicialmente la División de Ingeniería e Instalación de Redes envió a Tailandia unas 25 personas para encarrilar el proyecto y capacitar al personal autóctono. Más tarde dicho número se redujo a 15, y después a 10.

El proyecto lo controlan conjuntamente un director residente y un director de operaciones. Todo el equipo de dirección del

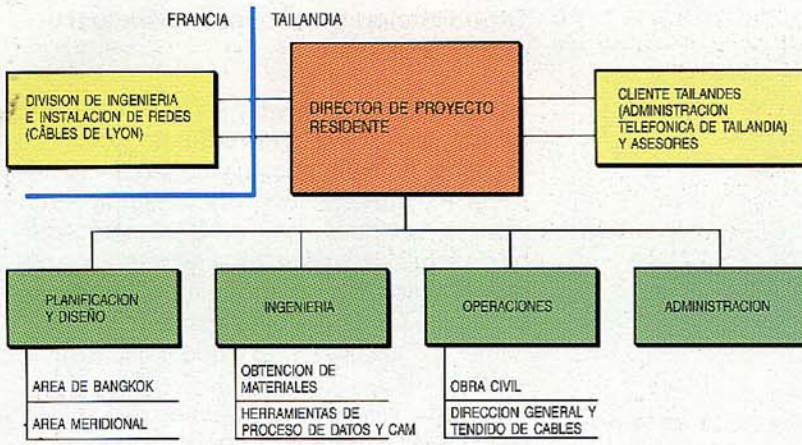


Figura 2
Estructura de la organización creada por Les Câbles de Lyon para dirigir el proyecto de Tailandia.

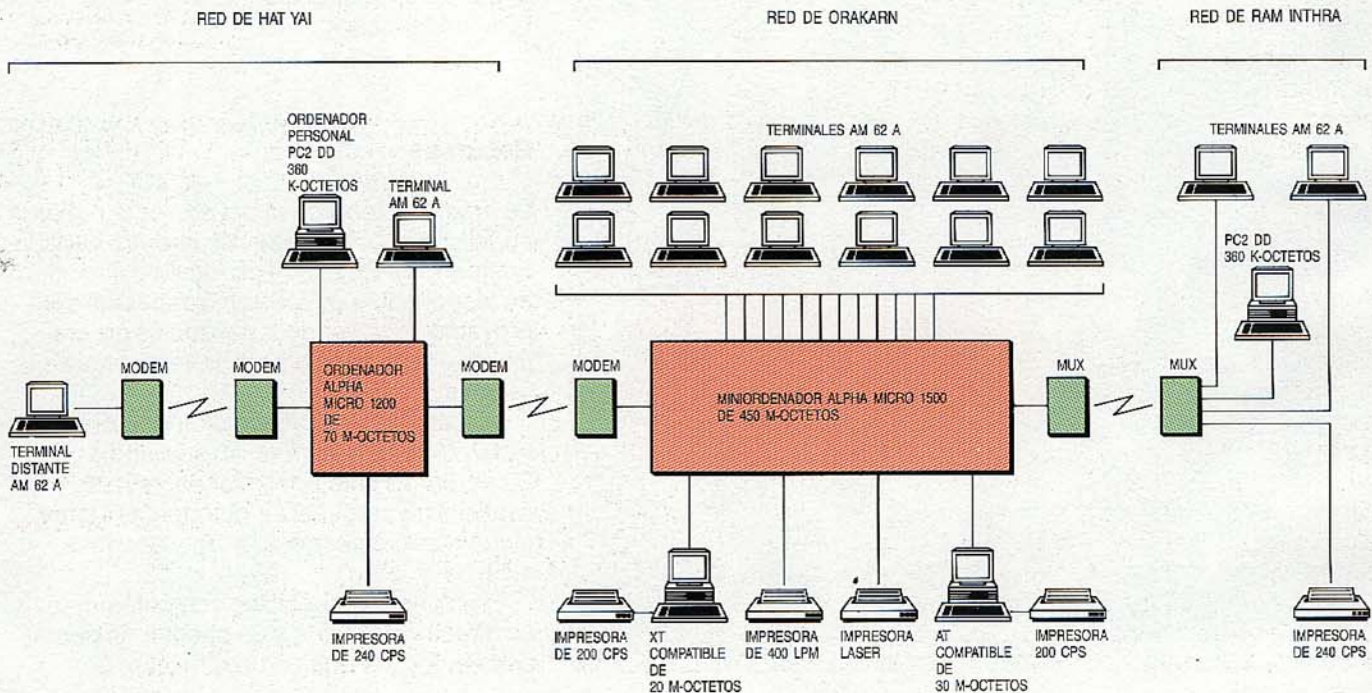
proyecto pertenece a Les Câbles de Lyon, con las excepciones del director de obra civil y el director administrativo, tailandeses ambos.

