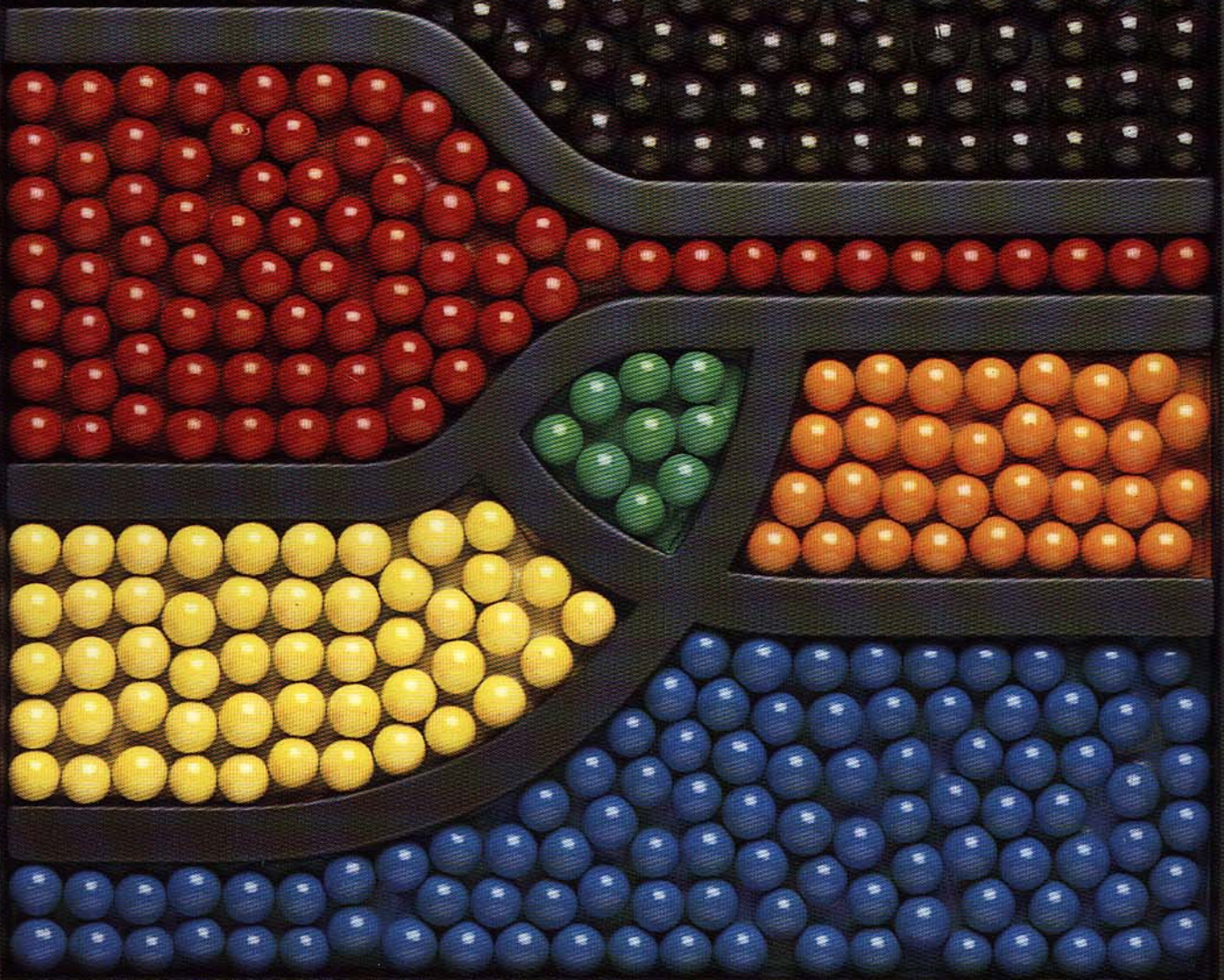


Comunicaciones Eléctricas



Productos de tecnología avanzada

Volumen 61 N° 4 1987

ALCATEL

Volumen 61
Número 4 · 1987

Comunicaciones Eléctricas presenta las investigaciones, los desarrollos y las realizaciones conseguidas por Alcatel NV y sus compañías asociadas.

Publicada desde 1922 en versión inglesa, se edita actualmente en cuatro idiomas y se distribuye en el mundo entero.

Se invita a los ingenieros y científicos de Alcatel a proponer proyectos de artículos, cuyos resúmenes deben enviarse al editor internacional para su consideración.

Dirección
Lester A. Gimpelson

Coordinación internacional
Michael Deason, Londres

Ediciones locales
Comunicaciones Eléctricas
Antonio Soto, Madrid

Revue des Télécommunications
Bernard Canceill, París

Electrical Communication
Rod Hazell, Londres

Elektrisches Nachrichtenwesen
Wolfgang Schmid, Stuttgart

Publicado en febrero de 1988
© Alcatel NV, 1987

Las direcciones de los editores se dan en la página 460

Comunicaciones Eléctricas, Director:
A. Soto, Ramírez de Prado, 5
28045 Madrid (España)

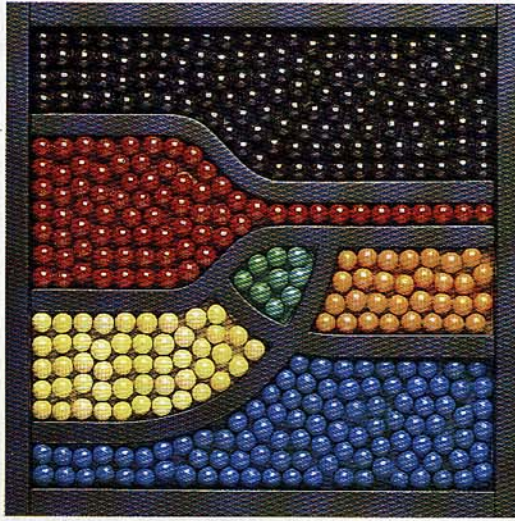
Comunicaciones Eléctricas

Edición española de ELECTRICAL COMMUNICATION
Revista técnica publicada trimestralmente por Alcatel NV

Productos de tecnología avanzada

- 370 **Presentación**
- 372 **El giróscopo de fibra óptica, sensor de rotación avanzado**
W. Auch, E. Schlemper y W. Wenzel
- 379 **Reflectómetros para cables ópticos submarinos**
J.-J. Bernard, C. Bastide y B. Coutty
- 384 **Fibras de característica de dispersión desplazada para sistemas submarinos sin repetidores**
M. Carratt, C. Reinaudo, R. Jocteur y J.-P. Trezeguet
- 389 **Sistemas ópticos para zonas remotas**
D. J. Morris y M. P. Quigley
- 396 **Circuitos integrados bipolares fiables de alta velocidad para transmisión a larga distancia**
J. Briere, J.-C. Cadène, J.-Y. Fourrier, J.-M. Thilliez y D. Tribet
- 404 **Nueva generación de radioenlaces digitales con demodulación directa en radiofrecuencia**
R. Dujardin e Y.-Y. Lebreton
- 410 **El transductor dinámico T800**
M. Kjeldsen
- 417 **Intelligence Service: herramienta para construir sistemas expertos**
B. Flamant y G. Girard
- 422 **Red óptica de televigilancia y transmisión para grandes sistemas de transporte**
J. Lecomte y M. Seguin
- 428 **Realización de una central de banda ancha**
D. Boettle, T. Dripke y G. Eilenberger
- 433 **Sistema videotex Syntex 7000**
J. Pirot y R. Vercammen
- 439 **NOVELINK: pequeña centralita multiusuario**
R. A. Steinberg
- 446 **Submicrogranulómetro de alta resolución**
J. Cornillault, J.-L. Duvent, F. Pierré, y J.-C. de Miscault
- 453 **Ingeniería de programación/máquina virtual**
B. Nicolas y A. Veillon
- 459 **En este número**
-





Las tecnologías avanzadas constituyen el filo del progreso en la industria de la telecomunicación. Sin ellas, no hay duda de que los adelantos serían ínfimos. La constante creación y puesta en práctica de renovados conceptos de sistema, programación y equipos, así como de técnicas de desarrollo y fabricación, es la clave de la futura expansión de servicios de telecomunicación.

En la cubierta se presenta un detalle de la sección transversal de una estructura VLSI.

Presentación

Se reconoce hoy universalmente que las tecnologías avanzadas penetran con rapidez todos los campos industriales. Ello es particularmente cierto en los sectores de la telecomunicación y el proceso de datos, cada vez más en vanguardia de los *proveedores* de nuevas tecnologías, y al mismo tiempo destacados usuarios de un extenso abanico de ellas. Acelera esta tendencia el creciente solapamiento de las industrias de telecomunicación y de proceso de datos, compartiendo más y más tecnologías de equipo y programación así como numerosos conceptos de arquitectura de sistema.

Alcatel NV es una de las grandes fuerzas impulsoras de los avances de la tecnología moderna. Sus actividades abrazan todas las líneas de producto relacionadas con la telecomunicación, incluyendo conmutación y transmisión en redes públicas, comunicaciones de empresa y cables. En cada una de ellas la demanda de tecnologías avanzadas es cada vez más acuciante, y satisfacerla es esencial para mantener la competitividad en los mercados mundiales, *hoy y mañana*.

No es raro en nuestra industria considerar las tecnologías avanzadas asociadas estrechamente a los productos del mañana (los previstos para los cuatro o cinco próximos años). Sin duda, las nuevas tecnologías suscitan la creación en sí de nuevos productos de telecomunicación y proceso de datos, según lo atestigua el creciente impacto de las modernas técnicas ópticas y de la inteligencia artificial. A la inversa, la definición de productos nuevos a menudo recurre a tecnologías aún no elaboradas o desarrolladas, como sucede con los sistemas RDSI de banda ancha, cuya definición inicial ha provocado, o bien ha acelerado, el diseño y elaboración de matrices de conmutación VLSI de suma rapidez. Las tecnologías que son "llave de un producto" pueden en parte obtenerse del mercado más o menos abierto de "proveedores de investigación" por medios bien conocidos como las licencias y la cooperación en programas del tipo ESPRIT y RACE, en los que Alcatel participa activamente.

Sin embargo, Alcatel no puede asegurar su posición en los mercados nacientes sin dedicar un esfuerzo considerable y muy concentrado a las tecnologías que se consideran claves de la creación y evolución de productos y sistemas nuevos en el campo de la telecomunicación. Sólo de esta manera puede una compañía como Alcatel garantizar a la vez su independencia tecnológica y la sensibilidad de sus estrategias de investigación a las necesidades del producto o del mercado. Esta consideración justifica sobradamente la intensificación actual del programa de Investigación y Tecnología de Alcatel, que apunta a objetivos muy ambiciosos en sectores tales como las RDSI de banda ancha y la transmisión por cables ópticos durante la década venidera. Este número de *Comunicaciones Eléctricas* contiene artículos sobre las realizaciones de Alcatel en uno y otro campo, exponiendo lo que puede conseguirse en cuanto a sistemas RDSI de banda ancha demostrativos y al rápido progreso de la tecnología de la fibra óptica que aumenta las posibilidades de la transmisión submarina a larga distancia.

Por otra parte, el número da ejemplos abundantes del papel de las tecnologías avanzadas en los actuales productos y sistemas de telecomunicación. Así, en la transmisión siempre se han utilizado a fondo las tecnologías nuevas, entre ellas la de fibra óptica, que va desplazando por completo a los conductores metálicos en las redes interurbanas. Durante muchos

años la línea de productos de transmisión de Alcatel ha reconocido el papel crucial de las nuevas tecnologías para destacar en la competición, sobre todo en sectores como los cables submarinos y radioenlaces donde sólo algunas compañías pueden "sobrevivir" en el mercado mundial. Ello ha inducido a establecer y desarrollar una fuerte base tecnológica, no solamente en óptica y optoelectrónica sino además en otros sectores técnicos esenciales que determinan la posición competitiva de la Compañía en el ámbito mundial de la transmisión, cual sucede en los circuitos integrados de silicio bipolares de alta velocidad y en las técnicas de demodulación avanzadas para portadoras de microondas.

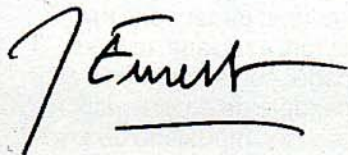
Por si fuera poco, la tecnología avanzada se ha de tomar en su sentido más amplio en nuestra industria: no sólo se refiere a nuevos materiales y refinados diseños de circuitos integrados, ni afecta únicamente a centros de investigación (aunque ellos asuman dentro de Alcatel una capacidad y unos recursos de trabajo muy fuertes), sino que de modo creciente va incidiendo en el desarrollo y toma como objeto el diseño *en sí* de sistemas y productos tanto como las "tecnologías" en el sentido convencional.

Este número expone el talento y la ingeniería innovativa que encierran algunos desarrollos clave de productos próximos al usuario ordinario, cuales son el transductor telefónico con prestaciones notablemente mejores o el cuidadoso y económico diseño de una red de fibras ópticas para zonas remotas.

En el terreno de la programación, de aguda incidencia sobre los costes de desarrollo de nuestros sistemas esenciales, merece destacarse que la eficaz integración de las herramientas existentes en un entorno de desarrollo "orientado al objeto", tal como el VM/SE, puede acarrear grandes mejoras en productividad y calidad de la programación. En el caso de dicho entorno, la innovación estriba en la combinación de herramientas "viejas" (las existentes) y "nuevas" (gestión de base de datos relacional), en una estructura que admita la evolución en el futuro.

Por último, podría sorprender a algunos lectores el que Alcatel dedique actividades con alto contenido tecnológico a sectores aparentemente alejados de las telecomunicaciones, como los giróscopos de fibra óptica y los instrumentos de granulometría basados en láser. En parte, esto refleja el grado de diversificación que cabe esperar de un Grupo tan vasto como Alcatel, pero además tiene grandes repercusiones en el desarrollo futuro dado el campo que abre a un fructífero intercambio tecnológico en el seno de la Compañía.

Se comprende así nuestro justo orgullo de precursores en actividades que engloban desde técnicas básicas de telecomunicación, como la óptica y la optoelectrónica, hasta la innovadora ingeniería aplicada a productos y sistemas reales en cada uno de los sectores de nuestra industria.



J. Ernest

Director Adjunto de Investigación y Tecnología
Alcatel NV,
Bruselas, Bélgica

El giróscopo de fibra óptica, sensor de rotación avanzado

Los giróscopos de fibra óptica tienen propiedades muy específicas que pueden explotar los diseñadores de sistemas de navegación inercial. El nuevo dominio de la óptica integrada abre el camino para alcanzar la madurez de producción de este tipo de sensor.

W. Auch
E. Schlemper
W. Wenzel

Standard Elektrik Lorenz AG, Stuttgart,
República Federal de Alemania

Introducción

Crece con rapidez el interés por el diseño y desarrollo de GFO (giróscopos de fibra óptica), obedeciendo a dos grandes motivos. Primeramente, este nuevo tipo de sensor de rotación, junto con una gran familia de sensores de fibra óptica, aprovecha la tecnología de comunicaciones ópticas. En general, los sensores de fibras miden magnitudes físicas tales como temperatura, presión, ondas acústicas, translación y rotación. Se basan en componentes ópticos y tecnologías elaborados para sistemas de comunicaciones ópticas: diodos láser semiconductores, fibras, fotodetectores y óptica integrada. Esto sigue siendo cierto aunque para construir un giróscopo práctico se necesiten componentes modificados o desarrollados especialmente.

En segundo lugar, pese al enfoque puramente tecnológico de este subproducto del

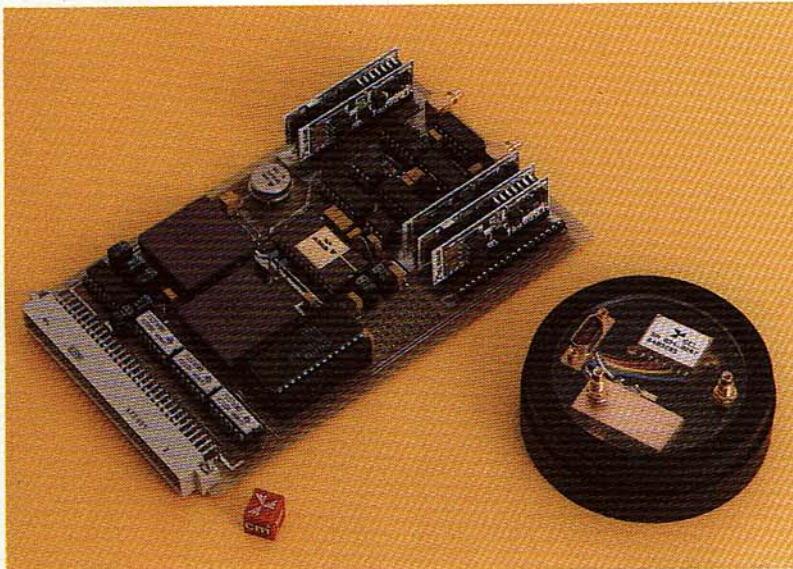
campo de las comunicaciones, el interés comercial de los GFO se basa en el análisis de sus distintas aplicaciones. Desde este punto de vista, el GFO pertenece a la familia de los SNI (sistemas de navegación inercial), ampliamente usados en aviones civiles y militares. Un SNI proporciona una información mundial de navegación en cualquier condición meteorológica. Además de ser un sistema de navegación autónomo y resistente a las interferencias, que aporta datos de posición y velocidad del vehículo, el SNI da información a los sistemas de piloto automático y de control de vuelo.

Un SNI se compone de un módulo sensor con acelerómetros, giróscopos y la electrónica de lectura asociada, más el equipo de ordenador con su memoria e interfaces, y el paquete de programación para lectura del sensor, modelado de errores y cálculo de los datos de navegación. El GFO reemplaza con su avanzada tecnología a los giróscopos mecánicos de masas giratorias utilizados en los equipos de SNI actuales.

El principio físico de un GFO consiste en medir la velocidad de rotación por medio de ondas electromagnéticas o de luz guiada en una fibra óptica. En consecuencia, el GFO no está sujeto a ciertas limitaciones de los giróscopos convencionales, como son la sensibilidad a la aceleración y las restricciones de anchura de banda y margen de medida. Por añadidura, no tiene partes móviles y resiste aceleraciones de varios miles de "g" sin fallo. Un giróscopo de fibra puede producirse en diferentes tamaños y formas, y su anchura de banda de aceleraciones es extremadamente alta.

El motor, no obstante, del desarrollo actual de un GFO en SEL es el mercado mismo. Los giróscopos se caracterizan por unos cuantos parámetros clave que pueden

Bloques constitutivos de un giróscopo de fibra óptica con la electrónica de lectura (a la izquierda) y la óptica (a la derecha).



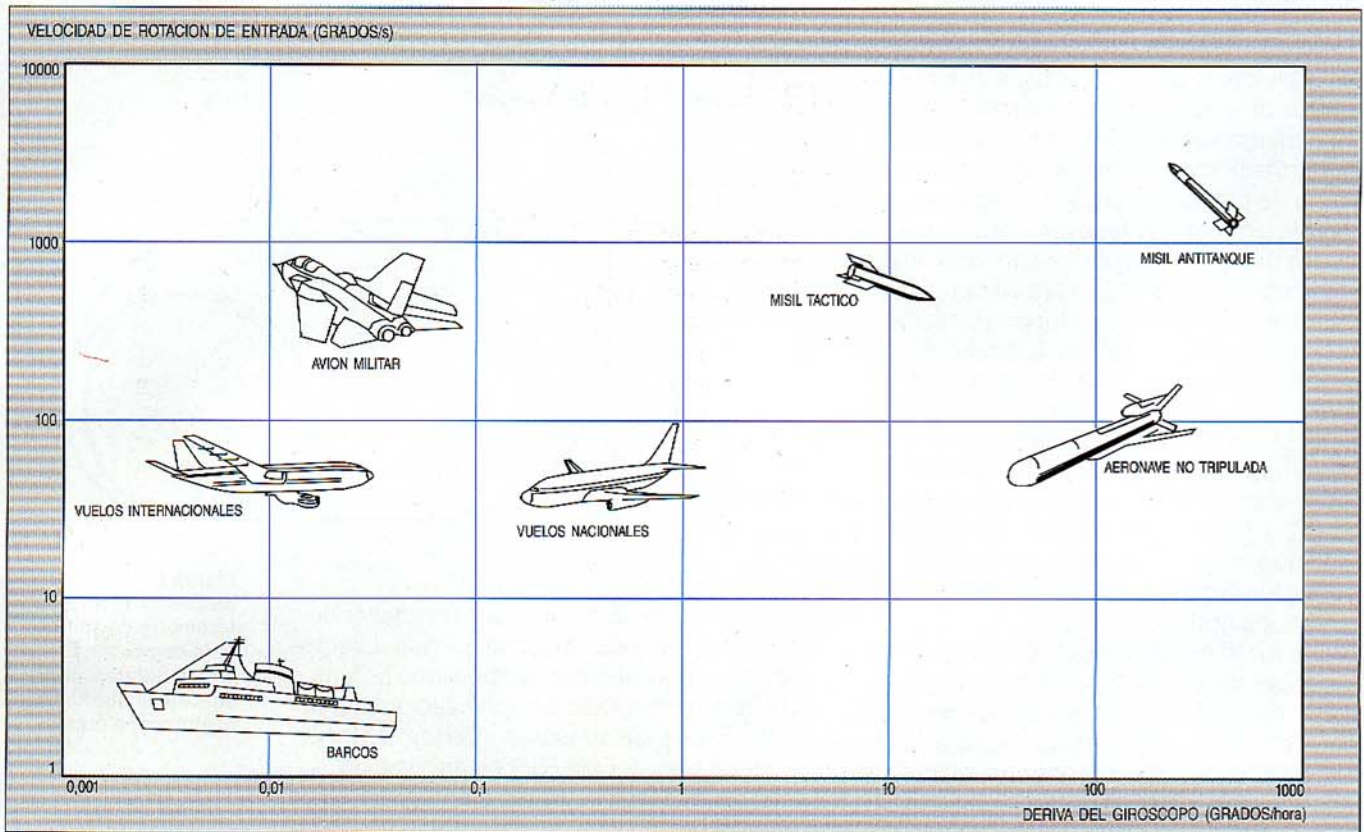


Figura 1
Campos de aplicación de los giróscopos caracterizados por el margen de deriva y de velocidad de rotación.

clasificarse en diferentes tipos. Un parámetro es la deriva o incertidumbre de polarización, que determina el límite inferior de la velocidad de rotación o del ángulo de resolución. Un segundo tipo es el margen dinámico o límite superior de la medida de velocidad de rotación. En cuanto a la deriva del giróscopo, las aplicaciones van desde 10^{-3} grados/hora para un SNI submarino, pasando por los 10^{-2} grados/hora de un SNI de aviones comerciales, hasta los 1 a 10 grados/hora de deriva en sistemas de referencia de posición o rumbo, y hasta 10, 100 e incluso 1000 grados/hora en sistemas de guía y control de misiles. La velocidad de rotación de entrada varía desde 15 grados/hora cuando sólo se mide la rotación de la tierra, hasta 1000 grados/segundo en aplicaciones de misiles.