La oficina central está en el edificio Orakarn, en el centro de Bangkok. Se han construido oficinas de instalaciones y talleres dentro de las zonas fabriles de Ram Inthra, en el área de Bangkok, y de Hat Yai, en el Sur.

Comunicaciones

Una comunicación fiable y eficiente es vital para ejecutar y dirigir el proyecto de Tailandia. En los diversos locales de Câbles de Lyon se dispone de comunicaciones telefónicas, télex y facsímil. Además hay vuelos regulares entre Bangkok y el centro provincial remoto de Hat Yai.

Figura 3
Esquema del sistema de proceso de datos utilizado para controlar el proyecto de Tailandia.



Dadas las considerables distancias entre las centrales de Bangkok y las zonas provinciales, y la gran movilidad de personas y equipos que este trabajo de instalación de red requiere, se necesitó un gran número de vehículos de transporte.

Proceso de datos

Se ha instalado un potente sistema de proceso de datos con el que se realizará la gestión del proyecto. El sistema consta de un ordenador principal en la oficina central de Bangkok, conectado por modems a un ordenador local en el sur y a terminales en la oficina de instalaciones del área de Bangkok. Además hay una red de área local en la oficina central y en cada una de las dos oficinas de instalaciones (Fig. 3).

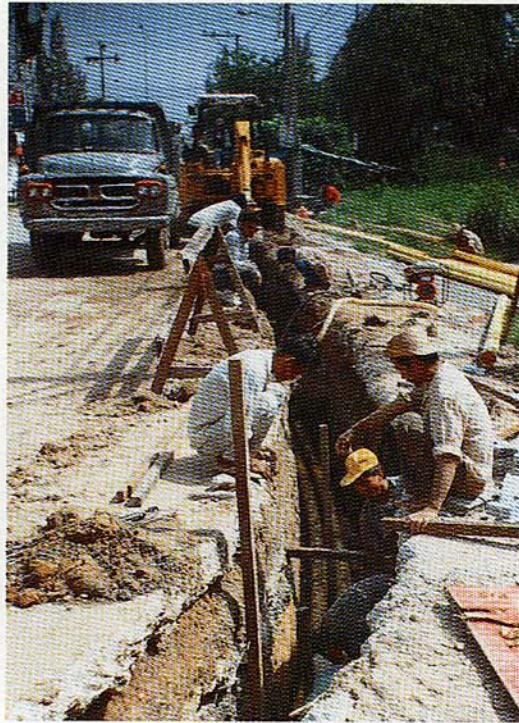
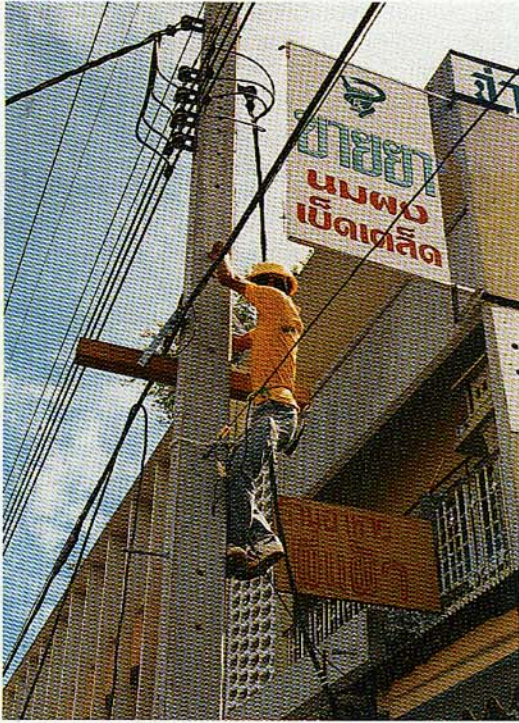
El sistema de ordenador atiende a estaciones de trabajo conectadas a impresoras. Todos los datos de la empresa se almacenan en una base de datos común del proyecto.

Primeras etapas

Antes de poder iniciar cualquier trabajo, el director del proyecto tuvo que considerar la capacitación del personal y definir los procedimientos a seguir durante todo el proyecto.

Capacitación

Se ha desarrollado un ambicioso programa de capacitación que cubría planificación y diseño por una parte y el tendido de cables por otra. Los 70 componentes del equipo



De izquierda a derecha: instalación de una cruceta de madera y excavación de zanja para conducción de cables.

tailandés de planificación fueron capacitados por 15 técnicos de Les Câbles de Lyon. Se creó una escuela técnica para instruir al personal en tendido de cables, y se comenzó adiestrando un equipo de 160 trabajadores tailandeses.

Otras etapas de planificación

Para cada contrato anual han de repetirse un buen número de etapas de planificación, incluyendo diseño y planificación, programación detallada y obtención de materiales.

Procedimientos

Se comprobó que era esencial definir, en cooperación con el cliente y sus asesores, todos los tipos de procedimientos. Para ello se toman en cuenta factores tales como aprobación del diseño, emisión de órdenes de trabajo, obtención de autorizaciones de terceros y permisos de puesta en servicio, órdenes de cambio, facturación, enmiendas al contrato, y así sucesivamente. Todos son esenciales para la marcha armónica del proyecto y particularmente difíciles de acordar con un cliente que trata con ocho suministradores distintos.

Programación general

La programación en tiempo del periodo de cinco años completo se planificó al comienzo del contrato y antes de iniciar ningún trabajo de instalación. Este programa prevé el presupuesto y los recursos necesarios para cada mes, teniendo en cuenta las prioridades del cliente, y se le utiliza para coordinar en el tiempo la instalación de la red con la realización del resto del sistema de telecomunicación, incluyendo los sistemas de conmutación, edificios y equipo de transmisión.

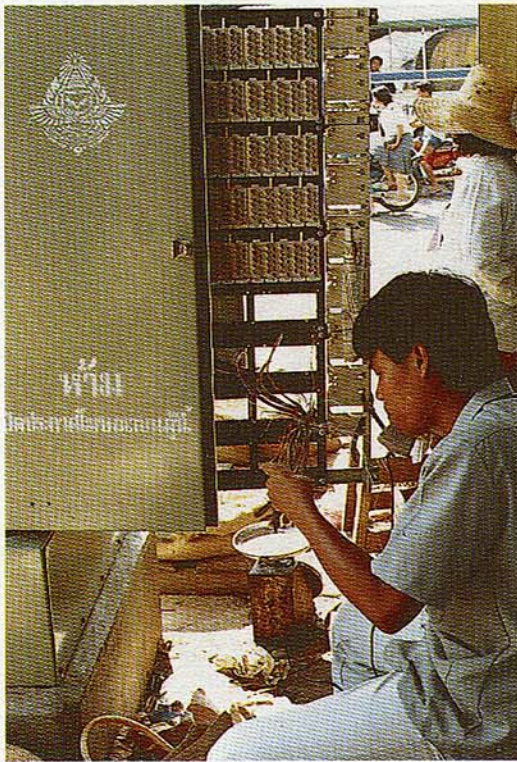
Planificación y diseño

Esta etapa comienza con una inspección detallada de las áreas a cubrir durante el periodo de planificación, incluyendo la preparación de mapas topográficos. El equipo de planificación identifica luego los abonados existentes y en espera, y elabora

Sujección de un cable aéreo sobre el portador.