La figura 1 ilustra esta situación. En el extremo de alta precisión de la escala los requisitos de calidad predominan sobre las consideraciones de coste. Sucede lo contrario en sistemas de bajas prestaciones, donde prima el coste reducido. Entre estos extremos hay una gran región en la que un sensor inercial, para ser útil, debe ofrecer una óptima relación de coste a prestaciones. Sólo características muy especiales pueden justificar un coste superior para iguales prestaciones, y ahí podría incluirse el incremento de la vida útil, la ausencia de costes de mantenimiento, la fiabilidad acreditada, un margen dinámico de suma ampli-

tud, o la posibilidad de insensibilizarlo a aceleraciones extremadamente altas. El mayor mercado lo tienen los giróscopos en el margen de 10 a 100 grados/hora de deriva, con velocidades de entrada de hasta 1000 grados/segundo.

Aunque la idea inicial de SEL era desarrollar una nueva generación de giróscopos para sistemas de navegación inercial, han surgido aplicaciones enteramente nuevas, tales como sistemas de guía para automóviles, giróscopos para el control de movimiento de robots, medida de la situación y orientación de perforadoras petrolíferas después o incluso durante la perforación, y un vasto mercado militar.

Principio de funcionamiento de un giróscopo de fibra óptica

El principio de los sensores de rotación se conoce desde hace más de cien años. En 1850 Foucault fue el primero en usar una masa giratoria exenta de movimiento lineal para demostrar la rotación de la tierra, sólo dos años después de su famoso experimento del péndulo. En 1904, Anschütz, apoyado posteriormente por Schuler, demostró el primer compás giroscópico para barcos.

Desde 1913 se conoce un método totalmente diferente basado en ondas electro-

magnéticas. Su principio físico es el efecto Sagnac¹, explicable por la teoría general de la relatividad². Un GFO es básicamente un interferómetro de anillo. La figura 2 muestra en esquema un interferómetro de Sagnac, cuya rotación en torno a un eje ortogonal al plano de propagación de la luz induce un desplazamiento de fase $\Delta\phi_S$ entre las ondas que se propagan en sentidos opuestos. Para una bobina de fibra cilíndrica, la diferencia de fase es proporcional a la longitud de la fibra L , al radio de la bobina R y a la velocidad de rotación Ω . En un sensor práctico, una fibra de 100 m de longitud en una bobina de 35 mm de radio con una velocidad de rotación de 10 grados/hora da un desplazamiento de fase de 10 μ radianes ó $0,57 \times 10^{-3}$ grados. Esto ilustra la precisión que exige la medición de fase entre ondas luminosas para poder construir un giróscopo óptico.

Los fundamentos del GFO y los principales aspectos conflictivos se han tratado en distintos artículos^{3,4,5,6}. En el presente, se pone de relieve la necesidad de una alta integración de los componentes eléctricos y ópticos para desarrollar un giróscopo de fibra óptica económico.

Estructura del equipo de un GFO

A principios de 1986, SEL inició el desarrollo a plena escala de un producto GFO con proceso digital de señal y salida de velocidad digital. Pese a la aparente sencillez del interferómetro de Sagnac mostrado en la figura 2, la medida de desplazamientos de fase en la gama de microradianes sólo puede lograrse si se combina una etapa óptica bien diseñada con una electrónica de lectura de complejidad comparable. El GFO consta de tres distintos bloques funcionales:

Óptica: esta unidad es el elemento sensor compuesto por la bobina de fibra, fuente de luz, fotodetector, etc. El giro de la bobina sensora alrededor de su eje se mide con respecto a la estructura inercial.

Electrónica de lectura digital: la parte electrónica es necesaria para operar la unidad óptica, para realizar el proceso de señal y para dar una salida de velocidad de rotación digital, en la debida escala.

Fuente de alimentación: proporciona entradas controladas de ± 12 V y + 5 V para la electrónica de lectura.

En la figura 3 se muestran las secciones óptica y electrónica del GFO. La luz del diodo láser en el módulo fuente pasa a través de un acoplador de fibra a un COI (circuito óptico integrado) que combina las

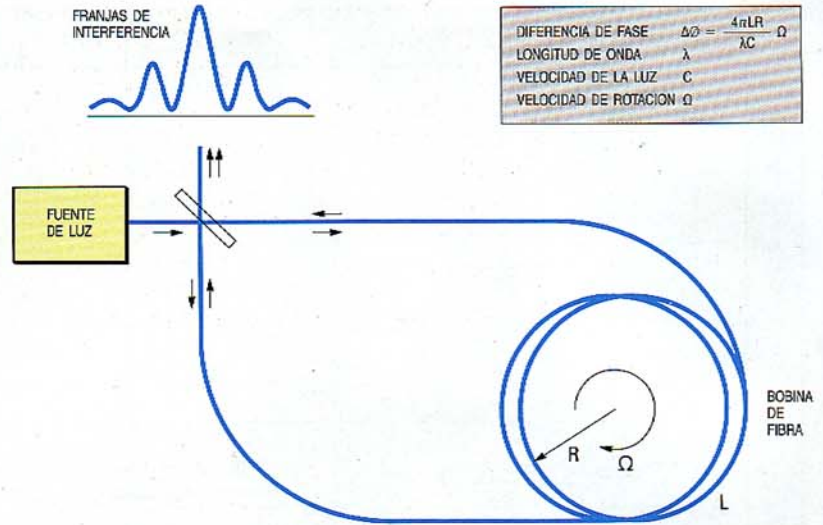


Figura 2
Esquema de un interferómetro de anillo para demostrar el efecto Sagnac, principio en el que se basa el giróscopo óptico.

funciones de un polarizador, un divisor de haz y un modulador óptico de fase. Las dos salidas del COI se conectan a una bobina de fibra monomodo de polarización mantenida, ideal para sensores interferométricos de fibra óptica. Esta fibra se arrolla a un carrete metálico con capa amortiguadora de silicona, el cual va montado rígidamente en el alojamiento del giróscopo por lo que da un plano de referencia bien definido para sus ejes de entrada. El módulo detector consiste en un fotodetector PIN con un preamplificador híbrido.

La salida del detector se lleva a un preamplificador y un filtro paso banda, ambos contruidos como circuitos híbridos miniatura en tecnología de película gruesa y componentes montados en superficie sobre sustratos cerámicos. Un conversor rápido A/D (analógico/digital) de 8 bits y 4 MHz proporciona valores digitales de la señal de salida del detector, los cuales pasan al procesador de señal que integra y filtra la salida del conversor A/D antes de llevarla al procesador integrado del sistema para adaptar la escala, modelar y controlar la señal que sale del giróscopo. Todos los circuitos híbridos y digitales están montados en una sola placa de circuito impreso.

Proceso de señal y electrónica de lectura

El corazón de la electrónica del GFO es el conversor A/D de alta velocidad y el procesador de señal (de diseño propio). Para entender mejor el funcionamiento de la electrónica, conviene examinar brevemente el esquema de modulación.

La fase óptica se determina con un montaje de interferómetro, midiendo la variación periódica de la intensidad luminosa en las franjas de interferencia. En el caso de un

interferómetro de anillo en su configuración recíproca (Fig. 3), la intensidad de la franja de orden cero varía con el coseno del desplazamiento de fase o velocidad de rotación. Esto da en general una salida ambigua, con poca sensibilidad para velocidades de rotación pequeñas, dificultad evitable aplicando una modulación de fase adicional. En efecto, una modulación sinusoidal de fase en un extremo de la bobina de fibra produce una señal de salida alterna, cuyo primer armónico tendrá una amplitud idéntica a la frecuencia de modulación aplicada y proporcional al seno del desplazamiento de fase "Sagnac". La ambigüedad para velocidades de rotación altas se resuelve utilizando una fibra de corta longitud. La máxima diferencia de fase, correspondiente a la mayor velocidad de rotación que se desee medir, se mantiene así dentro de la primera franja.

La principal función de la electrónica de lectura es detectar la variación de fase del primer armónico en la salida del detector. Esto se hace mediante el muestreo síncrono de los dos semiperíodos de la señal. La sincronización queda garantizada por el generador de reloj, que aporta tanto la señal de modulación para el modulador de fase como la señal de disparo para el convertor A/D. Un aspecto importante es la longitud

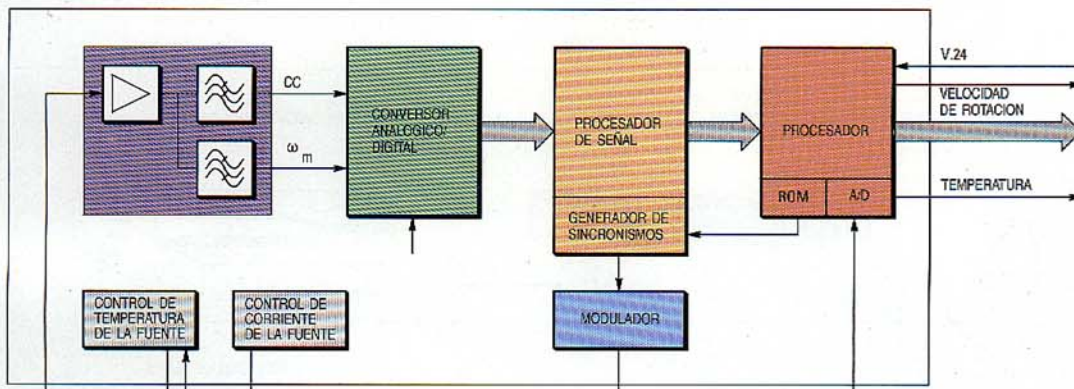
de palabra a utilizar en dicho convertor. El margen dinámico del GFO en desarrollo es desde 10 grados/hora hasta 400 grados/segundo, y en principio, eso requiere un convertor A/D de 16 bits. No obstante, en la electrónica actual del giróscopo se utiliza un convertor de alta velocidad de 8 bits, cuya salida se promedia con objeto de aumentar su resolución de manera que pueda cubrir este amplio margen dinámico. Ello es posible en ciertas condiciones de ruido.

En el diseño y desarrollo del equipo físico del procesador de señal y del generador de sincronismo se utilizó una estación de trabajo CAD/CAE, obteniendo como resultado un único circuito integrado de ordenación de puertas ("gate array").

Tecnología de óptica integrada

En la realización del GFO se demuestra que es posible reemplazar a los giróscopos mecánicos en muchas aplicaciones. Sin embargo, el giróscopo de fibra óptica sólo tendrá éxito si se ofrece miniaturizado y como producto estable mecánica y ambientalmente a un precio competitivo. Para ello hay dos dificultades principales. La primera es que el proceso de producción consume

(a) ELECTRONICA



(b) COMPONENTES OPTICOS

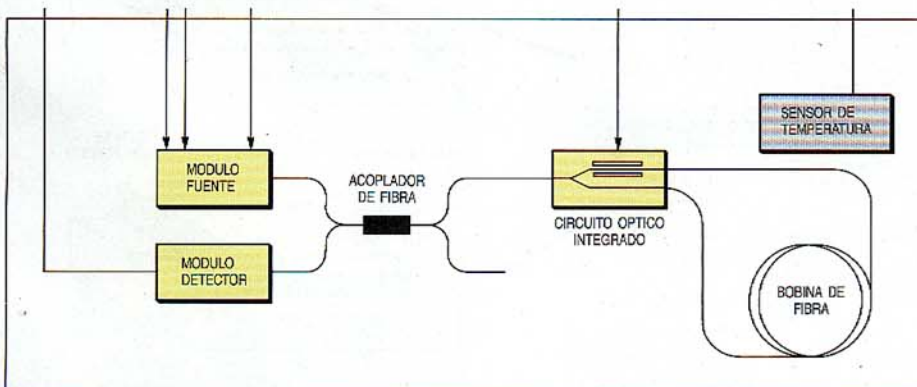


Figura 3
Subsistemas y estructura de equipo funcional de (a) electrónica de lectura del GFO y (b) componentes ópticos.



COI modulador de fase desarrollado para utilizarse en un GFO.

Figura 4
Etapas de la producción de un COI: (a) recubrimiento de titanio, (b) estructura de guías lineales de titanio después de los procesos fotolitográfico y químico, y (c) diseño final de COI.

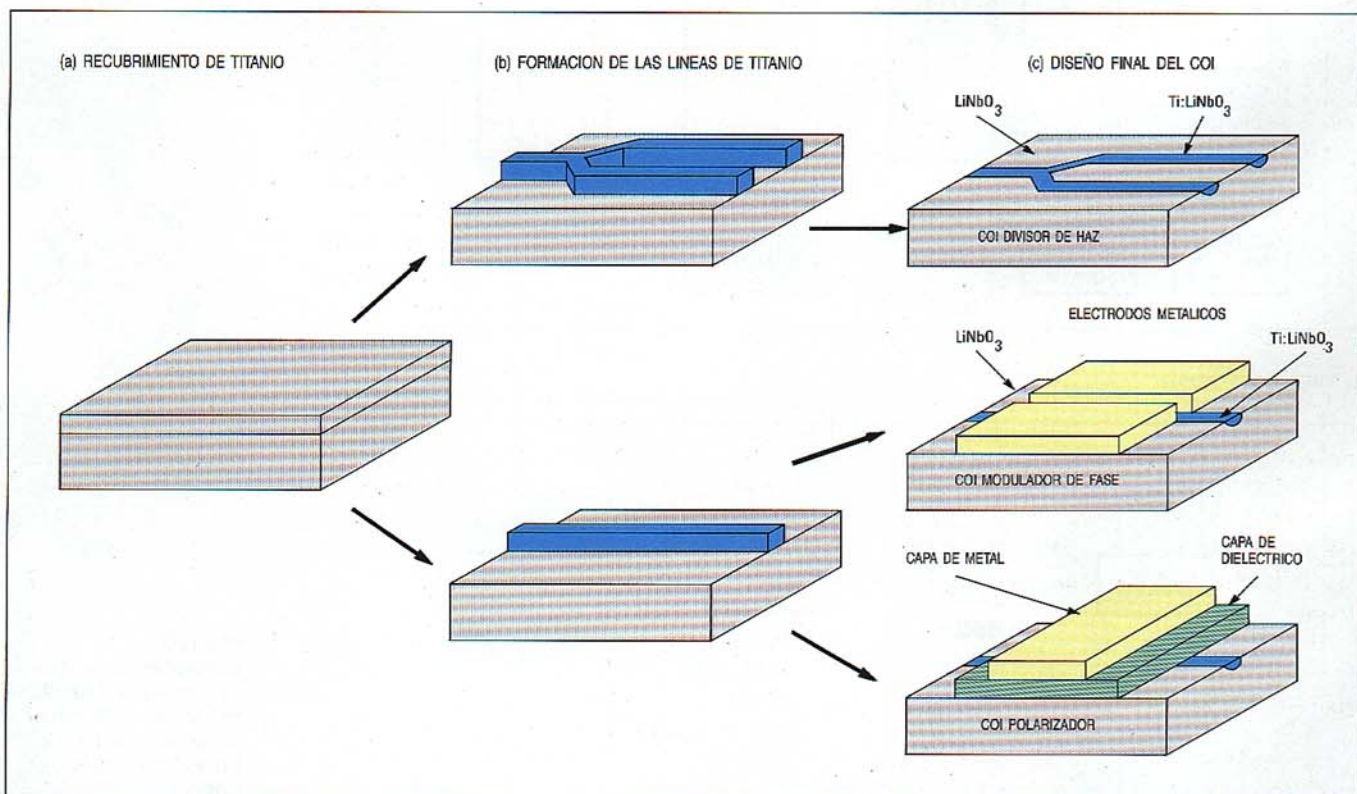
abundante mano de obra y tiempo, y la segunda, que las fibras de polarización mantenida son caras. Los costes de materiales pueden reducirse acortando drásticamente la fibra, pero esto nos lleva a frecuencias de modulación que exceden las posibilidades de los moduladores de fase de fibra óptica. Sin embargo, existe la posibilidad de construir tales moduladores lineales de

banda ancha aplicando una nueva tecnología denominada *óptica integrada*, la cual posibilita la integración del modulador de fase, del polarizador y del divisor de haz en la cara superior de una sola pastilla de 5×20 mm. En consecuencia, el desarrollo y la producción de los COI son esenciales para realizar un giróscopo de fibra económico.

Descripción de la tecnología

En la figura 4 se muestran las etapas de producción de pastillas. El primer paso en la construcción de un COI es generar los guíaondas monomodo. La superficie del sustrato de LiNbO_3 se cubre con una película de titanio de un espesor definido a la que se le da luego forma mediante procesos fotolitográficos y químicos, fijando con esta estructura las funciones de la pastilla. A continuación estas líneas de titanio se difunden en el sustrato a unos 1000°C , lo cual aumenta el índice de refracción localmente y forma el guíaondas deseado. El segundo paso consiste en pulir los bordes de la pastilla para el acoplamiento de entrada y de salida de ondas luminosas en los guíaondas. El último paso depende de la función del COI:

COI divisor de haz: no queda nada por hacer, si bien deben destacarse dos cosas. En primer lugar, el radio de curvatura de ambos guíaondas debe ser suficientemente grande para que las pérdidas por curvatura sean mínimas (con respecto a las guías



rectas pueden lograrse pérdidas cercanas a 1 dB). Además, la distancia entre ambas guías en el borde de la pastilla debería ser de unos $400\ \mu\text{m}$ para poder conectar a dichas guías fibras monomodo de $400\ \mu\text{m}$ de diámetro.

COI modulador de fase: se colocan dos electrodos de metal en la pastilla próximos a las guías, como indica la figura 4. Este procedimiento es similar al recubrimiento de titanio. La aplicación de un voltaje cambia el índice de refracción del LiNbO_3 (efecto electroóptico), modulando así la fase de la onda guiada. Con una adecuada disposición de los electrodos, basta un voltaje menor de 10 voltios para lograr un desplazamiento de fase de $\pi/2$.

COI polarizador: es un guíaonda lineal cubierto por una capa amortiguadora (p. ej., Si_3N_4) y una capa metálica (como Ag) de determinada longitud (Fig. 4). Si los materiales y su espesor se ajustan correctamente, es posible obtener una relación de extinción mayor de 10 dB/mm para el modo de polarización no deseado.

Etapas de la integración

Tras optimizar todos los componentes individuales, éstos se integran sucesivamente en un COI de giróscopo de fibra óptica, como muestra la figura 5. La primera etapa de la integración (Fig. 5a) es la aplicación de un COI modulador de fase en el GFO, permitiendo lograr pérdidas de intensidad menores de 3 dB. Integrando el segundo divisor de haz en la pastilla (Fig. 5b) se eliminan conexiones de empalme y el acoplador de fibras fundidas. Ello tiene grandes ventajas, ya que ambos son complicados de producir por las dificultades que entraña el mantenimiento de la polarización y la operación en monomodo.

El polarizador de fibra óptica necesita una fibra monomodo especial, por lo que tiene que empalmarse a los demás componentes. Para evitar estas conexiones, en una tercera etapa se le integra en la pastilla (Fig. 5c). La integración se completa reemplazando el primer acoplador de fusión por otro divisor de haz en el COI (Fig. 5d). Así, la parte óptica del GFO consta de cuatro componentes solamente: módulo de diodo láser, COI del GFO, bobina sensora y módulo detector. El acoplamiento directo de los extremos de la bobina y de los tallos de fibra de los dos módulos al COI del GFO elimina del todo los empalmes.

Conclusiones

La coherente aplicación de la óptica integrada reduce el número de componentes

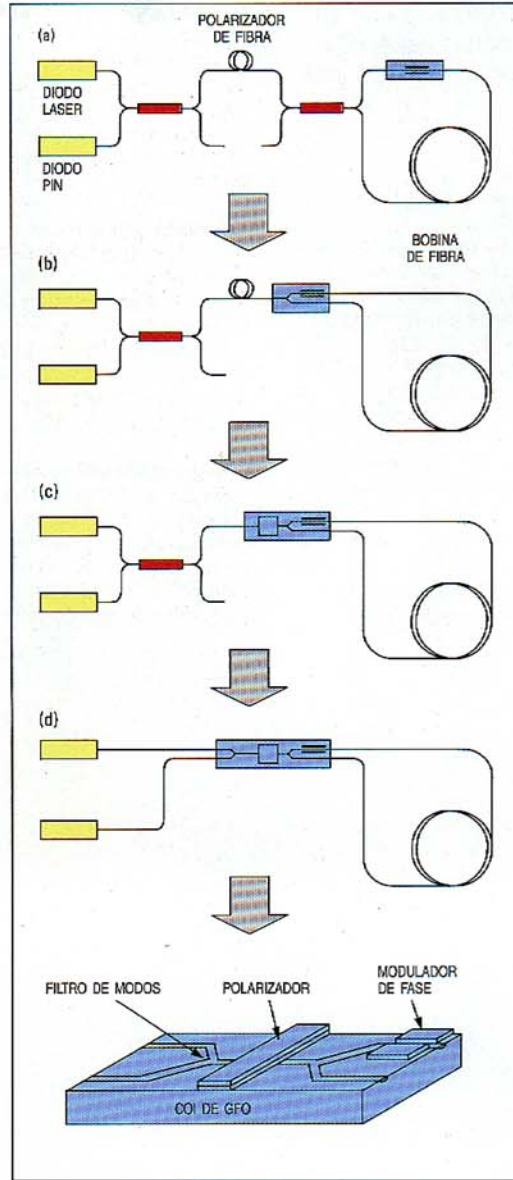


Figura 5
Etapas en la integración del COI del giróscopo de fibra óptica.

ópticos y el número de empalmes necesarios en un giróscopo de fibra óptica. Por consiguiente, no sólo se miniaturiza el montaje óptico sino también se reducen drásticamente los costes de pruebas, montaje y encapsulado. Además, si se fijan todos los parámetros, el uso de la óptica integrada debe aumentar la estabilidad ante variaciones ambientales, elevar el ritmo de producción y mejorar la reproducibilidad.

En la actualidad, las principales dificultades de utilizar óptica integrada consisten en el ajuste del espesor de la película del polarizador (del orden de submicras) y el acoplamiento de la fibra a la pastilla. Ambos problemas son objeto de intensas investigaciones. No obstante, los procesos de producción de un COI de GFO son similares a los de producción de circuitos integrados electrónicos, sobradamente conocidos. Por lo tanto, tras fijar todos los parámetros de producción, la tecnología de la óptica

integrada hará posible la realización de un giróscopo de fibra óptica con la especificación requerida en el tiempo mínimo posible.

Referencias

- 1 E. J. Post: Sagnac Effect: *Review of Modern Physics*, 1967, volumen 19, págs. 457-493.
- 2 L. D. Landau y E. M. Lifschitz: *Lehrbuch der Theoretischen Physik, Band 2, Klassische Feldtheorie: Akademie-Verlag, Berlín, 1967, págs. 289-290.*
- 3 W. Auch: Optische Rotationssensoren: *Technisches Messen*, 1985, volumen 52, págs. 199-207.
- 4 R. Ulrich: Fiber Optic Rotation Sensing with Low Drift: *Optical Letters*, 1980, volumen 5, págs. 173-175.
- 5 H. J. Arditty y S. Ezekiel (Eds): Fiber Optic Rotation Sensors: *Springer-Verlag*, 1982, Berlín.
- 6 E. Udd (Ed): Fiber Optic Gyros, 10th Anniversary Conference: *SPIE Proceedings*, 1986, volumen 719, Cambridge, Massachusetts.

Wilfried Auch nació en Waldenbuch, Alemania, en 1949. Se graduó Dipl.-Phys. en la Universidad de

Stuttgart en 1977, y Dr. rer. nat. en 1980 con trabajos sobre polarización nuclear de sólidos por bombeo óptico. Ingresó en Standard Elektrik Lorenz en 1980 como ingeniero de planificación de sistemas. Desde 1982 el Dr. Auch dirige el desarrollo del giróscopo de fibra óptica en SEL, del cual actualmente es responsable técnico. Es miembro de la "Optical Society of America".

Eberhard Schlemper nació en Erbach, Alemania, en 1945. Recibió el grado de Dipl.-Ing. en ingeniería eléctrica en la Universidad Técnica de Stuttgart en 1971. El mismo año ingresó en Standard Elektrik Lorenz para trabajar en desarrollo de equipos de teledirigida y telemando para satélites. En 1977 el Sr. Schlemper pasó al grupo de planificación de sistemas, siendo ahora responsable de la división de desarrollo de sistemas de navegación y optroónica.

Wolfgang Wenzel nació en Oberhausen, Alemania, en 1954. Se graduó en 1981 en física y matemáticas en la Universidad de Stuttgart. Trabajó en el departamento universitario de física experimental, donde obtuvo el Dr. rer. nat. en 1986. En el mismo año, el Dr. Wenzel ingresó en Standard Elektrik Lorenz, donde actualmente participa en el diseño de componentes integrados.

Reflectómetros para cables ópticos submarinos

Durante la producción e instalación de cables ópticos submarinos se aplica la reflectometría óptica en el dominio del tiempo para localizar y determinar fallos y roturas a partir de las variaciones en los niveles de energía luminosa de retrodispersión. Se han desarrollado tres reflectómetros complementarios utilizables durante la producción, instalación y reparación de fibras y cables ópticos.

J.-J. Bernard

Laboratoires de Marcoussis,
Marcoussis, Francia

C. Bastide

B. Coutty

Compagnie Lyonnaise de Transmissions
Optiques, Bezons, Francia

Introducción

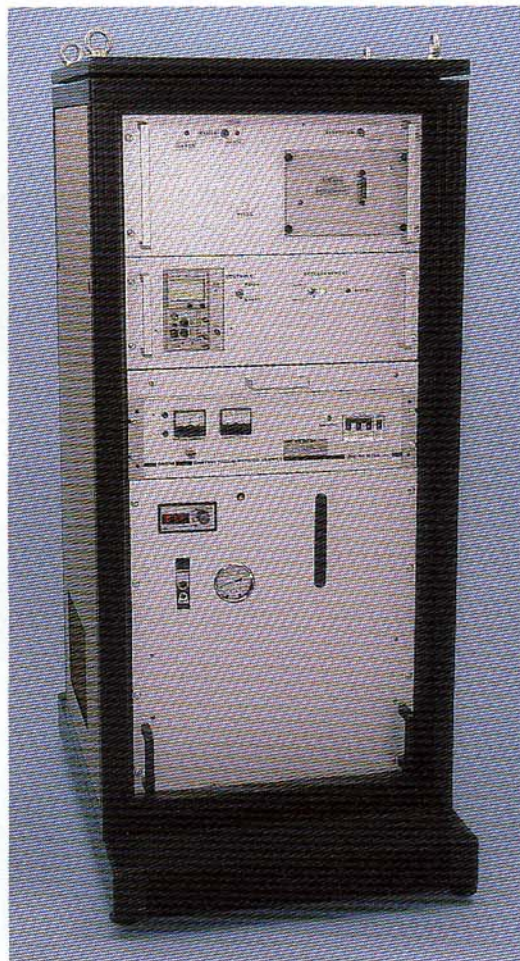
Generalmente los reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo (RODT) se consideran los instrumentos más potentes a la par que sencillos para comprobar los cables

de fibras ópticas durante la instalación, y en el siguiente periodo operacional¹. Mientras se instalan los cables, se utilizan los RODT para comprobar que no se producen roturas a causa de operaciones incorrectas. Análogamente, las pruebas de mantenimiento revelan si alguna fibra ha sufrido fractura o merma en sus prestaciones a causa de faltas provocadas por esfuerzos localizados.

Se han desarrollado tres instrumentos para medir atenuaciones y localizar fallos en cables submarinos. El primero es un RODT de largo alcance destinado a vigilar el vano completo del cable entre dos repetidores, durante la instalación y ya en servicio. Este reflectómetro hace uso de un láser tipo YAG (granate de itrio-aluminio) a $1,32 \mu\text{m}$ conmutado en Q para obtener un margen dinámico* unidireccional de 30 dB, con tolerancia de 100 metros en la localización del fallo, que es suficiente para probar tramos de 60 km de cable.

Para supervisar la producción de fibras y cables ópticos, se ha diseñado un reflectómetro de 15 dB de margen dinámico, capaz de probar fibras monomodo de hasta 20 km de longitud en una planta de fabricación o en instalaciones de campo. Este reflectómetro utiliza un láser de semiconductores de $1,3 \mu\text{m}$ ó $1,55 \mu\text{m}$, junto con técnicas de correlación que le permiten obtener resoluciones de 10 metros.

El tercer reflectómetro se desarrolló para localizar con gran precisión roturas, antes de reparar el cable, así como para comprobar las terminaciones de la fibra allá donde otros instrumentos no pueden obtener



Reflectómetro de alto
margen dinámico.

* Margen dentro del cual se pueden detectar y localizar roturas sin reflexiones.

resultados apreciables. Se han alcanzado resoluciones de 1 metro con un margen dinámico de 9 dB, correspondiente a 1 km de fibra monomodo.

Reflectómetro de alto margen dinámico

Las medidas de retrodispersión deben ser capaces de detectar y localizar roturas y fallos en una sección entera de cable entre dos regeneradores, así como de medir la atenuación producida por cualquier defecto. Para lograrlo se requiere una resolución del orden de los 100 metros en localización, con relación señal/ruido de al menos 65 dB que corresponde a 60 km de fibra. Estas prestaciones se han podido conseguir utilizando un láser YAG conmutado en Q, emitiendo a $1,32 \mu\text{m}$.

Este emisor láser portátil ocupa un volumen de 10 litros y pesa 10 kg, disponiendo de un circuito auxiliar de refrigeración. El láser genera un impulso óptico de 1 kHz, con una potencia de cresta de varios vatios. Un modulador acústico-óptico de As_2S_3 proporciona atenuación y acoplamiento direccional. El receptor es un fotodiodo PIN de HgCdTe de $80 \mu\text{m}$ de diámetro con una corriente en oscuridad de 1 nA y una sensibilidad de 0,6 A/W, asociado con un preamplificador de transimpedancia $3 \text{ M}\Omega$ que utiliza un FET (transistor de efecto de campo). El ancho de banda total es de 500 kHz, con una potencia de ruido equivalente de $1,6 \times 10^{-10} \text{ W}$.

Con objeto de dar mayor eficacia a la prueba, la señal de retrodispersión se capta en tres secciones distintas a lo largo del vano de 60 km, para reducir así las variaciones de señal presentes en el preamplificador hasta ser compatibles con el margen dinámico del instrumento. A fin de minimizar los efectos de ruido provocados por fluctuaciones de la fuente, todos los puntos de una misma sección se digitalizan a partir del mismo impulso emitido. La velocidad de captación es de un punto por microsegundo. Después de efectuar el promediado, los resultados se transfieren a un ordenador portátil externo al instrumento.

Se han realizado pruebas en el laboratorio con una fibra monomodo de 70 km, de atenuación total 25,8 dB. El valor de cresta de la potencia inyectada a la fibra es casi de 1 W. El acoplador acústico-óptico reduce la reflexión de entrada en -4 dB con respecto a la señal de retrodispersión. La figura 1 presenta el registro de la señal de retrodispersión en los últimos 20 km del enlace, después de un promediado de 65 segundos (2^{14} muestras). La relación señal/ruido en el extremo de la fibra supera los 8 dB.

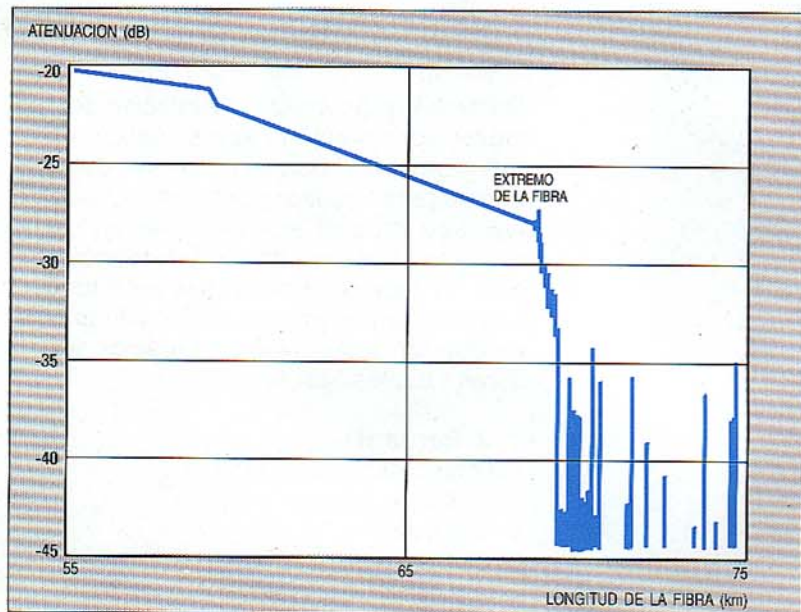


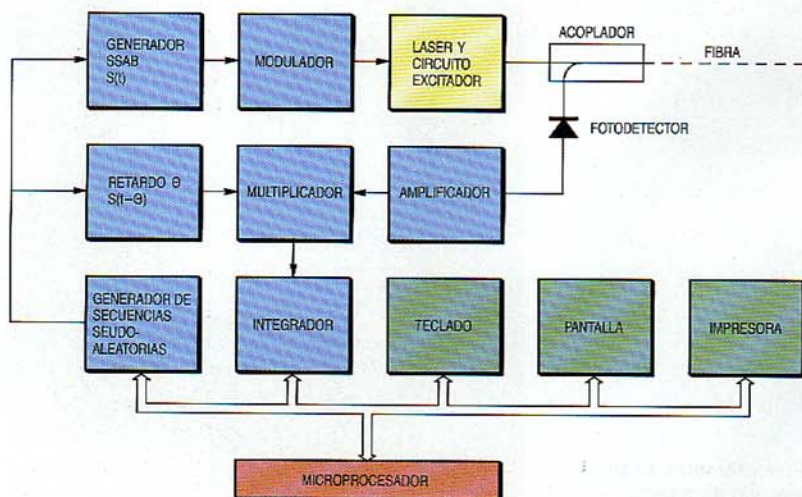
Figura 1 Representación de la energía de retrodispersión en los últimos 20 km de una fibra óptica de 70 km de longitud.

Reflectómetro óptico de correlación

En otras publicaciones^{2,3,4,5} se han descrito reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo que emplean técnicas de correlación. Tanto en longitud de onda de $1,3 \mu\text{m}$ como en la de $1,55 \mu\text{m}$, los reflectómetros de correlación consisten en láseres InGaAsP/InP de heteroestructura enterrada acoplados a fibras monomodo, capaces de inyectar a dichas fibras potencias ópticas medias del orden de $750 \mu\text{W}$, con posibilidad de una modulación tipo ECL de $\pm 700 \mu\text{W}$. La corriente de inyección del láser se modula con una secuencia pseudoaleatoria de bits (SSAB), pudiendo ajustarse la frecuencia de reloj desde 200 kHz a 10 MHz, para lograr la resolución y el margen dinámico que se deseen. Esta frecuencia de reloj la controla un microprocesador.

El generador SSAB suministra dos frecuencias distintas: la primera modula la

Figura 2 Principio del reflectómetro de correlación.



corriente del láser, mientras que la segunda se retarda antes de aplicarse a la entrada del correlador, el cual consiste en un multiplicador seguido de un integrador. El retardo introducido corresponde al tiempo de propagación de ida y vuelta hasta el punto analizado en la fibra a comprobar.

La señal óptica se inyecta en la fibra mediante un acoplador de fibra monomodo (construido según la técnica del estrangulamiento bicónico fundido), haciendo posible el separar la señal emitida y la señal reflejada, detectada esta última mediante el fotodiodo del receptor.

El fotodiodo PIN de InGaAs va seguido de un amplificador integrado en configuración de transimpedancia de alta sensibilidad (48 dB), el cual incluye un transistor FET como primer elemento activo. La señal de retrodispersión detectada se multiplica por la SSAB retardada; la señal resultante se integra luego con respecto al tiempo, produciendo así la señal de correlación entre la señal emitida y la señal reflejada proveniente del punto analizado. Esta señal integrada es proporcional a la atenuación óptica existente entre la señal reflejada desde la entrada de la fibra y la que proviene del punto analizado.

El tiempo de retardo varía en pasos desde cero hasta $2 L_{max}/c$, siendo L_{max} la longitud de la fibra y c la velocidad de la luz en el núcleo de la fibra. La señal de correlación da una representación temporal de la fibra, es decir, su característica de atenuación incluyendo cualquier pérdida adicional por defectos o imperfecciones.

La señal analógica procedente del correlador se digitaliza y se envía a un microprocesador, el cual aporta las funciones de proceso, gestión y control al reflectómetro; los resultados se presentan en un visualizador de LED, pudiendo asimismo sacarse en impresora. Se llega a estos resultados seleccionando a través de menús jerarquizados mediante un teclado en la parte frontal del instrumento.

En la figura 2 se indica el principio del reflectómetro de correlación. El operador puede escoger entre distintas configuraciones de medida:

- principio y final de la curva
- índice de refracción medio
- escalamiento de los ejes
- tamaño del elemento de promediado de amplitud en cada punto captado
- resolución desde 10 a 500 m.

Este último parámetro determina automáticamente la frecuencia de reloj del generador SSAB, y por lo tanto el margen dinámico. El microprocesador optimiza el tiempo

Tabla 1 – Características principales de los reflectómetros de correlación

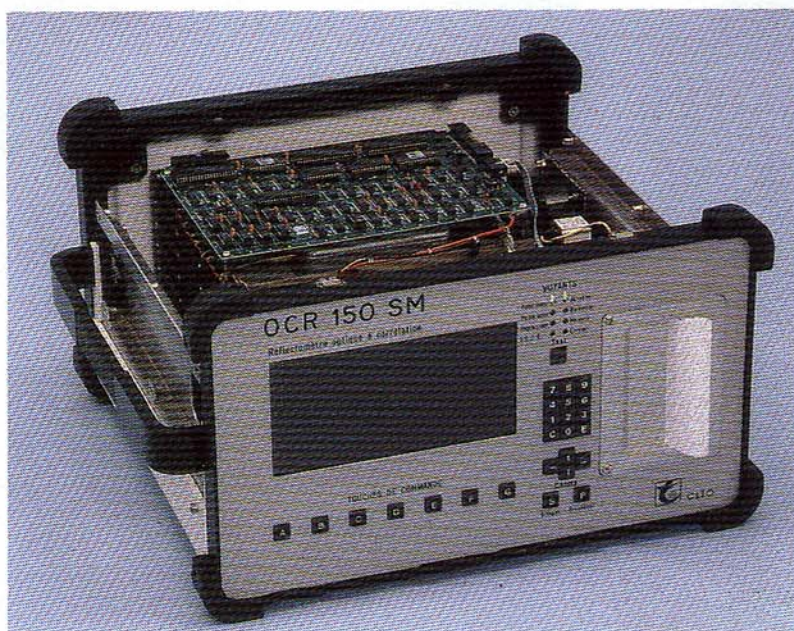
Frecuencia de reloj (MHz)	Resolución espacial (m)	Duración de la medida, por punto (ms)	Margen dinámico unidireccional	
			a 1,3 μm (dB)	a 1,55 μm (dB)
10	10	100	12	10
2	50	100	15	13
1	100	65	17	15
0,5	200	65	17	15
0,2	500	65	21	18

invertido en la medición, en base a los parámetros de captación escogidos por el operador. Las principales características de los reflectómetros de correlación de 1,3 y 1,55 μm se indican en la tabla 1.

Una vez obtenida la curva aparece ante el operador un menú gráfico que le permite determinar la atenuación entre dos cursores, con la posibilidad de aumentar el detalle en una zona de interés para un análisis más minucioso (por ejemplo, evaluar la amplitud de un fallo localizado). El menú puede también servir para determinar la posición de un empalme cualquiera y la pérdida que introduce, con resoluciones respectivas de 10 m y 0,01 dB, posicionando dos cursores a uno y otro lado del empalme que ha de analizarse. Se pueden almacenar hasta diez gráficas para ser después procesadas, bien por el microprocesador interno o bien por un ordenador externo más potente a través del interfaz IEEE 488 incluido en el reflectómetro.

El instrumento y sus accesorios están contenidos en una unidad resistente y portátil de dimensiones 510 x 450 x 270 mm, con un peso de 16 kg. El consumo es de 60 VA tomados de la red de 220 V CA o de una batería externa de 24 V. Este diseño

Reflectómetro de correlación.



mecánico compacto permite utilizar el reflectómetro tanto en pruebas de campo como en la planta de fabricación.

Reflectómetro de alta resolución

Se ha desarrollado un reflectómetro de alta resolución para detectar y localizar faltas en las terminaciones de los cables en la zona muerta de otros instrumentos. El margen dinámico es suficientemente elevado para probar vanos de fibra monomodo de 1,5 km, manteniendo una resolución espacial del orden de 1 metro⁶.

El banco de prueba se compone del reflectómetro asociado a un ordenador, más una impresora o trazadora de gráficos que imprime los resultados.

El reflectómetro de alta resolución consta de tres partes principales: transmisor, acoplador óptico y receptor.

Transmisor

Se escogió la longitud de onda de operación de 0,9 μm para aprovechar la disponibilidad comercial de láseres de impulsos de GaAs de alta potencia. Por otra parte, el coeficiente de retrodispersión a 0,9 μm es mayor que en la ventana de 1,3 μm . El generador de impulsos puede producir impulsos de 10 a 20 ns de anchura ajustando la corriente de inyección entre 15 y 25 A. La frecuencia de repetición es de 1 kHz. El diodo láser de impulsos tiene un tallo de fibra monomodo, en cuyo extremo se dispone de impulsos ópticos de 10 ns, con potencias de cresta de 200 mW.