Prueba de la red tras la instalación.



gramas con diversos niveles de detalle: por instalación, por central, por año, por mes, por semana. Cada uno de ellos se utiliza para un propósito particular.

Su fundamento está en un programa maestro que expone los objetivos e hitos señalados por el cliente. En este caso, el método PERT no es práctico debido a la incidencia sobre el programa de muchos factores y eventos, en su mayoría fuera del control de los planificadores (autorizaciones, acciones de terceros, obligaciones del cliente).

Aprovisionamiento

El contrato detalla los materiales que deben adquirirse en Tailandia, y especifica todos los cables y accesorios. Ciertos factores exigieron una estrecha atención del director residente, en especial el coste de los cables pues el contrato no incluía ninguna fórmula escalatoria ni indexación de los precios de cable con arreglo al precio del cobre, bien superior al de comienzos de 1987, cuando se firmó el contrato. El coste de otros materiales, en especial el del PVC utilizado para conducciones de cable subterráneo había crecido también notablemente.

una predicción de la demanda futura según las directrices de la ingeniería. Las cifras se comparan luego con los datos socioeconómicos jerarquizados, que define el Plan de Desarrollo Económico y Social de Tailandia.

Las cifras finales se utilizan para preparar un diseño general, y posteriormente el diseño detallado junto con la lista de materiales. En total, se llegan a manejar unos 20000 mapas y dibujos.

Cada etapa de esta preparación del plan está sujeta a la aprobación del cliente, lo que subraya la importancia de los procedimientos mencionados anteriormente.

Cronograma detallado

El cronograma y presupuesto detallados se elaboran antes de la realización de los trabajos. Se preparan diferentes tipos de crono-

Realización del proyecto

En comparación con las etapas de preparación y de dirección, la ejecución del trabajo propiamente dicho parece casi sencilla, aunque no lo es. Los principales factores que han de comprobarse en cada etapa son la calidad, la conformidad con los hitos programados, la gestión de recursos, el presupuesto y el buen rendimiento del coste. La calidad se impone mediante estrictos procedimientos de aseguramiento de calidad, cuidadosa supervisión del trabajo y pruebas regulares.

Durante toda la realización Les Câbles de Lyon tuvo que hacer frente a numerosas contingencias, tales como la obtención de

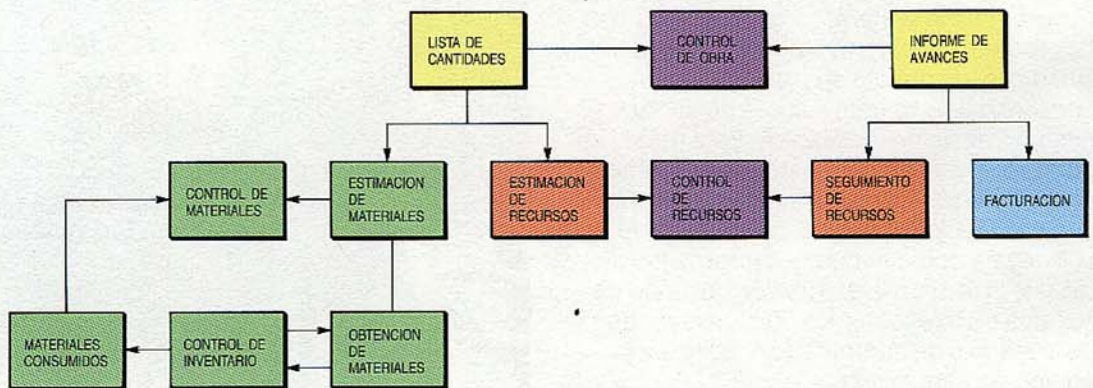
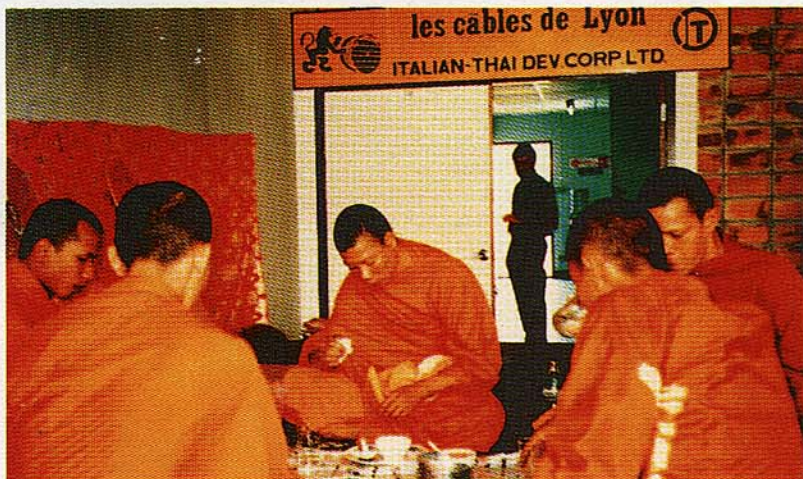


Figura 4 Funciones principales del sistema de dirección del proyecto.



Los monjes budistas bendicen las oficinas de obra.

permisos de trabajo locales, la falta de recursos del cliente para la puesta en servicio, y numerosos pasos administrativos. Sin embargo, el trabajo está progresando bien, con un valor medio de 1,5 millones de ECU del proyecto completados cada mes.

Herramienta de dirección del proyecto

Como antes se ha señalado, una dirección eficaz era esencial para que un proyecto tan grande se completara satisfactoriamente. En consecuencia, durante todo el proyecto se utilizaron herramientas de planificación informatizadas. La herramienta especialmente adaptada por Les Câbles de Lyon al proyecto de Tailandia (véase la figura 4) gestiona todos los aspectos técnicos y administrativos: programación de tiempos, predicción de demanda, estimación de cantidades, predicción de recursos, aprovi-

sionamiento, fichero de datos de abonados, supervisión de recursos, control de inventario, facturación, contabilidad y documentación general.

Conclusiones

Aunque Les Câbles de Lyon sólo acaba de llegar a Tailandia, donde la mayoría de los competidores llevan operando muchos años, los resultados han demostrado ya la capacidad de la Compañía como gran constructor internacional de redes.

La ejecución de un contrato de este tipo en un país en desarrollo requiere continuos compromisos entre la tecnología y las costumbres locales. Como ejemplo de estas últimas valga el suceso ocurrido el 21 de enero de 1988, en Ran Inthra. La hora es las 10.19 de la mañana, el momento considerado propicio para bendecir nuestro establecimiento. Nueve bonzos con sus túnicas naranja, que hemos traído desde sus monasterios en camiones, van a rezar por nuestro éxito.

Así es Tailandia, en la encrucijada entre el alborar del siglo XXI y una tradición eterna y respetable.

Jean Swetchine nació en 1930 en Francia. En 1952 se graduó en ingeniería civil en la Ecole Spéciale des Travaux Publics en París. Ejerce alternativamente en la empresa y en ingeniería, principalmente con Sogelerg/Sedim (parte del Grupo CGE) y con la compañía francesa Bouygues, donde es Director general adjunto encargado de la ingeniería internacional. En 1983, el Sr. Swetchine ingresó en Câbles de Lyon, donde fue nombrado director general del departamento de ingeniería e instalación de redes.

En este número

Culot, B.; Cacheiro, R.; Couet, J.; Ligotky, H.K.

Comunicaciones rurales: problemas y soluciones

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 192-199

Las redes rurales de telecomunicación que cubren una población muy dispersa requieren conexiones de abonado más largas que en las zonas urbanas y suburbanas. Puede minimizarse la repercusión sobre el coste mediante un enfoque global del sistema, considerando a un tiempo la conmutación, transmisión y distribución. Los autores describen los principales subsistemas requeridos: pequeñas centrales rurales, microondas de baja capacidad, estaciones terrenas de rutas de bajo tráfico y sistemas de multiacceso por radio. Todos estos sistemas pueden disponerse conjuntamente o bien instalarse sobre las infraestructuras existentes para ofrecer soluciones eficientes a las áreas rurales.

Ligotky, H. K.