Acoplador óptico

Los impulsos ópticos se inyectan en un acoplador direccional compuesto de una fibra monomodo y una fibra multimodo de 50/125 μm , quedando ésta última empalmada al tallo de fibra multimodo del fotodiodo. La atenuación que este acoplador direccional produce en la energía luminosa de retrodispersión es del orden de 10 dB. Para impedir la saturación del receptor por las crestas de retrodispersión, a la fibra monomodo del acoplador se le empalman 150 metros adicionales de fibra. La fibra monomodo que va a probarse se conecta entonces al otro extremo de esa fibra añadida, por empalme o conector de enfrentamiento directo.

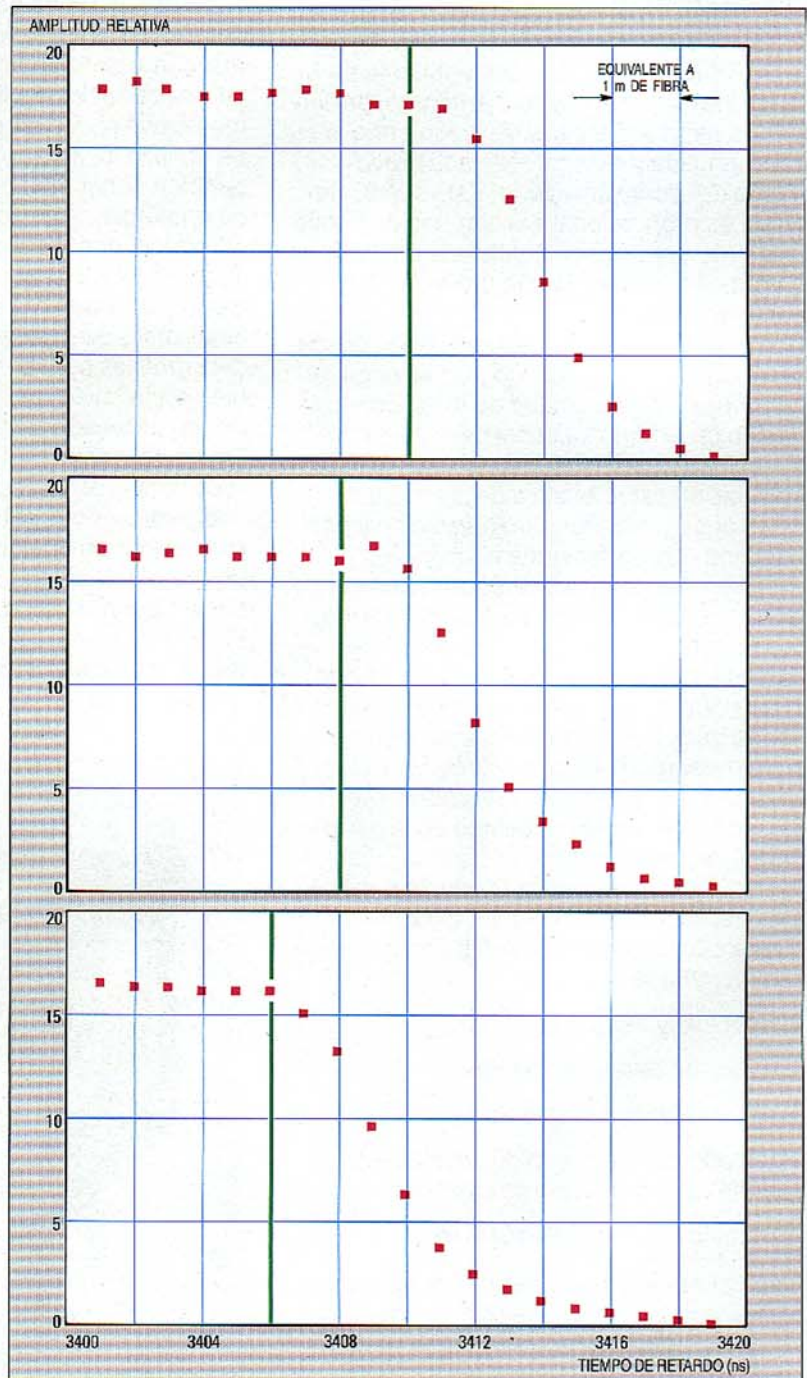
Receptor

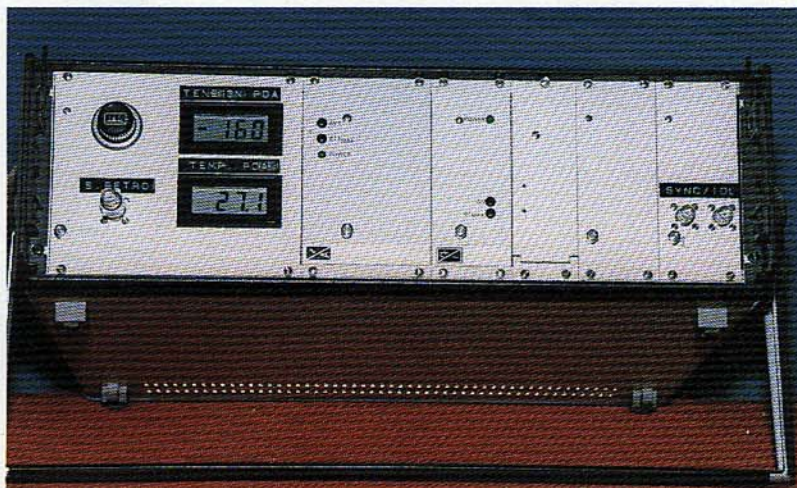
El detector óptico consiste en un fotodiodo de avalancha de silicio, con un tallo adosado de fibra multimodo de 50/125 μm . La tensión de polarización es de -160 V. La señal eléctrica detectada se amplifica mediante

una configuración de transimpedancia que utiliza un FET de GaAs como primer elemento activo, con anchura de banda de 100 MHz. La señal analógica a continuación se muestra cada 5 ns por dos circuitos idénticos, gobernados por una frecuencia de reloj de 200 MHz. A razón de 8 bits por muestra, se digitalizan un total de 2×4096 muestras. De este modo se consigue una relación señal/ruido en torno a los 9 dB.

Un ordenador externo permite adquirir y procesar la señal de retrodispersión, utilizando un programa específico escrito en Basic, el cual también puede presentar en la pantalla del ordenador la curva de dicha

Figura 3
Resultados obtenidos en una fibra de corta longitud, mostrando la resolución de 1 metro lograda por el instrumento.





Reflectómetro de alta resolución.

señal, o bien hacer que esta gráfica se imprima. El programa permite asimismo localizar un defecto y medir su amplitud.

Aspectos generales

La pantalla frontal del reflectómetro de alta resolución indica la tensión de polarización del fotodiodo de avalancha (-160 V) y su temperatura de operación. La figura 3 muestra los resultados experimentales: la gráfica superior indica la señal de retrodispersión procedente del final de la fibra, la intermedia muestra dicha señal para la misma fibra pero acortándola en 1 metro, y la curva inferior corresponde a un acortamiento de 2 metros. De acuerdo con estas gráficas cualquier rotura adaptada (exenta de reflexión) puede localizarse con 1 metro de precisión, siempre que se conozca el índice de refracción con exactitud suficiente. Además de esto, el reflectómetro puede identificar defectos separados entre sí 3 metros, lo que expresa el poder de resolución del instrumento.

Conclusiones

Se han desarrollado tres reflectómetros en el dominio del tiempo con prestaciones complementarias, utilizables respectivamente en la producción, instalación y mantenimiento de cables ópticos submarinos. Ofrecen márgenes dinámicos alto, medio y bajo, a los que corresponden resoluciones espaciales baja, media y alta. Su conjunto constituye una colección de instrumentos

indispensable, dentro de los sistemas submarinos de fibras ópticas de $1,3\ \mu\text{m}$, para la localización de defectos (esfuerzos concentrados) o roturas de fibras y su evaluación cuantitativa (medidas de amplitud).

Referencias

- 1 J.-J. Bernard y G. Roger: Optical Time Domain Reflectometry for Single-Mode Fibers: *Unpublished Work, Laboratoires de Marcoussis, Marcoussis, 1982.*
- 2 K. Okada, K. Hashimoto, T. Shibata y Y. Nagaki: Optical Cable Fault Location Using Correlation Technique: *Electronics Letters*, julio 1980, volumen 16, nº 16, págs. 629-630.
- 3 M. Carratt, G. Le Blevenec, J.-J. Bernard y M. Biet: Réflectomètre à corrélation pour fibre monomode à $1,3\ \mu\text{m}$: *Conférence française OPTO'84, Paris, 15-17 mayo 1984.*
- 4 J.-J. Bernard, J. Ducate, Y. Gausson, J. Guillon y G. Le Blevenec: Field Portable Reflectometer for Single-Mode Fiber Cables: *10th European Conference on Optical Communication ECOC'84, Stuttgart, 3 a 6 septiembre 1984.*
- 5 J.-J. Bernard, E. Depresles, L. Jeunhomme, J. L. Moncelet y M. Carratt: $1,3\ \mu\text{m}$ Portable Reflectometer for the Field Test of Single-Mode Fiber Cables: *Symposium on Optical Fiber Measurements, Boulder, Colorado, 2 a 3 octubre 1984.*
- 6 G. Soulage, F. Arnould, M. Jurczyszyn y A. Tardy: Réflectomètre optique dans le domaine temporel à résolution élevée: *Huitième Journées Nationales d'Optique Guidée, Montpellier, Francia, 2 a 3 abril 1987.*

Jean-Jacques Bernard nació en París en 1951. Recibió el Diplôme d'Etudes Approfondies en electrónica cuántica en 1975, y el grado PhD en comunicaciones ópticas en 1979 por la Universidad de Orsay, París-XI. En 1978 entró en Laboratoires de Marcoussis, donde es director adjunto del departamento de fotónica y electrónica. El Dr. Bernard es miembro de la Optical Society of America, la Sociedad francesa de óptica y la asociación de ingenieros de instrumentación fotoóptica.

Christian Bastide nació en Saint-Etienne, Francia, en 1957. Estudió física y matemáticas en la Universidad de aquella ciudad. En 1985 se graduó PhD en óptica por la Universidad de Grenoble, como resultado de sus trabajos de investigación sobre sensores de fibra óptica por microcurvaturas, en Laboratoires de Marcoussis. El Dr. Bastide entró en 1985 en la Compagnie Lyonnaise de Transmissions Optiques (CLTO), subsidiaria de Les Câbles de Lyon, donde actualmente se encarga de las medidas de fibras ópticas.

Bernard Coutty nació en Le Coux, Francia, en 1944. En 1969 se graduó en ingeniería por la Ecole Supérieure de l'Electronique et ses Applications. Transcurrido un año en Laboratoires de Marcoussis realizando pruebas en circuitos integrados, y 15 años en una empresa de cables como responsable de las técnicas de medición y de los instrumentos de prueba en cables metálicos y posteriormente de fibras ópticas, entró en la CLTO, donde dirige el desarrollo y fabricación de instrumentos destinados a probar las propiedades de las fibras ópticas.

Fibras de característica de dispersión desplazada para sistemas submarinos sin repetidores

Los sistemas submarinos de alta velocidad necesitan componentes fiables. El uso de láseres de heteroestructura enterrada, junto con fibras de dispersión desplazada operando a $1,55 \mu\text{m}$, parece ser una de las mejores opciones a la vista del estado del arte en ambas tecnologías.

M. Carratt

C. Reinaudo

Compagnie Lyonnaise de Transmissions
Optiques, Bezons, Francia

R. Jocteur

J.-P. Trezeguet

Les Câbles de Lyon, Lyon, Francia

Introducción

Se requieren nuevos sistemas submarinos de fibras ópticas para dos tipos principales de enlaces. Primero, los enlaces transoceánicos de alta velocidad (565 Mbit/s), con repetidores separados entre 80 y 100 km. En segundo lugar, los sistemas de menor velocidad (140 ó 280 Mbit/s), con vanos de repetición de 120 a 150 km para enlaces entre islas o entre continente e islas.

Existen dos caminos para satisfacer tales necesidades: utilizar fibras con núcleo de sílice pura¹ y un láser de realimentación distribuida, o bien fibras de dispersión desplazada con un láser de $1,55 \mu\text{m}$ de heteroestructura enterrada. La última solución ha demostrado ser generalmente viable y ofrecer la fiabilidad necesaria. En estos sistemas, se necesitan fibras de bajas pérdidas y pequeña dispersión cromática, con suficiente resistencia mecánica para soportar el riguroso entorno marino.

Se ha desarrollado una fibra que cumple estos requisitos, la cual ha sido validada para su utilización en cables submarinos².

Especificaciones de la fibra

La fibra está diseñada para funcionar a una longitud de onda próxima a $1,55 \mu\text{m}$. El perfil de índice de refracción del núcleo es triangular y tiene una envoltura de índice adaptado.

Se ha desarrollado un modelo que permite determinar el perfil triangular equivalente de la fibra a partir del perfil de índice de refracción real³. La fibra de núcleo triangular equivalente es una fibra con un núcleo triangular perfecto, de las mismas caracte-

rísticas de transmisión que la fibra real. El valor de diferencia de índice de refracción equivalente de la fibra es 1,06%. La figura 1 muestra el perfil típico obtenido.

Las características de transmisión medias en el margen de $1,55$ a $1,57 \mu\text{m}$ son:

$$\alpha \leq 0,22 \text{ dB/km}$$

$$\lambda_0 = 1560 \pm 10 \text{ nm}$$

$$\omega_0 \leq 8,2 \mu\text{m}$$

donde α es la atenuación, λ_0 es la longitud de onda de dispersión cromática nula, y ω_0 es el diámetro del campo modal lejano.

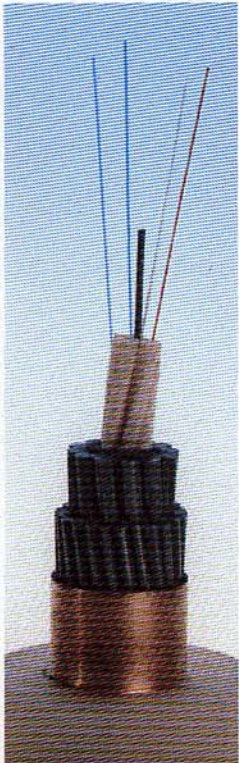
Aspectos de fabricación de la fibra

Las preformas se obtienen por el método MCVD (deposición química en fase vapor modificada) y sus características optogeométricas se miden después de las etapas de deposición y de colapsado. Se elige el tubo más adecuado para la preforma con objeto de ajustar el valor de longitud de onda de dispersión cero, en la fibra de $125 \mu\text{m}$ de diámetro. Teóricamente, una preforma puede producir 21 km de fibra. Se obtiene una excelente reproducibilidad del proceso de deposición utilizando una unidad con microprocesador para controlar las funciones de la unidad de gases*, el quemador y el torno MCVD. La deposición de las distintas capas y el colapsado del tubo son totalmente automáticos.

Para maximizar la resistencia mecánica de la fibra, se pone un cuidado especial durante todas las etapas de preparación de

* La unidad de gases es el equipo que produce los gases (p. ej., GeCl_4 , SiCl_4) utilizados en el proceso de deposición química en fase de vapor.

Cable de fibra óptica submarino utilizando la nueva fibra con dispersión desplazada.



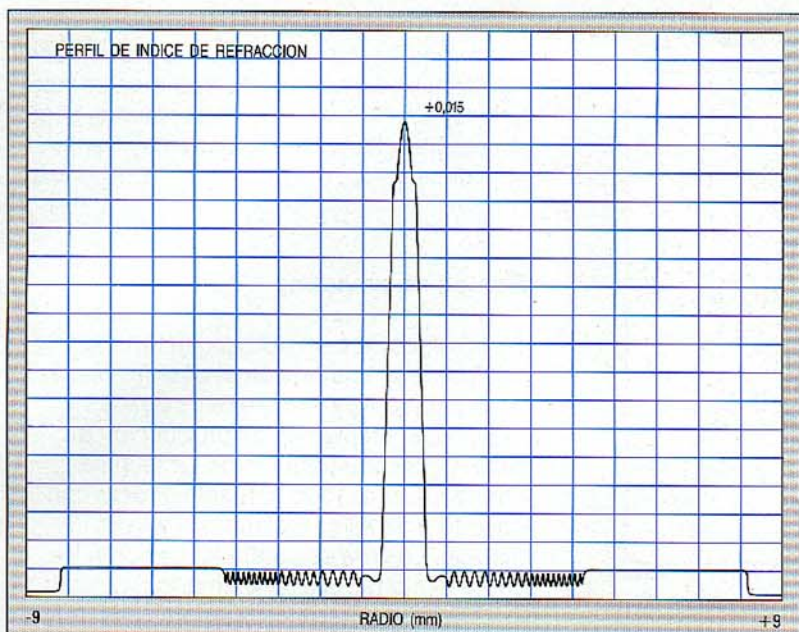


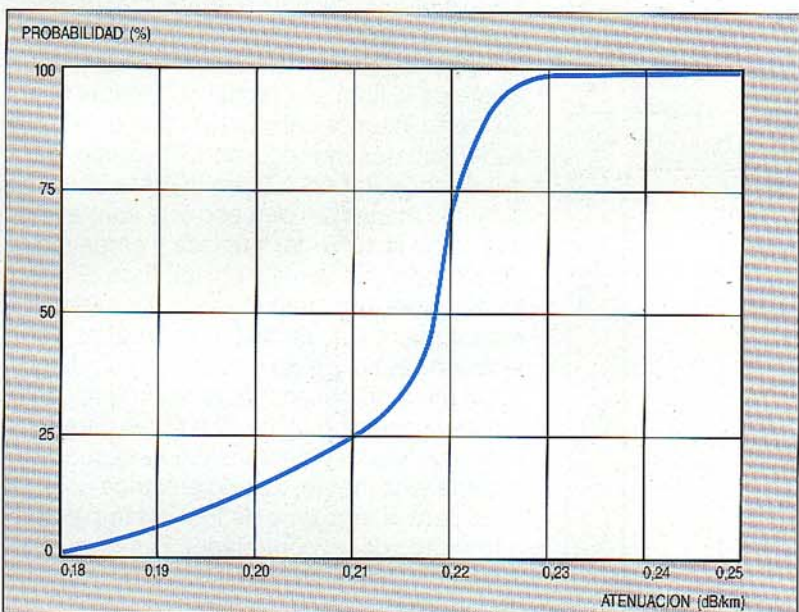
Figura 1 (arriba)
Perfil típico de índice de refracción de una fibra de perfil triangular.

Figuras 2 y 3 (centro y abajo)
Reproductibilidad de las características de la fibra.

las superficies. Las preformas se estiran y luego se recubren con una doble capa de resina especialmente optimizada y curada con ultravioletas. La deposición y el estirado de las fibras se realizan en salas limpias.

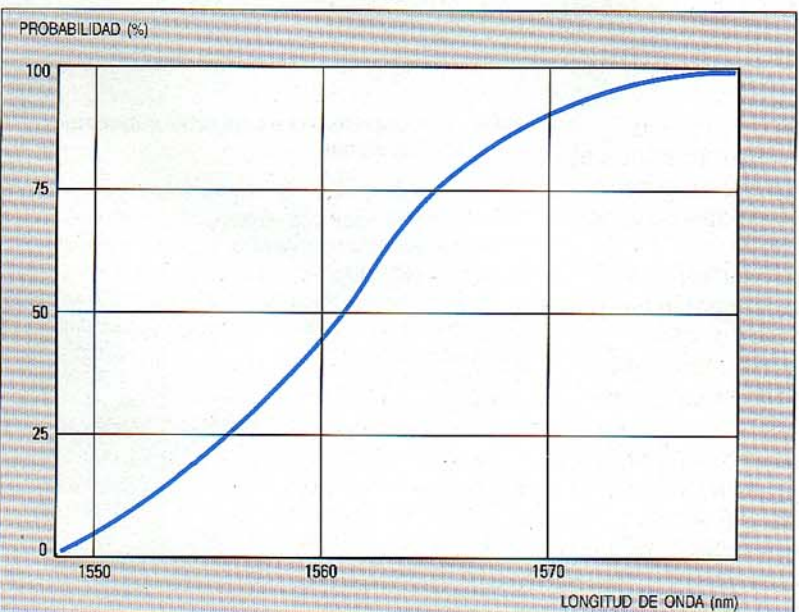
Validación de la especificación de la fibra

Tras determinar la especificación de la fibra, se validó el proceso de fabricación en lo referente a la reproductibilidad de las características ópticas y geométricas de la fibra, y al comportamiento de la misma en un cable, así como su compatibilidad con el radio de curvatura requerido para el sistema.



Reproductibilidad de las características ópticas y geométricas

Todos los parámetros del proceso se han estudiado cuidadosamente con el fin de aportar la información esencial para dominar la producción de preformas y de fibras con unas características dadas y reproducibles, y esto último atañe tanto a las propiedades ópticas (pérdidas y dispersión cromática) como a las geométricas (diámetro exterior, excentricidad). La fabricación de una fibra así es ya un proceso comprobado que permite asegurar su buena calidad. Las figuras 2 y 3 muestran las distribuciones de la atenuación y de la longitud de onda de dispersión cromática nula, respectivamente.