RURTEL: sistema de microondas para telecomunicaciones rurales

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 200-210

RurTel es un avanzado sistema radio digital de punto a multipunto, en AD-AMDT, diseñado para conectar abonados rurales, dispersos en grandes extensiones, con la central telefónica local más próxima. El sistema RurTel consiste en un terminal de central en banda base y su equipo de estación central asociado, junto con las estaciones de abonado y repetidoras. El sistema es altamente flexible en cuanto a las estructuras de red, dentro de distancias de hasta 300 km aproximadamente, las ampliaciones futuras de red y del número de abonados, así como la operación en configuración celular, con el fin de cubrir cualquier tamaño de área. El autor describe la estructura y operación del sistema RurTel que trabaja como concentrador digital en las bandas RF de 1,5 GHz y 2,4 GHz, ofreciendo 28 líneas telefónicas que dan acceso a la central local a 250 abonados.

Cacheiro, R.; Espantaleón, J.

Sistemas de conmutación para aplicaciones rurales

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 211-220

Para satisfacer la creciente demanda de servicios de telecomunicación modernos en las zonas rurales, Alcatel ha desarrollado una gama de equipos que cubren todas las necesidades actuales y pueden incorporar con facilidad nuevos servicios tan pronto como éstos aparezcan. Esto permite a las Administraciones ofrecer a los abonados rurales todas las facilidades y servicios que actualmente disfrutaban los abonados de las zonas urbanas. Los autores describen los sistemas de conmutación rurales que se basan en la arquitectura modular de control distribuido del Sistema 12, y demuestran que se han realizado utilizando los equipos y los programas de dicho sistema.

Devos, J.

Sistemas submarinos de telecomunicación de Alcatel: tradición e innovación

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 221-225

En el pasado, no se utilizaban nuevas tecnologías en los sistemas de telecomunicación submarinos hasta que no se habían probado en sistemas terrestres. Esto ya no es posible por la rapidez de los cambios tecnológicos, pero es todavía esencial para este tipo de sistemas el ofrecer la máxima fiabilidad posible en vista de la dificultad y el coste de las reparaciones del sistema. Para producir sistemas fiables se requiere por consiguiente combinar la experiencia y la innovación tecnológica. El autor esboza la tradición de Alcatel en esta exigente área tecnológica y muestra cómo se está aplicando al desarrollo de nuevos sistemas, que ofrecerán prestaciones y fiabilidad todavía más elevadas.

Reinaudo, C.

Cable para sistemas submarinos de telecomunicación

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 226-230

Se ha desarrollado y calificado por Les Câbles de Lyon un nuevo cable submarino para telecomunicación por fibra óptica. Aunque su diámetro es menor que el de su predecesor, puede soportar una tensión de 10 toneladas sin romperse y presenta la gran fiabilidad que es esencial en aplicaciones submarinas. La reducción en tamaño se ha conseguido utilizando fibras ópticas nuevas y más fuertes, capaces de resistir mayores tensiones de carga. Esto hace que sea suficiente un exceso de fibra del 0,5%. El autor describe el diseño y la construcción del cable y expone las pruebas de calificación realizadas bajo el control de France Telecom, tanto en la fábrica como en el campo. Por sus altas prestaciones, este cable ha sido seleccionado para los sistemas EMOS 1, Tasman 2, MAT 2, y TAT 9. El nuevo cable se produce en la fábrica de Calais y en una nueva fábrica en Australia.

Trezeguet, J.P.

Sistema óptico submarino de telecomunicación S560

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 231-239

La demanda de una mayor capacidad de transmisión submarina ha llevado a Alcatel Submarcom a desarrollar un nuevo sistema óptico denominado S560. Este sistema opera en la ventana óptica de 1,55 μm y su velocidad de transmisión es de 591,2 Mbit/s, que corresponde a una capacidad de 7680 circuitos. Utilizando tres pares de fibra se alcanza una capacidad equivalente de 23 000 canales telefónicos. Puede conectarse con tributarios de 140 Mbit/s ó 3×45 Mbit/s precedentes de la red terrestre. El autor describe los diversos subsistemas, incluyendo el repetidor, equipo terminal de transmisión, sistema de supervisión informatizado y los principios de supervisión y mantenimiento. En todo el artículo se destacan las características del sistema que le permiten existir y funcionar con seguridad en un entorno tan hostil como el fondo del mar durante más de 25 años.