Se ha sometido a prueba la sensibilidad de la fibra a la curvatura para simular los efectos del cableado y de la curvatura en las cajas de empalmes. Los resultados revelan que entre 1,525 y 1,575 μm no se altera apreciablemente la atenuación por enrollar 100 espiras de fibra en un mandril de diámetro 80 mm, siendo el incremento de pérdidas menor de 0,1 dB. La atenuación por microcurvatura alcanza un máximo de 3,5 dB para una presión de prueba de 65 gm/mm.

Resistencia mecánica

Existen dos métodos para la prueba mecánica de las fibras^{4,5}: pruebas dinámicas de tensión que determinan la resistencia intrínseca de la fibra midiendo 200 muestras de 10 m de longitud (Fig. 4), y una prueba de

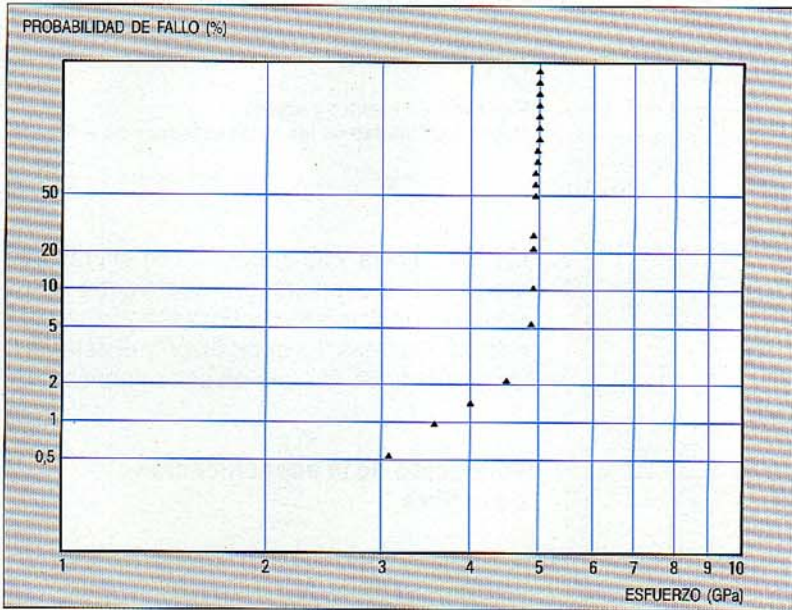


Figura 4
Diagrama Weibull de una fibra de dispersión desplazada. Se han tomado 200 muestras, de 10 m de longitud cada una.

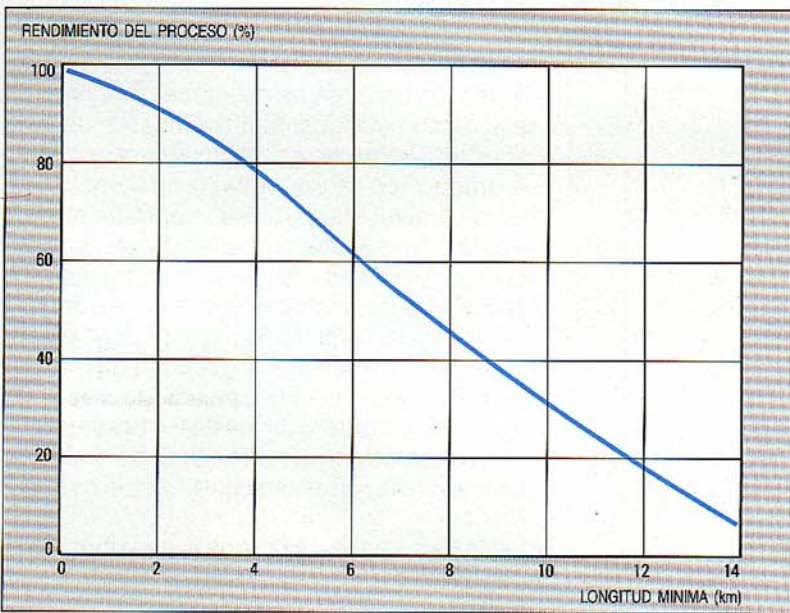


Figura 5
Rendimiento del proceso para una elongación del 1,5% en función del mínimo largo de fibra en un sistema.

resistencia que elimina todos aquellos defectos cuya resistencia sea menor que el valor de prueba fijado. La frecuencia de aparición de roturas depende del esfuerzo aplicado.

Las pruebas dan como resultado 0,4 roturas por cada 10 km a elongación del 0,9%, y 0,5 roturas por 10 km al 1,5%. Estos valores permiten fabricar fibras de longitud media mayor de 10 km utilizando tubos de sílice natural.

Para eliminar roturas provocadas por impurezas en el tubo, puede producirse la misma fibra con tubos de sílice sintética. En este caso el rendimiento es superior (Fig. 5) a elongación 1,5%, aumentando así apreciablemente el largo medio del tramo de fibra.

Se han comprobado en estas fibras otros dos aspectos importantes de la prueba de resistencia: al realizar una segunda prueba selectiva no aparecen nuevas roturas, ni se alteran por ella las propiedades de transmisión de la fibra.

Equipo de empalme

Se ha elaborado un nuevo concepto de equipo de empalme con el que se alcanzan unas excelentes prestaciones ópticas y mecánicas en plantas de producción de cables ópticos submarinos. La técnica empleada evita todo contacto directo con la envoltura de sílice y elimina el ajuste manual. La fibra se sujeta en posición fija sobre el eje teórico de un mandril de acero inoxidable de 8 mm de diámetro y 40 mm de longitud. Tras eliminar la cubierta con ácido sulfúrico caliente y neutralizar dicho ácido, se corta el extremo de la fibra utilizando una cuchilla de diamante sintético. El ajuste de la fibra se efectúa con respecto al diámetro exterior del mandril, que es la superficie de referencia para el equipo. Se puede reajustar en $\pm 5 \mu\text{m}$ durante las distintas etapas del proceso que son: eliminación de la cubierta, limpieza y empalme. Otra importante ventaja es que todo el proceso del empalme (el corte, la unión, el recubrimiento, la medida y las pruebas de resistencia) se realiza con el mismo equipo.

Un microprocesador ajusta automáticamente la posición de las dos fibras para optimizar la potencia transmitida, la cual se detecta localmente. El arco eléctrico utilizado para el empalme de fusión también es gobernado por el controlador. El recubrimiento lo hace un dispositivo de micromoldeo, que consigue un diámetro típico del empalme de $275 \mu\text{m}$ para una fibra revestida de $250 \mu\text{m}$.

Tabla 1 – Características del cable submarino profundo

Diámetro de la barra de plástico	5 mm
Diámetro de la unidad de fibra	5,7 mm
Holgura de la fibra	1,1%
Diámetro de la cubierta de acero	11,9 mm
Diámetro del conductor compuesto	12,8 mm
Diámetro exterior	25 mm
Peso en el agua	6,32 kN/km
Carga de rotura	140 kN
Carga que anula la holgura de la fibra	100 kN
Longitud modular	22 km
Resistencia a la presión	70 MPa
Constante hidrodinámica	0,696 m/s
Resistencia ohmica del conductor compuesto	0,6 Ω /km
Aislamiento a la corriente continua	50 kV

Los dispositivos de moldeo y de empalme se desplazan secuencialmente a su posición mediante una simple translación que no mueve la fibra. Tras el recubrimiento, el controlador genera una prueba de resistencia, mide las pérdidas de inserción e imprime un certificado completo de control del procedimiento de empalme, incluyendo su atenuación, nivel de prueba de resistencia, referencias y la hora. La atenuación del empalme suele ser inferior a 0,1 dB, con tensión de rotura mínima de 15 N.

Experiencias con la unidad de fibra y con el cable

Se alojaron con holgura las fibras en las hendiduras helicoidales de una varilla de plástico, extruida en torno a un elemento resistente de acero. Dichas hendiduras se rellenaron con una sustancia no higroscópica y se cubrieron con cintas en arrollamiento helicoidal. Sobre este conjunto se extruyó luego una funda de plástico para darle hermeticidad radial. El diámetro exterior del núcleo de fibras ópticas era de 5,7 mm, con paso helicoidal nominal de 76 mm y una holgura en la fibra del 1,1%.

Todas las pruebas de transmisión se realizaron sobre esta estructura de núcleo. Un cable para grandes profundidades consta de dicha estructura central de fibras, dentro de un conductor compuesto que se cubre con una funda aislante. Los hilos de acero van trenzados en dos capas en torno al núcleo de fibras, formando una barrera a la presión; sobre dichos hilos se suelda y se ajusta un tubo de cobre, constituyendo así el conductor compuesto. Durante la fabricación de la barrera de presión, se inyectan periódicamente bloques de un compuesto elastómero para conseguir estanquidad longitudinal al agua. En la tabla 1 se resumen las características de los cables de gran profundidad, a partir de los cuales se fabrican cables armados reforzando su protección de acuerdo con las condiciones del lecho marino:

- en profundidades de 800 a 1500 m suelen utilizarse cables armados ligeros, así como en las partes enterradas del enlace
- entre 100 y 800 m se utilizan cables armados sencillos
- se emplean cables armados ROC* y cables con doble armadura para los extremos de costa y para fondos de hasta 100 m.

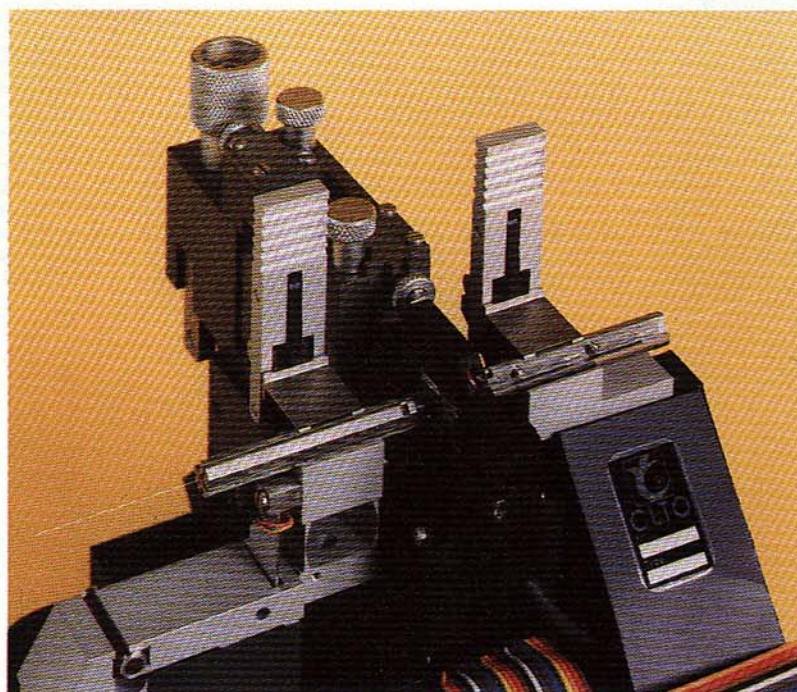
Tabla 2 – Características del cable armado

	Armado ligero	Armado simple	Armado doble	Armado ROC
Diámetro del cable para grandes profundidades (mm)	25	25	25	25
Diámetro de la primera capa de hilos de acero (mm)	3	5	5	5
Diámetro del hilo de acero recubierto (mm)	5,4	–	–	–
Número de hilos de acero	17	18	18	18
Paso helicoidal (mm)	760	600	600	600
Diámetro de la segunda capa de hilos de acero (mm)	–	–	7	7
Número de hilos de acero	–	–	20	12
Paso helicoidal (mm)	–	–	950	125
Diámetro exterior (mm)	43	42,2	61,4	61,4
Peso en el agua (kN/km)	13	29	81	76
Carga de rotura (kN)	300	710	1000	770

Las principales características de los cables se exponen en la tabla 2. Estos cables están concebidos para evitar roturas de la fibra óptica debidas a tensiones y envejecimiento durante la vida del sistema, así como a las operaciones de tendido, enterrado y recuperación del cable. Ello se consigue gracias a las pruebas selectivas de la fibra y a la holgura con que ésta va colocada en el cable, por lo cual nunca sufre en vida del sistema tensiones mayores del 15% de los valores de la prueba de selección. Además, todo deterioro de la fibra causado por daño en el cable queda limitado a las proximidades de tal daño.

Los cables experimentales de 5 km de longitud se hicieron en la propia máquina cableadora. Estos cables confirmaron el

Partes mecánicas del equipo de empalmes en las posiciones de moldeo y de empalme.



* Una doble armadura con alta resistencia mecánica para uso en lechos marinos rocosos.

buen comportamiento de las fibras a través de todo el proceso de cableado, ya que no hubo ningún cambio de la atenuación espectral hasta 1575 nm, límite superior de la ventana de transmisión (Fig. 6).

Conclusiones

Se ha diseñado y desarrollado un nuevo tipo de fibra óptica de dispersión desplazada, actualmente en producción, que se podrá utilizar en enlaces transoceánicos de alta velocidad (560 Mbit/s) y en sistemas de telecomunicaciones sin repetidores. En la fabricación de estas fibras se consiguen las prestaciones que tales sistemas requieren, con excelente reproducibilidad y alta calidad garantizada. Además, las fibras cableadas tienen resistencia mecánica suficiente para el uso en cables submarinos.

Agradecimiento

Esta fibra se ha diseñado con el apoyo del Centre National d'Etudes des Télécommunications y de la Direction des Affaires Industrielles et Internationales.

Referencias

- 1 G. Tanaka y K. Yano: Performance of Pure Silica Core Matched Cladding Single Mode Fiber: *Proceedings of the 11th European Conference on Optical Communication*, Venecia, septiembre 1985, págs. 77-80.
- 2 R. Jocteur, C. Reinaudo, J. P. Trezeguet y J. Thiennot: Design and Industrial Implements of S20 Fiber and Submarine Cable: *International Conference on Optical Fiber Submarine Telecom System - Suboptic 1986*, París, febrero 1986.
- 3 J. C. Auge, P. Dupont y L. B. Jeunhomme: Equivalent Step Index Parameters for Predicting Single-Mode Fiber Dispersion: *International Society for Optical Engineering Conference*, San Diego, agosto 1985.
- 4 J. Y. Boniort, J. Leboucq, P. Bacle y C. Reinaudo: Improvements of Optical Fiber Strength for Submarine Cables: *Proceedings of the International Society for Optical Engineering Conference on Optical Fiber Characteristics and Standards*, Cannes (1985), volumen 584, pág. 93.
- 5 S. Araki, A. Wada, R. Yamauchi y O. Fukuda: Fabrication of High Strength Long Length Fibers: *Optical Fiber Conference '84*, Nueva Orleans, 1984.

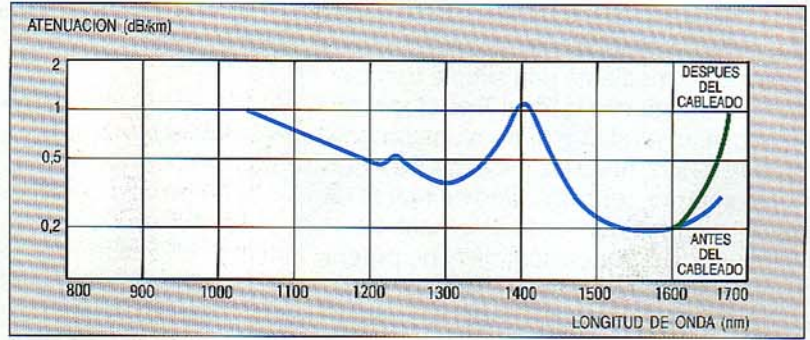


Figura 6
Atenuación espectral de la fibra de dispersión desplazada antes y después del cableado.

Michel Carratt nació en 1949. Cursó sus estudios en el Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Francia. Entre 1974 y 1978 trabajó en Les Câbles de Lyon, en el desarrollo de guíasondas. Después, en 1978 ingresó en CLTO, donde actualmente dirige las divisiones de empalmes y medidas y las de investigación y desarrollo de fibras. El Sr. Carratt es responsable del programa de desarrollo de fibras submarinas.

Christian Reinaudo nació en Avignon, Francia, en 1954. Estudió en la Ecole de Physique et de Chimie y en la Universidad de París, donde recibió el grado de ingeniería en 1977 y el doctorado en 1983. Después de trabajar en Laboratoires de Marcoussis en el campo genérico de materiales, ingresó en CLTO como ingeniero de procesos en 1984, en el departamento de investigación de fibras submarinas. El Dr. Reinaudo dirige hoy dicho departamento, responsable del diseño y la fabricación de fibras ópticas y del desarrollo de nuevos dispositivos de medida.

Robert Jocteur nació en 1933 en Lyon, Francia. Se graduó en la Universidad de aquella ciudad, con un MS en matemáticas y física, y luego ingresó en Les Câbles de Lyon, dedicándose a investigación en cables de cobre para telecomunicación. En 1974 comenzó a trabajar en tecnología de cables de fibra óptica, y en 1983 se encargó del desarrollo de fibras ópticas submarinas. El Sr. Jocteur es actualmente responsable técnico del departamento de telecomunicaciones en Les Câbles de Lyon.

Jean-Pierre Trezeguet nació en 1943. Tiene el doctorado en física de radiofrecuencias. Mientras estudiaba en la Universidad de Burdeos, trabajó en un interferómetro de 35 GHz para el Observatorio Astronómico de Floirac. El Dr. Trezeguet ingresó como ingeniero en Les Câbles de Lyon en 1970, trabajando en guíasondas circulares, y pasando más tarde a dirigir este departamento. Desde 1975 ha estado encargado del servicio técnico de la división de cables submarinos.

Sistemas ópticos para zonas remotas

La economía de la transmisión digital en áreas remotas suele favorecer el uso de sistemas de transmisión ópticos con 30, 120 ó 480 canales de voz. Se han desarrollado nuevos sistemas de fibra monomodo de 2, 8 y 34 Mbit/s para dichas aplicaciones.

D. J. Morris

M. P. Quigley

Alcatel STC, Sydney, Australia

Introducción

Al principio de los años 1980, el uso de sistemas de transmisión por fibra monomodo se limitaba esencialmente a rutas entre centrales de largo alcance y gran capacidad. Sin embargo, estos sistemas monomodo, desarrollados para operar a 140 Mbit/s y, más recientemente, a 565 Mbit/s, no son apropiados ni económicos para zonas rurales de población dispersa, donde suelen convenir las capacidades de 30 ó 120 canales.

Ha quedado ya de manifiesto la economía de la transmisión digital de baja capacidad con fibras ópticas monomodo frente a otros medios de transmisión digital. Esto ha conducido al desarrollo de equipos de transmisión ópticos de alta calidad que trabajan

a 2, 8, y 34 Mbit/s, capaces de funcionar sin repetidores en muchas aplicaciones de zonas remotas.

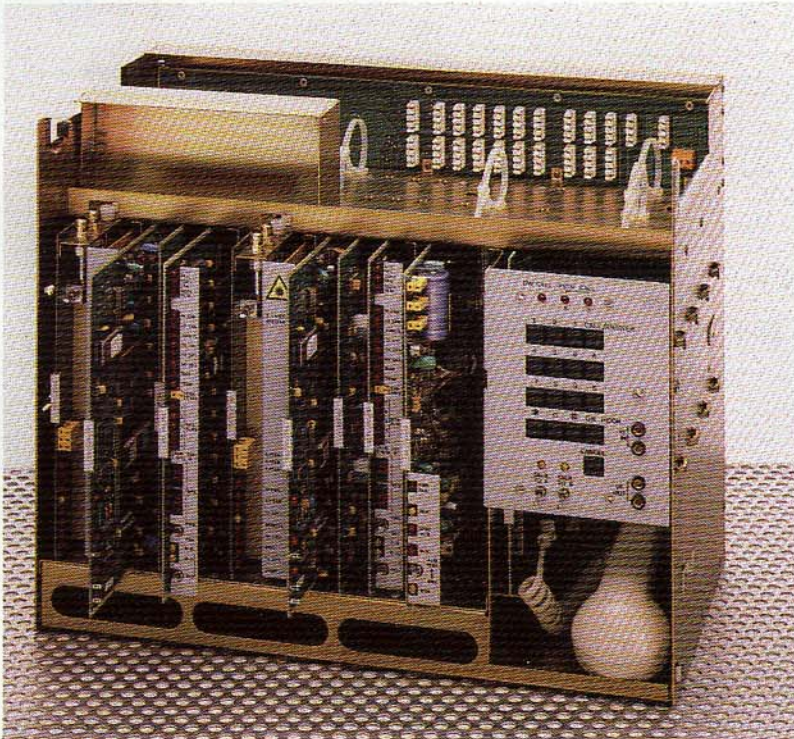
La necesidad de eliminar el cobre de los cables ópticos para evitar daños producidos por descargas eléctricas obliga a incorporar en la fibra el hilo de órdenes de alta calidad, la supervisión y la telemetría mediante técnicas fundamentalmente diferentes de las utilizadas en sistemas de gran capacidad.

Requisitos del sistema

La distribución de población en Australia se caracteriza por asentamientos de alta densidad centrados en seis ciudades principales. El resto de la población se distribuye en muchas pequeñas comunidades dispersas, separadas por distancias que van desde decenas hasta cientos de kilómetros. Los requisitos básicos de los sistemas ópticos de baja velocidad que han de relacionar tales poblaciones son:

- largos vanos de repetición para no tener que instalar repetidores subterráneos en los trayectos entre centrales
- receptores con un amplio margen dinámico para acomodarse a las grandes variaciones de distancias entre ciudades, sin necesidad de ajustar la sensibilidad del equipo manualmente o equipando atenuadores ópticos
- diseño modular, que permita fácilmente pasar a velocidades de transmisión más altas mediante sustitución de placas, cuando aumente la demanda
- subsistema de supervisión, para vigilar a distancia el funcionamiento de los repetidores y terminales no atendidos
- subsistema de hilo de órdenes, que permita comunicación de voz sobre el sistema óptico de línea para uso del personal de instalación y mantenimiento,

Terminal doble de línea óptica monomodo de baja velocidad.



aun con una fuerte degradación del tráfico

- canal auxiliar que combine los subsistemas de supervisión y de órdenes junto con líneas de control remoto, y que sea independiente del tráfico principal
- facilidad que ofrezca al hilo de órdenes el acceso a la red telefónica pública.

Es además esencial que el equipo, localizado en zonas remotas, sea altamente fiable en un amplio margen de temperaturas y condiciones ambientales.

Atenuación del cable

Los sistemas de transmisión digital basados en cable de pares, cuadretes y coaxial requieren repetidores relativamente próximos, con lo que esto implica en costes de cajas o cámaras, instalación adicional y alimentación de potencia.

Es ya normal una atenuación de 0,5 dB/km en la fibra óptica monomodo, y los empalmes y conectores ópticos de bajas pérdidas han llegado a ser práctica estándar. Estos factores permiten cubrir sin repetición hasta 90 km a 2 Mbit/s con fibra monomodo, manteniendo márgenes de sistema adecuados.

Tráfico auxiliar

Los transitorios provocados por descargas atmosféricas son un peligro para los equipos electrónicos conectados a través de cables de cobre. Este peligro prevalece en ciertos países, como Australia. Por esta razón se han adoptado cables ópticos sin elementos metálicos, lo cual obliga a cursar el tráfico auxiliar (hilo de órdenes, supervisión y datos) por la fibra misma.

En los sistemas de alta velocidad, este tráfico auxiliar suele transmitirse modulando en amplitud la señal de transmisión principal con una profundidad de modulación del 1 al 5%, y se detecta en el receptor mediante técnicas de demodulación de amplitud usuales. Sin embargo, esto es de todo punto inviable en una transmisión óptica de baja velocidad. En efecto, la profundidad de modulación requerida es función de la velocidad de transmisión, y cuando se trabaja a 2 y 8 Mbit/s, la profundidad de modulación necesaria para obtener una tasa de error aceptable en el canal auxiliar es excesiva. Si hubiese que adoptar modulación de amplitud en sistemas de baja velocidad, la sensibilidad en el receptor se vería muy afectada. La figura 1 ilustra la

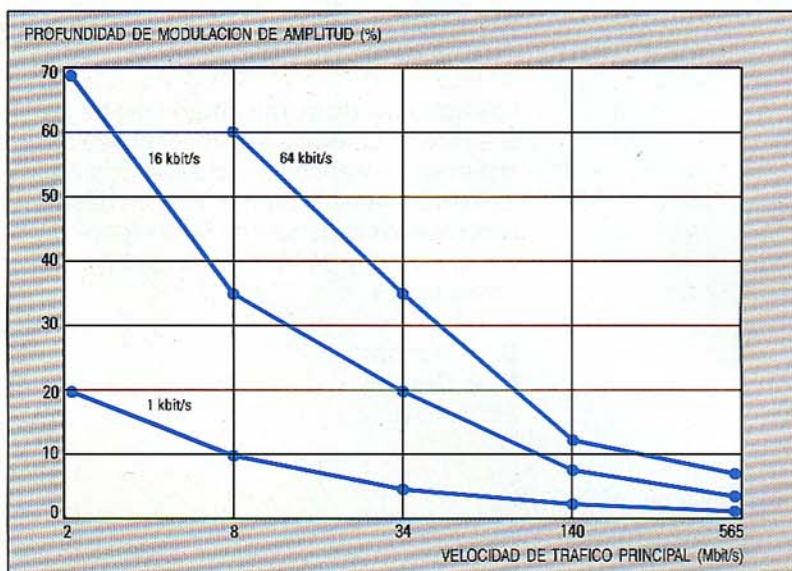


Figura 1
Profundidad de modulación de amplitud para diversas velocidades de datos auxiliares.

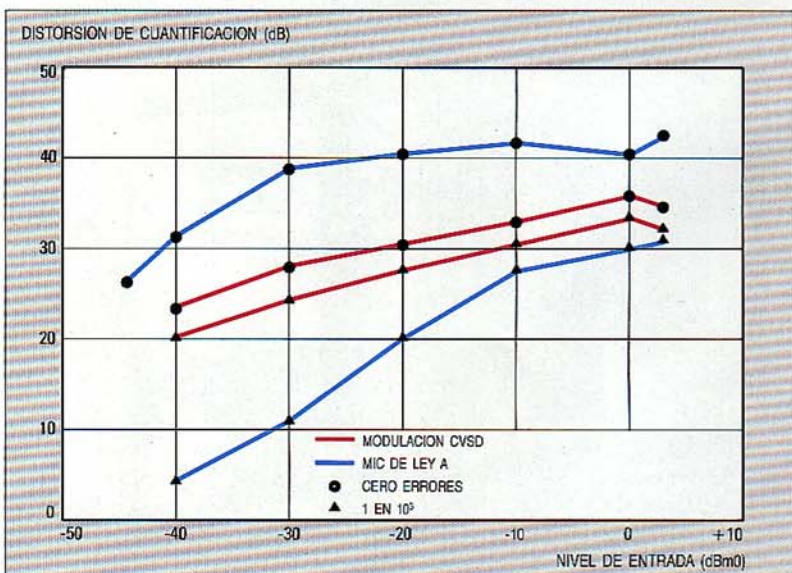
profundidad de modulación requerida para conseguir una tasa de errores de bit de 10^{-9} en el canal auxiliar a diferentes capacidades de canal.

El canal de tráfico auxiliar consiste en un canal de supervisión de 2,4 kbit/s, seis canales de control remoto y un canal de servicio. El tráfico en estos canales está multiplexado en una vía de datos auxiliares compuesta de 72 kbit/s, y se transmite por la vía de tráfico principal aplicando la técnica de codificación.

El canal de servicio se puede configurar para una de las siguientes opciones:

- un canal de voz o datos de 64 kbit/s
- dos canales de 32 kbit/s, de los cuales sólo uno puede destinarse a voz
- un canal de voz o datos de 32 kbit/s más seis canales de 4,8 kbit/s para tráfico de datos.

Figura 2
Efectos de los errores en la distorsión de cuantificación.



Se utiliza CVSD (modulación delta de pendiente continuamente variable) para los canales de voz de 64 y 32 kbit/s del hilo de órdenes. La codificación CVSD tiene una inmunidad relativamente alta a los errores de un solo bit si se la compara con la ley A de codificación MIC, por lo que es muy adecuada para esta aplicación del hilo de órdenes. La figura 2 muestra el comportamiento de la modulación CVSD en presencia de errores. Los resultados de medidas

redundancia, para transmitir los datos auxiliares asíncronos. La estructura alfabética del código 3B6B se ha optimizado para obtener las siguientes ventajas:

- fácil codificación y decodificación utilizando el mismo bit de cada palabra de código para llevar datos auxiliares
- sencilla detección del desalineamiento del decodificador, mediante errores de paridad de la palabra de código

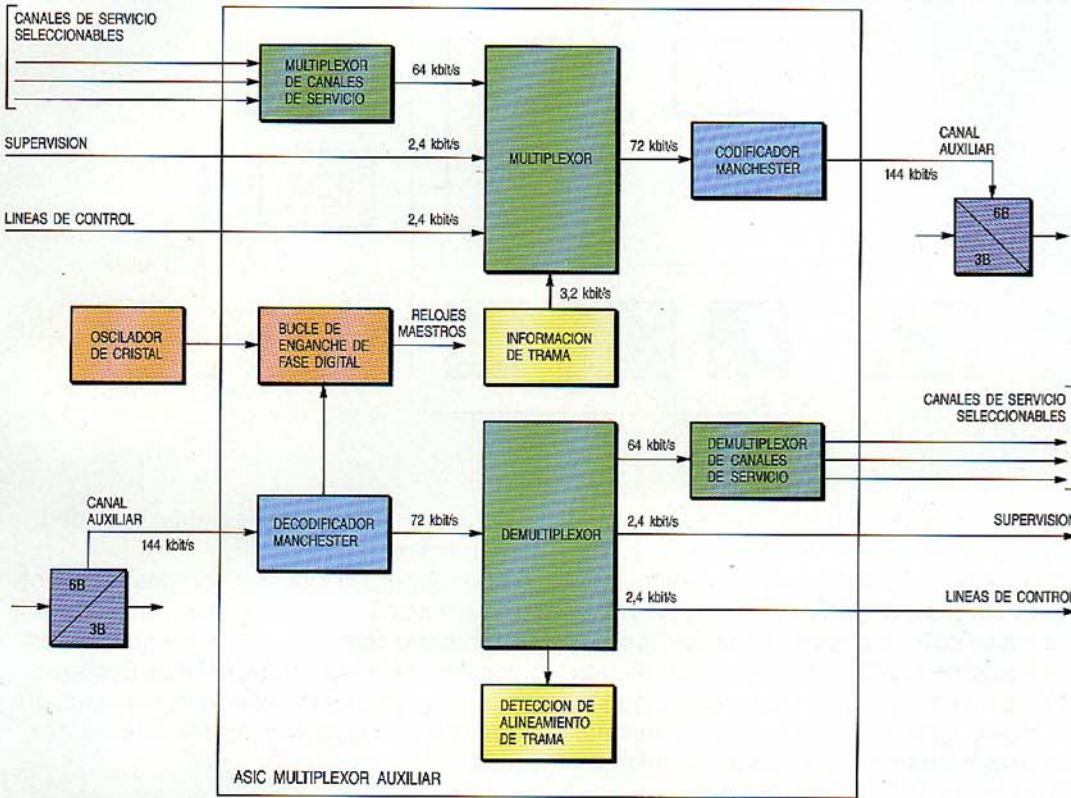


Figura 3
Diagrama de bloques del canal auxiliar.

en el sistema demuestran que el canal del hilo de órdenes todavía es inteligible cuando la vía de tráfico principal se degrada hasta una tasa de errores de 10^{-1} .

La función de multiplexación para el canal auxiliar se ha realizado en un ASIC (circuito integrado de aplicación específica) de 2400 puertas CMOS de 2 μm , desarrollado para esta función.

La figura 3 ilustra los elementos clave del canal auxiliar de tráfico.

Técnicas de codificación

Para alcanzar los objetivos de diseño en los sistemas ópticos de baja velocidad, el sistema multiplexa los subcanales de tráfico auxiliar en una vía de datos compuesta. Además, se ha elaborado un código de línea que permite transmitir este flujo de datos con el tráfico principal. Se utiliza el código 3B6B, que posee un alto nivel de

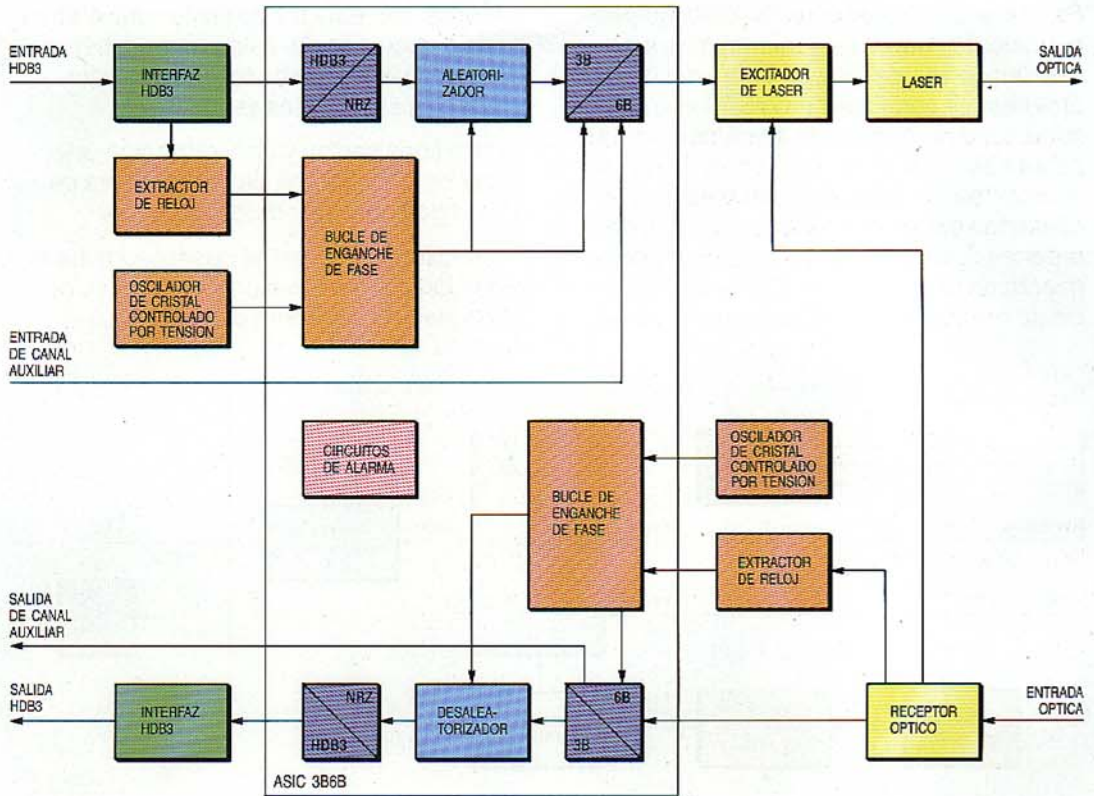
- detección de los errores de línea por la paridad de dicha palabra de código
- modulación equilibrada del láser porque el código de línea produce, en promedio, el mismo número de "unos" y "ceros".

El código 3B6B se ha realizado en un ASIC de 2400 puertas CMOS de 2 μm .

Descripción del sistema

El sistema está construido en una práctica de equipo horizontal según la norma de 600 mm adoptada en Australia. En cada cuadro se puede acomodar hasta dos sistemas ópticos de línea a 2, 8 ó 34 Mbit/s, los cuales convierten las señales procedentes de los interfaces eléctricos estándar, conforme a las recomendaciones del CCITT, en señales ópticas a transmitir por fibras monomodo a 1300 nm.

Figura 4
Diagrama de bloques de un terminal óptico indicando las vías de transmisión y de recepción.



El cuadro alberga también el equipo de supervisión, de datos auxiliares y del hilo de órdenes, e incluso la unidad de alimentación y alarma compartida.

El diseño del equipo es modular. Los transceptores ópticos para las velocidades principales de 2, 8 y 34 Mbit/s tienen todas las mismas dimensiones físicas, las mismas conexiones eléctricas y pueden montarse en la misma posición de un cuadro.

El equipo de supervisión, de órdenes y de datos auxiliares es común para las tres velocidades de transmisión. Ello permite instalar inicialmente un sistema de 2 Mbit/s y después elevar su capacidad hasta 8 ó

34 Mbit/s, sin más que cambiar la unidad del transceptor óptico.

En rutas cuya longitud sobrepase el vano de repetición máximo, se equipan en un cuadro dos terminales de línea que actúan como un repetidor bidireccional. El subsistema de supervisión puede vigilar hasta 30 de dichos repetidores instalados en sucesión.

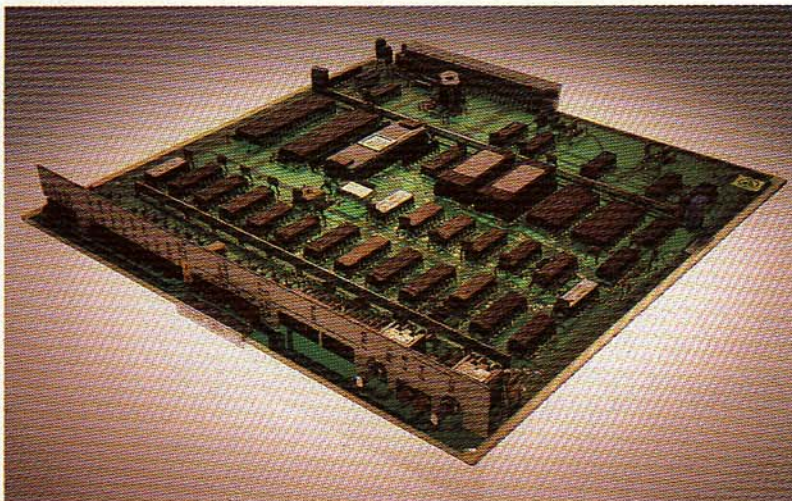
Vía de transmisión

La figura 4 es un diagrama de bloques de un terminal óptico, donde se aprecian las unidades funcionales que componen las vías de transmisión y de recepción.

En la parte transmisora, la señal HDB3 de entrada pasa a través de un transformador a un regenerador, que discrimina entre marcas positivas, marcas negativas y espacios o niveles cero. Se extrae asimismo la señal de reloj de entrada. La salida del regenerador se lleva al codificador 3B6B, donde se aleatoriza y combina con los datos auxiliares para producir una señal de línea compuesta con velocidad doble de la velocidad principal de tráfico.

El flujo de datos codificados 3B6B se lleva luego del circuito codificador al diodo láser monómodo. Se dispone de dos tipos de diodos láser, cuyas potencias de salida son de -3 dBm y -13 dBm. La potencia que requiere el láser se determina de acuerdo con cada vano de repetición, al planificar el sistema. El módulo láser de alta

Unidad terminal de supervisión.



potencia está equipado con un elemento enfriador Peltier que permite mantener la pastilla del láser a una temperatura estable. El tallo de fibra del láser se termina con un conector óptico monomodo de norma FC o DIN 47256.

En algunas aplicaciones, los requisitos de seguridad local prescriben que los láseres dejen de funcionar automáticamente cuando se produzca ruptura de fibra o pérdida de señal recibida. Para ello el sistema dispone de una facilidad opcional.

En la recepción, la señal óptica de entrada pasa a un módulo receptor de amplio margen dinámico a través de un tallo de fibra multimodo que está terminado con un conector FC o DIN 47256. El uso de una fibra multimodo en la recepción le permite al sistema funcionar tanto con cables de fibras multimodo como monomodo.

A 2 y a 8 Mbit/s se utiliza un módulo PINFET de alta impedancia, consiguiéndose un margen dinámico de 40 a 45 dB. En el sistema de 34 Mbit/s se utiliza un APD (fotodiodo de avalancha) y se alcanzan los 35 dB.

La salida del PINFET/APD se hace pasar por varias etapas de proceso de señal donde se extraen los datos y reloj antes de llegar al decodificador 3B6B, que recupera los datos auxiliares y detecta si la palabra de 6 bits es válida. Los impulsos de violación de código se llevan a contadores de errores que mantienen vigilancia de las tasas de error de línea. A continuación, los bits de información de tráfico decodificados se desaleatorizan y se codifican a formato HDB3.

Subsistema de supervisión

El subsistema de supervisión permite vigilar a distancia el comportamiento de todos los terminales o repetidores en un sistema de línea que curse tráfico real. Los parámetros observados en cada lugar son:

- tasa de errores alta (10^{-3}) y baja (10^{-5} a 2/8 Mbit/s; 10^{-6} a 34 Mbit/s)
- pérdida de señal a la entrada del transmisor
- pérdida de señal óptica transmitida
- pérdida de señal óptica recibida
- alta corriente de polarización del láser
- fallo del dispositivo Peltier del láser
- diversas alarmas locales.

La información de supervisión se envía a las estaciones situadas a uno y otro extremo de la sección supervisada. Sin embargo, el esquema de comunicaciones también permite disponer en cada punto de la ruta de un sistema completo de información de

supervisión. Esta puede observarse en cualquier lugar utilizando una unidad terminal de supervisión portátil.

Todas las funciones de supervisión las realizan circuitos de microprocesador que recogen la información de alarma y de errores disponible en cada punto e incorporan esos datos al canal de datos de supervisión de 2,4 kbit/s. La programación de estas funciones se almacena en una EPROM, para uso del microprocesador. La unidad terminal de supervisión también se vale de un segundo microprocesador para vigilar inteligentemente las alarmas en cualquier lugar particular.

Los datos de supervisión se transmiten junto con el tráfico por la fibra, usando un canal de datos de 2,4 kbit/s en dúplex total, el cual se multiplexa por división en el tiempo con otros canales para formar una señal auxiliar compuesta de 72 kbit/s, que después se codifica en código bifásico diferencial a 144 kbit/s y se transmite por el portador óptico haciendo uso de la redundancia del código de línea 3B6B.

La comunicación entre diferentes lugares utiliza transmisión de octetos sincronizados para facilitar la multiplexación síncrona con otras señales afluentes auxiliares. Se inserta un carácter de sincronismo siempre que no se transmitan datos.

Cada 10 segundos se envía un mensaje de interrogación (orden de un octeto) desde ambos extremos de una sección de supervisión, con el fin de iniciar un informe de estado desde cada estación. La unidad de supervisión de cada lugar responde enviando un mensaje de estado hacia el origen del mensaje de interrogación. Este mensaje de estado es un bloque de 11 octetos

Placa de circuito impreso para el receptor óptico a 8 Mbit/s.