Boussois, J.L.; Goudard, J.L.; Gueguen, M.; Kramer, B.; Sauvage, D. Selección de dispositivos optoelectrónicos para repetidores submarinos

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 240-248

Dada la necesidad de que los sistemas submarinos de telecomunicación funcionen casi sin fallos al menos 25 años, la selección de componentes es de extrema importancia. Los autores exponen los exigentes objetivos de fiabilidad de tales sistemas y los márgenes admitidos para componentes de transmisión y recepción, resumiendo los datos de fiabilidad unificados obtenidos sobre estos componentes. Hacen hincapié en los minuciosos procedimientos de selección elegidos tras una fase de optimización y validación, y en la aplicación práctica de tales procedimientos en la fabricación de este tipo de sistemas. Estos procedimientos se han utilizado ya en el sistema óptico S280 de Submarcom, que funciona en varios importantes enlaces submarinos, y se aplicarán también en el nuevo S560, de mayor capacidad, que se utilizará en los TAT 9 y Tasman 2, así como en otros varios enlaces. Los resultados obtenidos hasta el momento indican que se alcanzarán plenamente los objetivos de fiabilidad de estos sistemas.

Canal Cano, F.; Fatuarte Torres, F.

Nueva generación de sistemas de línea de fibra óptica de baja capacidad

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 249-256

Se ha desarrollado una nueva gama de equipo terminal de línea de fibra óptica de baja capacidad que ofrece un completo abanico de facilidades con un diseño compacto y económico. Existen versiones para trabajar en 2, 8 y 34 Mbit/s. Se utilizan circuitos VLSI a medida y microprocesadores para obtener un canal interno de servicio en el que se vertebran todas las facilidades de servicio, operación y mantenimiento. Este canal se transmite por las mismas fibras que transportan el tren de datos principal, pero con una técnica que asegura su inmunidad ante los fallos del canal de transmisión principal. Los autores describen el nuevo equipo que ofrece la flexibilidad, fiabilidad y las opciones requeridas por los diseñadores para conseguir soluciones óptimas.

Barzagli, P.; Covoni, P.

Sistema de vigilancia en vídeo por fibra óptica para el metro de Milán

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 257-262

Alcatel SIETTE está instalando más de 100 km de cables de fibra óptica monomodo de 24 fibras como arteria central de la red de telecomunicaciones del sistema de ferrocarril subterráneo (metro) de la ciudad de Milán. Algunas de estas fibras se emplean en la transmisión de señales MIC para aplicaciones de voz y datos entre estaciones, operaciones de control remoto, enlaces entre PABX y para conexión de teléfonos. Otras fibras se utilizan como parte del sistema de vigilancia en vídeo. Los autores describen este sistema centralizado, en el cual cada una de las 15 estaciones transmite 32 señales de vídeo por dos fibras monomodo hasta una sala de control centralizado. Cada estación dispone de cuatro transmisores de vídeo que operan a 678 Mbit/s y transmiten ocho canales cada uno. Mediante la multiplexación en longitud de onda se combinan portadoras de 1300 nm y 1550 nm en una sola fibra.

Boscolo, P.; Renault, S.; Susini, S.

Red de área metropolitana experimental de fibra óptica para la Universidad de Florencia

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 263-270

El principal objetivo del proyecto FIORE es desarrollar y estudiar, en un entorno operativo real, servicios telemáticos y de vídeo dentro de un sistema integrado de comunicación de área metropolitana basado en tecnologías de fibra óptica. Los autores describen el logro de tal propósito mediante la instalación de una MAN de fibra óptica que cubre la zona norte-centro de Florencia, proporcionando conexión a Institutos Universitarios, centrales telefónicas y organizaciones privadas. Describen los servicios disponibles en esta red, junto con los puentes y pásarelas a otros servicios que de modo patente acrecientan el valor de la MAN. Se hace especial hincapié en la topología de red así como en las características y servicios ofrecidos por las secciones de red telemática y videomática. Finalmente, contemplan posibles mejoras de la red existente.

Laurenzi, P.; Maraviglia, G.

Instalación experimental de un cable de tierra de fibra óptica en líneas de alta tensión

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 271-278

Un cable de tierra óptico ofrece en potencia una serie de ventajas en sistemas aéreos de energía, ya que debe ser realizable una red de comunicaciones de bajo coste mediante el tendido, en sí económico, de la propia fibra óptica. Para determinar la factibilidad y fiabilidad de este enfoque Alcatel SIETTE ha instalado un cable de tierra óptico experimental en colaboración con ENEL, la entidad eléctrica oficial italiana. Los autores describen la instalación y pruebas de este sistema, que incorpora cuatro fibras ópticas. Se realizó un enlace óptico de 11,7 km de longitud empalmado en bucle las cuatro fibras del cable OPGW. El proyecto ha mostrado que este cable se puede tender y las fibras ópticas empalmarse utilizando técnicas normalizadas. La observación prolongada del enlace óptico ha demostrado que hasta la fecha su comportamiento no se ha alterado apreciablemente, sin verse afectado por los cambios meteorológicos.

Guthmann, C.

Ingeniería de redes asistida por ordenador

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 279-285

En colaboración con Alcatel CIT, Les Câbles de Lyon está diseñando e instalando en Francia la red de cable de fibra óptica más grande del mundo, que forma parte de una red de videocomunicaciones en estrella de la primera generación. Debido al número y a la complejidad de los documentos requeridos para la ingeniería y la construcción, el departamento de ingeniería e instalación de redes de Les Câbles de Lyon introdujo un sistema de diseño asistido por ordenador para acelerar los trabajos de planificación y de ingeniería y asegurar la coherencia de los datos durante todas las fases de un proyecto. El autor describe este sistema e indica cómo se utiliza en la práctica. En vista de su éxito, el sistema se está mejorando para uso en otros campos, tales como la ingeniería de las redes de telecomunicación y la modelación en relieve de los accesorios de cables.

Boinet, J.-P.

Redes de videocomunicación por fibra óptica: ingeniería e instalación de redes de cable

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 286-293

Francia está muy avanzada en la realización de una red de videocomunicación a gran escala a base de una conmutación en estrella. Parte importante de este ambicioso proyecto es la instalación de una amplia red de cables de fibra óptica y puntos de distribución de abonados. El autor describe la red, destacando la necesidad de una planificación y gestión del proyecto eficientes. En particular, describe el importante trabajo de ingeniería e instalación de red implicado en este ambicioso proyecto. Ya se han instalado más de 70 000 km de fibra óptica, lo que representa cerca de un tercio del proyecto actual.

Swetchine, J.

Red telefónica en Tailandia

Comunicaciones Eléctricas (1989), volumen 63, nº 3, págs. 294-299

Les Câbles de Lyon está planificando, diseñando e instalando en Tailandia una red telefónica con más de 250 000 pares primarios. El contrato, del tipo llave en mano, cubre la ingeniería e instalación de la red, así como todos los materiales que han de adquirirse localmente. El autor describe la organización y los recursos establecidos en Tailandia para asegurar la realización satisfactoria y a tiempo del proyecto.

Oficinas Editoriales

La correspondencia relacionada con las diferentes versiones de Comunicaciones Eléctricas debe dirigirse al editor correspondiente:

Rod Hazell
Electrical Communication
P.O. Box 3
South Street, Romford
Essex, RM12AR, England

Wolfgang Schmid
Elektrisches Nachrichtenwesen
Lorenzstrasse 10
7000 Stuttgart 40
Bundesrepublik Deutschland

Antonio Soto
Comunicaciones Eléctricas
Ramírez de Prado, 5
28045 Madrid
España

Catherine Camus
Revue des Télécommunications
ALCATEL N.V.
33 rue Emeriau
75725 Paris CEDEX 15
France