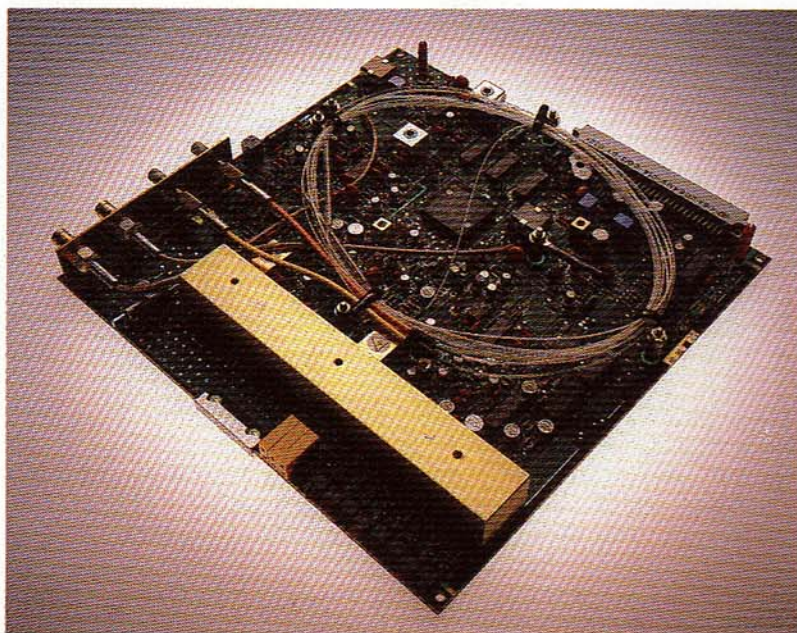


Tabla 1 – Principales características técnicas de los sistemas de fibra óptica de baja velocidad

Capacidad de transmisión	Mbit/s	2		8		34	
Tipo de fibra		SM o MM		SM o MM		SM o MM	
Transmisor óptico		Láser		Láser		Láser	
		Baja potencia	Alta potencia	Baja potencia	Alta potencia	Baja potencia	Alta potencia
Potencia óptica de salida media nominal	dBm	-13	-3	-13	-3	-13	-3
Potencia óptica media recibida para BER de 10 ⁻⁹							
- sensibilidad	dBm	-53	-53	-49	-49	-41	-41
- sobrecarga	dBm	-8	-8	-8	-8	-12	-12
Margen (incluyendo conectores, margen del equipo, envejecimiento etc.)	dB	5	5	5	5	5	5
Margen adicional para los láseres sin enfriamiento	dB	4	-	4	-	4	-
Margen de pérdidas ópticas admisibles en el medio	dB	0-31	5-45	0-27	5-41	0-19	9-33
Servicios disponibles							
- supervisión		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
- hilo de órdenes		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
- datos auxiliares		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Distancia entre repetidores para una fibra de 0,5 dB/km	km	0-62	10-90	0-54	10-82	0-38	18-66

SM – monomodo
MM – multimodo

que contiene la información de estado para ambas mitades de un "repetidor" bidireccional, junto con indicaciones de alarma local. Consta de un encabezamiento (un octeto), ocho octetos de información de estado y dos octetos de verificación de redundancia cíclica para poder detectar cualquier error en los mensajes recibidos.

Subsistema del hilo de órdenes

Un sistema óptico de línea se puede equipar opcionalmente con un canal de órdenes para proporcionar comunicación de voz entre todas las estaciones de equipos ópticos de línea. La señal de frecuencia vocal se convierte a formato digital usando la técnica CVSD con modulación a 32 ó 64 kbit/s. Después se multiplexa por división en el tiempo con la información de supervisión y otras señales de datos para formar la señal auxiliar compuesta de 72 kbit/s.

La señalización del hilo de órdenes entre los lugares donde está instalado equipo óptico es del tipo DTMF (multifrecuencia de doble tono). Cada unidad está equipada con un teclado de 12 teclas, cinco teclas de funciones, un generador DTMF y un decodificador DTMF. El sistema de hilo de órdenes puede llamar selectivamente a 99 lugares,

o bien llamar en grupo a todos ellos a la vez utilizando una dirección universal. Una facilidad opcional permite el acceso directo a la red telefónica pública conmutada desde cualquier repetidor o terminal a lo largo del sistema, lo cual es especialmente útil para el personal de instalación o mantenimiento que trabaja en localidades remotas.

Canal auxiliar

El canal auxiliar compuesto de 72 kbit/s consiste en un canal de supervisión de 2,4 kbit/s, seis canales de control remoto y un canal de servicio de 64 kbit/s. Se utiliza una trama de 90 bits, constituida por siete bits para alineación de trama, tres bits para datos de supervisión y 80 bits para el canal de servicio. La frecuencia de trama es 800 Hz.

Como se apuntó previamente, el canal de servicio se puede configurar de tres modos distintos, cada uno con diferente estructura de trama. La palabra y la estrategia adoptadas para la alineación de trama son idénticas a las especificadas en la Recomendación G.732 del CCITT para sistemas MIC primarios de 2 Mbit/s.

Los seis bits de reserva en la trama alternada que no contiene la palabra de alineamiento, sirven para proporcionar seis líneas

de control remoto, una de las cuales la utiliza el equipo para la reposición remota del láser en aquellas aplicaciones en las que por seguridad se le pone automáticamente fuera de servicio. Otras dos de esas líneas se utilizan internamente para poner en situación inicial los programas de supervisión y para indicar las condiciones de fallo detectadas en un terminal remoto de línea. Las tres restantes líneas quedan disponibles para uso del cliente.

Aplicaciones

El equipo de transmisión óptico de fibra monomodo se ha diseñado para operar en las rigurosas condiciones climáticas que son frecuentes en zonas remotas de Australia, con temperaturas hasta de 50°C y humedad relativa máxima del 85%.

A pesar de que la aplicación primaria es para las redes rurales entre centrales en Australia, el equipo también se ha instalado en una red de área local óptica en el distrito céntrico comercial de Melbourne.

Las principales características del equipo se indican en la tabla 1. Como puede verse, el equipo se ha diseñado para aplicaciones en cualquier red que necesite enlaces digitales de capacidad mediana a baja, con repetidores separados hasta 90 km.

En Australia se han desarrollado cables de fibra monomodo de capacidad reducida (2 y 4 fibras), que se pueden enterrar directamente en el suelo mediante técnicas desarrolladas y perfeccionadas por Telecom Australia para sus enlaces ópticos de alta capacidad.

Conclusiones

Los análisis de redes han demostrado que los sistemas de fibra óptica monomodo de baja a mediana capacidad ofrecen una alternativa económica frente a los sistemas de radioenlaces y de cables de pares metálicos para unir centrales situadas en zonas remotas. Alcatel STC ha desarrollado una gama de sistemas ópticos monomodo de baja velocidad binaria para tales aplicaciones, los cuales proporcionan canales auxiliares de alta calidad con técnicas innovadoras de codificación y multiplexación. Estos sistemas están ya funcionando en la red rural de Australia y pronto saldrán al mercado de exportación.

David J. Morris nació en Australia en 1957. Se graduó BSc en la Universidad de New South Wales en Sidney con una licenciatura en 1977, y en 1979 se especializó con mérito en ingeniería eléctrica. Al año siguiente entró en el departamento de ingeniería de transmisión de Standard Telephones & Cables Pty Limited, Sidney, donde trabajó en sistemas de telegrafía armónica y de MIC. El Sr. Morris entró en la sección de ingeniería óptica en 1984, siendo ahora jefe de proyecto de los sistemas ópticos de baja velocidad.

Michael P. Quigley nació en 1953. Se graduó en ciencias (física) y se especializó con mérito en ingeniería en la Universidad de New South Wales. Como ingeniero de diseño en Standard Telephones & Cables Pty Limited participó en el diseño y desarrollo de equipos múltiple de división en frecuencia y de portadora antes de dirigir el desarrollo de los equipos de transmisión digital MIC y sistemas ópticos. El Sr. Quigley es actualmente jefe técnico de los sistemas de transmisión y de abonados, responsable de las actividades I+D+I para productos desarrollados y fabricados en Australia.

Circuitos integrados bipolares fiables de alta velocidad para transmisión a larga distancia

Los modernos sistemas de transmisión de alta velocidad requieren circuitos integrados bipolares avanzados para conseguir las altas prestaciones que exigen las aplicaciones actuales. La tecnología de lógica de emisor acoplado ofrece una serie de ventajas para sistemas de comunicaciones terrestres y submarinos.

J. Brierre
J.-C. Cadène
J.-Y. Fourrier
J.-M. Thilliez
D. Tribet

Alcatel Transmission Sur Câbles,
Marcoussis, Francia

Introducción

Las redes de larga distancia más modernas utilizan fibras ópticas para transportar la información entre el transmisor y el receptor. En los diez últimos años se han logrado abundantes progresos tecnológicos, ensanchando los límites de la transmisión por fibras ópticas.

La fibra misma se ha beneficiado de avances tales como el dopado de vidrios y los perfiles con impureza controlada para obtener menores pérdidas y reducir la dispersión cromática. Gradualmente, las fibras multimodo con diámetro del núcleo en torno a $100 \mu\text{m}$ se han reemplazado por fibras monomodo de sólo $7 \mu\text{m}$ de diámetro. Al mismo tiempo, la longitud de

onda de propagación ha pasado de la primera ventana ($\lambda = 0,8 \mu\text{m}$) a la segunda ($\lambda = 1,3 \mu\text{m}$), con lo cual el vano de repetición en enlaces comerciales, antes de escasos kilómetros, supera ya los 40 km.

La nueva generación de sistemas ópticos de transmisión a larga distancia operarán en la tercera ventana ($\lambda = 1,55 \mu\text{m}$), y por ello la separación de los repetidores crecerá hasta rebasar ampliamente los 100 km. Las velocidades de transmisión, que ya han subido desde 34 hasta 560 Mbit/s en enlaces comerciales de banda ancha, continuarán su ascensión con la siguiente generación de sistemas que ofrecerán velocidades máximas entre 2,4 y 2,8 Gbit/s, velocidades que abren camino a las RDSI de banda ancha y amplían el margen de aplicaciones posibles.

Merced a cambios tan espectaculares se ha reducido el número de repetidores por enlace e incrementado el número de canales. Todo ello se debe al uso de dispositivos electrónicos cada vez más refinados, como son los transmisores láser, receptores ópticos¹, y circuitos integrados.

Regenerador óptico

Antes de entrar en la tecnología de circuitos integrados (CI), vale la pena resumir cómo funciona un sencillo regenerador óptico (Fig. 1). En la entrada del receptor, un diodo PIN o fotodiodo de avalancha (con mejor sensibilidad pero más ruido) convierte los impulsos ópticos atenuados en impulsos de corriente, que luego amplifica y convierte en impulsos de tensión el primer CI, el preamplificador de transimpedancia. Un

Detalle del CI preamplificador del repetidor submarino S280 fabricado en tecnología Difax 1A (la anchura de la pista del emisor es $1 \mu\text{m}$).

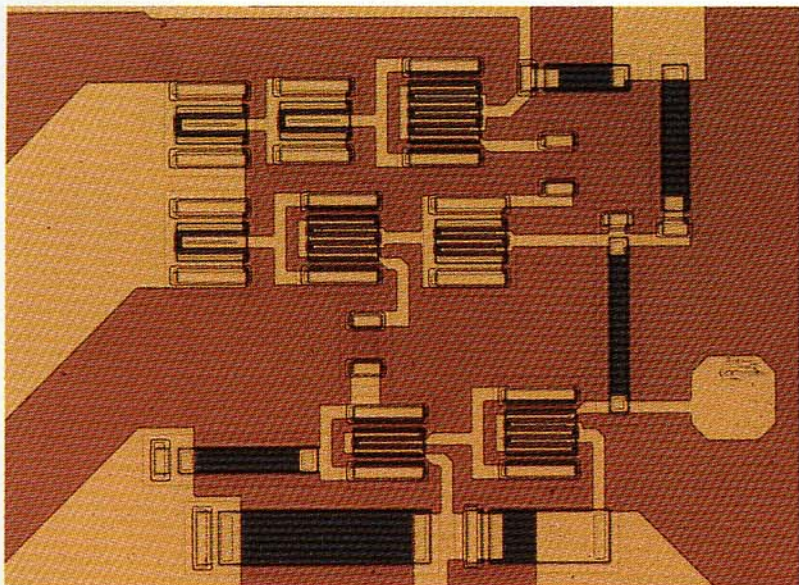


Tabla 1 – Funciones básicas de los CI contenidos en un regenerador óptico

Función	Tipo de operación	Requisitos
1 Preamplificador	Analógico lineal	Bajo ruido, banda ancha, alta ganancia
2 CAG + ecualizador	Analógico lineal	Alta ganancia, estabilidad
3 Recuperación del reloj	Analógico no lineal	Velocidad, sensibilidad, estabilidad
4 Regeneración	Principalmente digital	Velocidad, sensibilidad, estabilidad, ganancia
5 Polarización láser	Analógico CC	Estabilidad (tiempo, tensión, temperatura) potencia dinámica
6 Modulación láser	Digital	Velocidad, dinámica, pureza
7 Supervisión	Analógico/digital	Velocidad y consumo de potencia bajos

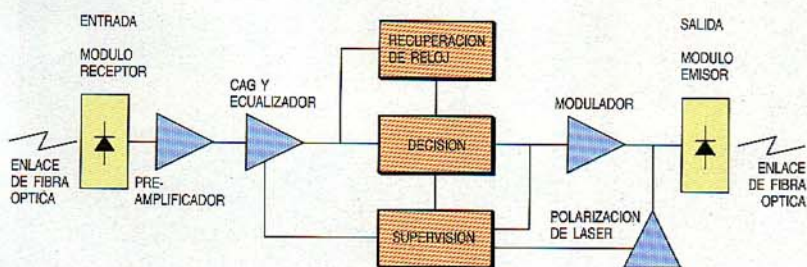
Tabla 2 – Lista de tecnologías de CI disponibles en ATC

Tecnología	Aplicación		Estado
	Terrestre	Submarina	
Dífox 1	Hasta 840 Mbit/s	Hasta 280 Mbit/s	En producción (1982)
Dífox 1A	Hasta 1,3 Gbit/s	Hasta 560 Mbit/s	En producción (1986)
Gigabip 1	Hasta 2,8 Gbit/s	—	En desarrollo

control automático de ganancia y un ecualizador mantienen esta señal entre límites calibrados, de forma que el siguiente circuito de regeneración pueda recomponerla en amplitud y fase para eliminar el ruido de fluctuación. El CI de decisión realiza la discriminación de nivel, conformación del impulso y resincronización.

También se necesita un CI auxiliar para recuperación del reloj. Usualmente, se incorpora en el regenerador un detector de la tasa de errores de bit. La señal regenerada pasa a un CI modulador y de ahí a un diodo láser, en la salida del receptor, polarizado en un punto de operación de reposo de tal forma que emita potentes impulsos luminosos hacia la siguiente sección del enlace. En los regeneradores submarinos, cuyo funcionamiento debe estar garantizado por 25 años, la fiabilidad es primordial, incluyendo el repetidor medios adicionales para localizar los regeneradores en fallo y descubrir la índole del mismo. Es

Figura 1
Diagrama simplificado de un regenerador óptico unidireccional sin redundancia. CAG - control automático de ganancia.



también posible conmutar desde un terminal remoto a un camino de reserva. Para simplificar, se ha reunido todas estas facilidades en la figura 1².

Funciones básicas de los CI

La tabla 1 muestra las características principales de los CI utilizados en un regenerador óptico normal. La tecnología ideal debe adaptarse tanto a las funciones analógicas como a las digitales, en un amplio margen de frecuencias que van desde CC hasta la máxima frecuencia de reloj, sin comprometer la fiabilidad. Pocas tecnologías presentes en el mercado pueden ofrecer la necesaria flexibilidad y prestaciones, y por esta razón ATC (Alcatel Transmission Sur Câbles) ha establecido, en los últimos 12 años, una fuente interna de suministro para todos los CI estratégicos, es decir, aquellos que utilizan diseño y fabricación de propiedad exclusiva para garantizar las necesarias prestaciones del sistema, su fiabilidad y la continuidad del suministro. Se ha preferido la tecnología ECL (lógica de emisor acoplado) porque se adapta a las funciones analógicas y digitales, y ofrece alta velocidad, estabilidad e inmunidad al ruido debido a su estructura equilibrada.

Como en cualquier tecnología, la velocidad se obtiene a expensas del consumo de potencia. Aunque otras tecnologías podrían adaptarse mejor a los CI de baja velocidad, el balance global favorece la elección de ECL, particularmente para sistemas de transmisión submarinos en los que una fuente única simplifica los aspectos de fiabilidad, y a velocidades mayores de 280 Mbit/s, en las que el producto velocidad-potencia no puede lograrse con tecnología CMOS.

Sin duda, con la ECL hay que imponer un conjunto coherente de reglas de diseño y trazado y tomar precauciones para evitar problemas de sobrecalentamiento o electromigración que causen un comportamiento marginal o que afecten adversamente a la fiabilidad.

Tecnologías disponibles en ATC

Se han desarrollado tres familias de tecnologías (Tabla 2) en ATC para atender las necesidades presentes y futuras. Los orígenes de la Dífox 1* se remontan a 1975, cuando el PTT francés se fijó el objetivo de lograr al final de la década un sistema de transmisión digital por cable coaxial a

* Marca registrada del Grupo Alcatel.

560/840 Mbit/s. En 1981, la tecnología Difox 1 se transfirió desde su centro de desarrollo, Laboratoires de Marcoussis, a Alcatel CIT, donde se ha utilizado ampliamente para fabricar CI de alta velocidad, totalizando casi 150.000 dispositivos que actualmente trabajan en diversos sistemas de transmisión por cable coaxial y fibra óptica, a velocidades de 34, 140, 280 y 560 Mbit/s. La Difox 1A es una versión mejorada en prestaciones, con superiores densidades de integración y mayor fiabilidad. Es compatible por exceso con Difox 1.

Hasta la etapa de proceso que define la célula del transistor (es decir, la base), todo el juego de máscaras y operaciones de fabricación son las mismas para Difox 1 y 1A. En la medida posible, los procesos se han mantenido sencillos y compatibles entre sí para evitar la creación de excesivas variantes, ya que esto origina pobres rendimientos de fabricación y problemas relacionados con la fiabilidad.

Está ahora en desarrollo la tecnología Gigabip 1* para cubrir la necesidad de circuitos de multigigabits, inicialmente en sistemas de 2,8 Gbit/s. Sucesivas mejoras, como los emisores de polisilicio dopados con arsénico y las menores dimensiones, permitirán potenciar la tecnología para uso en 5 Gbit/s cuando ello sea necesario.

Tabla 3 – Comparación de tecnologías – características de procesos

Características	Difox 1	Difox 1A	Gigabip 1
Sustrato de silicio	3" tipo p 4 a 6 Ω cm	3" tipo p	Igual que Difox 1/1A ó 15 a 25 Ω cm*
Capa enterrada de antimonio implantado	Sí	Sí	Sí
Capa epitaxial delgada	1,6 μm/ 0,8 Ω cm	1,6 μm/ 0,8 Ω cm	Igual que Difox 1/1A ó 1,2 μm/0,4 Ω cm*
Aislamiento dieléctrico	Sí	Sí	Sí
Anchura de óxido grueso	1,4 μm	1,4 μm	1,4 μm ó 1 μm*
Implantación iónica completa	No	Sí	Sí
Número de implantaciones	2	6	7
Pasivación base	óxido CVD	Nitruro LPCVD	Nitruro LPCVD
Fotolitografía	Impresora por contacto UV	Impresora por contacto UV	Impresora por contacto profundo UV
Niveles de máscaras para un proceso con 2 niveles de metal	12	12	13 a 15
Esquema de alineamiento	Estándar	Autoalineada	Autoalineada
Resistencias implantadas	2 tipos	3 tipos	3 tipos
Resistencias de polisilicio tipo p	No	No	Sí
Niveles de metalización	1 ó 2	1 ó 2	1 ó 2
Primer nivel	Mo Au	Ti Pt Au	Ti Pt Au
Segundo nivel	Mo Au	Mo Au	Mo Au
Oro electrodepositado grueso en 2º nivel	Sí	Sí	Sí
Aislamiento intermetálico	Oxido CVD	Oxido CVD	Oxido CVD + nitruro PECVD

* Variante más rápida en primeras etapas de desarrollo.

Principales características tecnológicas

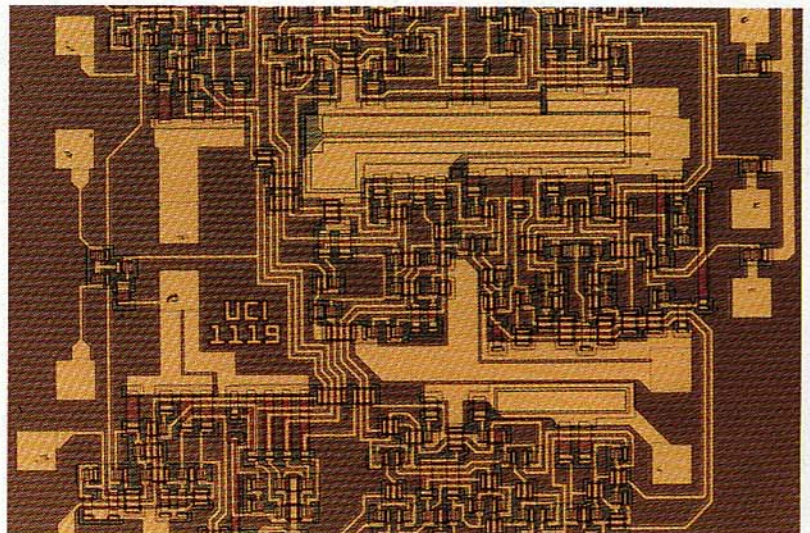
La tabla 3 muestra las características actuales de las tres tecnologías, tales como una capa enterrada implantada de antimonio para conseguir baja resistividad y autodopado** reducido, una capa epitaxial delgada, y el aislamiento de óxido totalmente remitido para topología quasiplanar.

En Difox 1, las regiones de emisor y de base son difundidas, y el contacto de emisor se deja al descubierto** por ataque químico. La Difox 1A utiliza el autoalineamiento para obtener geometrías más finas (hasta de 1 μm) que de otra forma no podrían dominarse, al tiempo que impiden errores de grabación. Todos los contactos se graban simultáneamente mediante una capa compuesta de óxido delgado y nitruro de silicio, que se ataca por iones reactivos**.

La Gigabip 1 usa la misma técnica de fotograbado, pero con enrejado todavía más fino, lo cual se consigue con fotolitografía ultravioleta profunda a longitud de onda de 300 nm. En ambas, Difox 1A y Gigabip 1, los transistores se producen por implantación iónica. La ganancia en corriente se ha

incrementado para reducir el consumo de los CI de alta velocidad y mejorar las características de los CI analógicos, tales como relación señal-ruido del preamplificador. Para alcanzar mayores velocidades en Gigabip 1, las resistencias, realizadas en la masa del sustrato de silicio en Difox 1 y Difox 1A, se han reemplazado por resistencias de polisilicio implantado tipo p depo-

Circuito de decisión del sistema S 280.



* Marca registrada del Grupo Alcatel.
** Véase repertorio de términos, pág. 402.






sitadas sobre el óxido grueso; se ha elegido el dopado *p* porque su coeficiente de temperatura es menor que en el dopado tipo *n*.

El aislamiento entre las resistencias y las conexiones metálicas superpuestas se obtiene por una capa compuesta de óxido térmico y nitruro de alta calidad, realizada por deposición química en fase de vapor a baja presión. Mediante una técnica de separador lateral que utiliza nitruro depositado en fase de vapor en atmósfera de plasma

TiPtAu (1,2 eV), la vida útil puede extenderse bastante más allá que la conseguida con dispositivos comerciales en condiciones de funcionamiento similares.

Para los tecnólogos, el uso de un sistema de metalización basado en oro significa simplemente adoptar un proceso de ataque químico más preciso y delicado, e impedir el uso de temperaturas por encima de 400°C una vez depositada la primera capa de metal.

Tabla 4 – Criterios para optimización de CI ultrarrápidos

Parámetro	Nombre	Dirección de optimización	Consecuencia	Limitación de primer orden
<i>C</i>	Capacidad de entrada		Litografía avanzada. Perfil de dopado superficial y controlado. Aislamiento dieléctrico de silicio	Equipos Coste Optimización de corriente
ΔV	Variación de tensión		CML versus ECL Aumento de transconductancia Aumento de ganancia en corriente Trazado y diseño optimizado	Margen de ruido Acoplamiento entre etapas
<i>I</i>	Corriente de funcionamiento		Geometría del transistor Perfil del dopado Metalización basada en oro	Consumo de potencia Electromigración
τ_F	Tiempo de transición directa		Emisor superficial de arseniuro Base delgada Epitaxial delgada y de baja resistividad	Rendimiento Cortocircuitos colector-emisor Resistencia de base
$\sum R_s C_s$	Elementos parásitos		Conexiones cortas dentro y fuera del dado. Cápsulas y microlíneas emparejadas en híbridos	Interfaces de implantación en sistema

mejorado, se consigue un recubrimiento excelente por metalización de cualquier "escalón" de la superficie.

Para simplificar el proceso, las resistencias de polisilicio se insertan después de la reducción de picos de ave y la planarización, y antes de la deposición en fase de vapor del nitruro sobre la base.

En esta tecnología se utiliza un sistema de metalización doble basado en oro. Esta elección obedece a razones de fiabilidad, ya que los circuitos digitales requieren cierta cantidad de potencia para funcionar a elevadas velocidades. Las reducidas dimensiones necesarias para minimizar parásitos hacen del oro la capa conductora ideal para afrontar el flujo de elevada densidad de corriente en los CI y rebajar los límites para electromigraciones³.

Como consecuencia directa de la alta energía de activación necesaria para electromigración – demostrada en un reciente programa de caracterización de nuestros CI de sistemas submarinos – en las capas de Mo-Au (1 eV), o incluso mayor en capas de

Hasta ahora nuestra experiencia se ha limitado a la fabricación de CI con no más de 1000 componentes por pastilla. Aunque esta densidad de integración se puede mejorar, se ajusta bien a la producción de CI de alta velocidad para aplicaciones de telecomunicación.

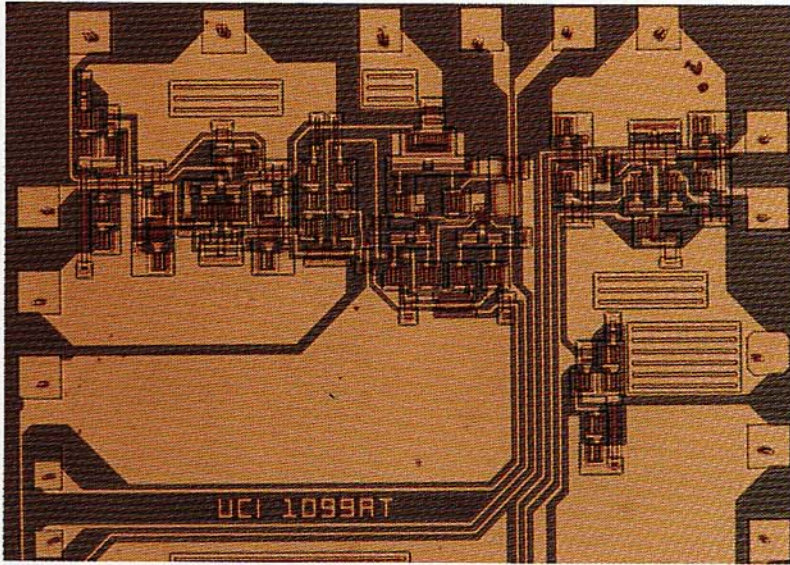
Resultados y optimización de las tecnologías de CI

Optimización de CI bipolares de alta velocidad

El desarrollo de CI digitales que trabajen a altas velocidades binarias y de sincronismo debe ser un esfuerzo coordinado que comprometa a diseñadores de circuitos y tecnólogos. Como guía para optimización puede servir una fórmula semiempírica.

Si τ es el retardo compuesto de propagación de un CI visto desde el mundo externo, entonces⁴:

$$\tau = \gamma C(\Delta V) I^{-1} + \tau_F + \sum R_s C_s$$



Circuito de extracción de reloj del sistema S280.

donde:

- Y – constante dependiente de la tecnología
- C – capacidad de entrada del dispositivo
- ΔV – margen de variación de la tensión
- I – corriente
- τ_F – tiempo de transición directa (principalmente τ_B en transistores bipolares)
- R_s – resistencia parásita de entrada y salida
- C_s – capacidad parásita de entrada y salida.

La tabla 4 pasa revista a las direcciones de optimización junto a las consecuencias y limitaciones más probables.

Para un aprovechamiento completo de las tendencias indicadas deben cumplirse

varios criterios simultáneamente. Esto significa que, dependiendo de la aplicación del sistema, técnica de diseño, o pericia tecnológica, pueden lograrse con diferentes compromisos unas prestaciones totales comparables. Por ejemplo, los japoneses con su tecnología super autoalineada que ofrece tamaños por debajo de las $0,35 \mu m^5$, parecen favorecer la artificiosidad del proceso, mientras que la Universidad de Bochum en Alemania prefiere un proceso más clásico (semejante a Difox 1A) usado con hábiles técnicas de diseño de circuitos⁶.

Como consecuencia de geometrías más finas y uniones menos profundas, el producto ganancia-anchura de banda de los transistores de Gigabip 1 es doble que en Difox 1, aumentando por tanto la velocidad y permitiendo el funcionamiento en hasta 3 Gbit/s. El uso en Gigabip 1 de capas epitaxiales más finas y más dopadas, junto a sustratos de mayor resistividad conducirá a velocidades aún mayores en el próximo futuro. La adopción de resistencias de polisilicio debe demostrar su utilidad en circuitos analógicos de banda ancha (preamplificador y control automático de ganancia).

Principales características eléctricas

La tabla 5 compara las tres tecnologías, todas ellas en evolución para ulterior mejora de prestaciones. Sin embargo, al comparar tecnologías no siempre es aconsejable centrarse únicamente en su prestación máxima, tal como el producto velocidad-potencia. En efecto, el mínimo producto velocidad-potencia en transistores de dimensión muy pequeña es una característica apreciable cuando uno quiere comparar densidad o velocidad en una RAM ECL. Sin embargo, en circuitos diseñados para aplicaciones de telecomunicación esto puede ser engañoso, ya que la mayoría de los CI digitales de alta velocidad o CI analógicos complejos, no utilizan dimensiones mínimas para la longitud del emisor y por lo tanto no son mínimas la anchura de la base ni las capacidades relacionadas. En este caso, el objetivo es optimizar el producto $R_{BB} \cdot C_C$ (resistencia de base \times capacidad base-colector) para una densidad de corriente de emisor dada.

En la tabla 6 se enumeran algunos parámetros clave para simulación de circuitos con SPICE, determinados mediante un programa de extracción de parámetros⁷. El bajo valor de C_{JC} se deriva de la relativamente alta resistividad de la capa epitaxial ($0,8 \Omega \text{ cm}$); por el contrario, el alto valor para C_{JS} se origina en el tipo p de oblea elegida de $5 \Omega \text{ cm}$ de resistividad, que es menos propensa a problemas de inversión

Tabla 5 – Comparación de tecnologías – prestaciones de dispositivos

Características	Difox 1	Difox 1A	Gigabip 1
Distintos tipos de CI fabricados (octubre 1987)	50	10	5
Máximo número recomendado de elementos por CI	500	1000	1000
Paso del emisor (μm)	12/9,5	9,5/7,5	6,4
Anchura de emisor + contacto (μm)	2/1,5	1,5/1	0,8
Espaciado de contactos E-B (μm)	4/3	3/2,75	2,3
Paso del metal 1 (μm)	6/4,75	4,75/3,75	3,2
Paso del metal 2 (μm)	20	16	12
Anchura de base (nm)	320	250	200
Profundidad de unión de emisor (nm)	250	250	200
Ganancia de corriente	60 ± 20	120 ± 30	120 ± 30
Producto ganancia-anchura de banda (f_T) (GHz)	4 a 5	6 a 7	8 a 10
Máxima velocidad demostrada (Gbit/s)	1,3	2*	Obj. > 3,5
Producto velocidad-potencia estimado (fJ)	1500/1200	1000/750	450
Tiempo de subida/bajada estimado (ps)	400	250	125
Alimentación (V)	6,2 ó 5,3	6,2 ó 5,3	5,3
Consumo máximo por CI (W)	1,2	1,0	1,0

* Con anchura de contacto de $1,5 \mu m$ y paso de emisor de $9,5 \mu m$.

de campos que los sustratos de alta resistividad. Todos estos valores son coherentes con los indicados en otras publicaciones^{6,8,9}.

Estado de la tecnología Gigabip 1

Desarrollados y caracterizados con éxito los bloques elementales de la tecnología Gigabip 1 en 1986, se han diseñado varios CI clave para un repetidor de alta velocidad, y a mediados de 1987 se ha iniciado la fase de fabricación de obleas.

Los bloques constructivos, comenzando intencionadamente por los más sencillos, son:

- el par de transistores diferenciales
- el multiplexor 2:1
- dos versiones de circuitos de decisión que incorporan funciones de detección de errores.

Una vez completada la fase de caracterización, se diseñarán y fabricarán circuitos mejorados, así como multiplexores/demultiplexores 4:1 y algunos circuitos de entrada (preamplificador, CAG) o de la cadena de salida (modulador).

El objetivo es instalar y poner en servicio a finales de 1988 el primer enlace comercial mundial de 2,4 Gbit/s, entre Bruselas y Amberes. Mientras tanto, la tecnología se perfeccionará todavía más para aumentar sus posibilidades de trabajar a mayores velocidades.

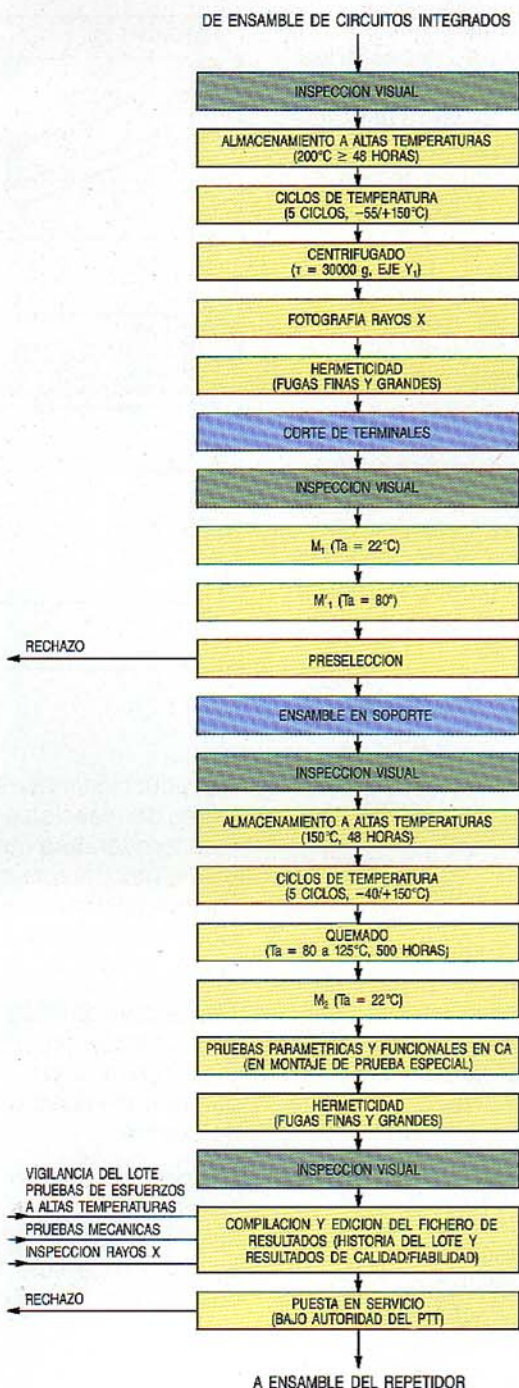
Experiencias de calidad y fiabilidad

La División de Componentes asume un fuerte compromiso de fabricar productos de alta fiabilidad, puesto que un importante cliente es la División de Enlaces Submarinos en la propia Compañía^{2,10,11}. En el caso

Tabla 6 - Algunos parámetros importantes para SPICE de transistores Difox 1A

Parámetros	Transistor A	Transistor B
Tamaño de emisor (µm)	1 x 2 x 15	1 x 1 x 15
Paso de emisor (µm)	12	7,5
I _s (αA)	60	80
β _F	130	110
V _F (Volt)	30	30
R _B (ohm)	130	70
C _{JE} (0 Volt) (fF)	150	75
C _{JC} (0 Volt) (fF)	145	100
C _{JS} (0 Volt) (fF)	325	250
τ _F (ps)	20	20

Figura 2
Procedimiento de selección de circuitos integrados para repetidores submarinos.



de CI se siguen varias normas para asegurar que la calidad y fiabilidad se controlan en cada etapa, empezando por la concepción inicial y el diseño. Además de los procedimientos locales del taller en cuestión (especificación y prueba de obleas en cada etapa de fabricación), cada oblea incluye un mínimo de 50 datos dedicados al control de parámetros tales como tensión de ruptura, corriente de fuga, ganancia de corriente y resistencia. En total se revisan más de 50 parámetros en cada uno de estos datos. Finalmente se comprueban los CI en funcionamiento.

A la tecnología Gigabip 1 se le ha aplicado la misma filosofía desde el principio para

asegurar que cumpla los más estrictos criterios de calidad. La figura 2 muestra los procedimientos de selección a los que se someten los CI Difox cuando van a utilizarse en sistemas submarinos. La figura 3 muestra la vida útil esperada después de una selección tan rigurosa.

Conclusiones

La aparición de sistemas de transmisión digital que operan a varios gigabits por segundo ha espolado el desarrollo de tecnologías idóneas. Respalda por 12 años de experiencia en todos los aspectos de los CI de alta velocidad, incluyendo desarrollo y fabricación, la División de Componentes de ATC está preparando con éxito una línea completa de CI bipolares para funcionar hasta en 2,8 Gbit/s. La nueva tecnología Gigabip 1, ahora en desarrollo, utiliza la fotolitografía para rebajar la dimensión característica hasta las 0,8 μm .

Los sistemas de transmisión digital coaxiales y ópticos fabricados por ATC están en servicio en todo el mundo, funcionando a 34, 140, 280 y 560 Mbit/s en enlaces terrestres y submarinos. Estos sistemas usan CI fabricados en Difox 1/1A, las dos generaciones previas de CI de alta velocidad desarrollados internamente. Los especialistas generalmente coinciden en que 0,2 μm es la anchura de emisor mínima, límite de la tecnología clásica bipolar de silicio. Esto debe permitir el funcionamiento hasta velocidades en torno a 10 Gbit/s. Queda un largo trecho para alcanzar esta velocidad y la tecnología bipolar de silicio no es la única contendiente. Los compuestos de los grupos III-V ofrecen un singular potencial para combinar las tecnologías ópticas y electrónicas en dados semiconductores.

Repertorio de términos

Autodopado: efecto parásito que causa un escaso control del dopado durante el crecimiento de una capa epitaxial. La principal fuente de contaminación es la capa enterrada.

Ataque por iones reactivos: se utiliza esta técnica para crear el patrón deseado en un material, generalmente silicio, polisilicio, dióxido o nitruro de silicio, o metal. Aprovecha la reactividad química de los gases fluorados o clorados, activados en una descarga de plasma.

Deposición química en fase de vapor a baja presión (LPCVD): técnica de deposición en

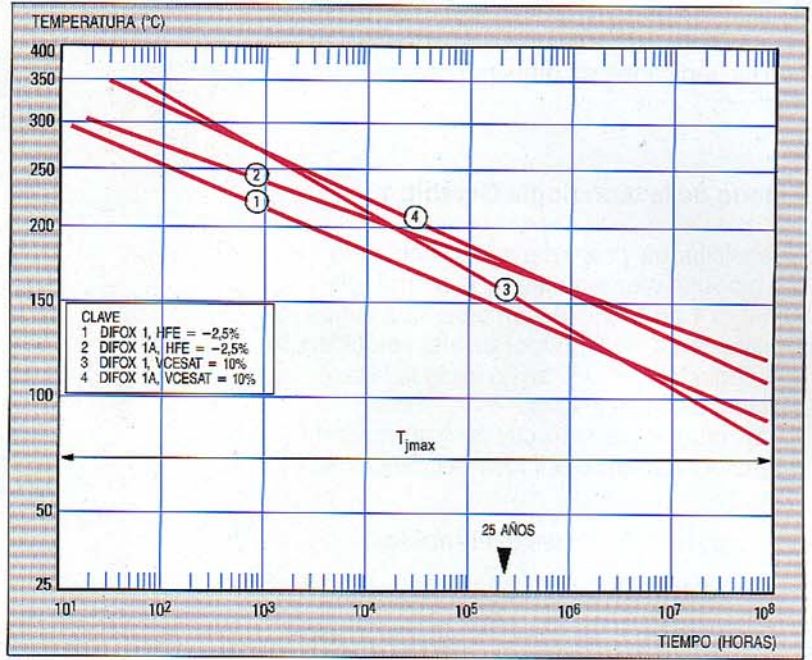


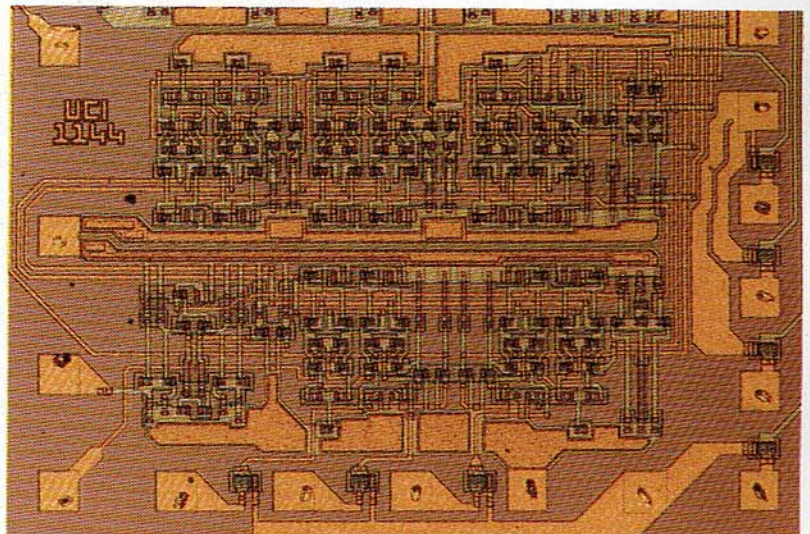
Figura 3
Gráficas para evaluar la vida útil en CI Difox.

la producción masiva que usa las propiedades de reacción a baja presión y moderada temperatura que tienen algunos gases para depositar una capa de material con las características necesarias (grosor, composición, uniformidad) en la superficie de la oblea.

Deposición química en fase de vapor en plasma mejorado (PECVD): similar a LPCVD pero con las temperaturas menores que permite la activación en una descarga de plasma.

Emisor descubierto: esta técnica sirve para hacer contactos en la superficie del emisor utilizando la diferencia de grosor del óxido en dicha superficie. Un cuidadoso ataque deja al descubierto la región de emisor.

CI de unidad de supervisión utilizado en el sistema S 280, mostrando detalles de la doble metalización.



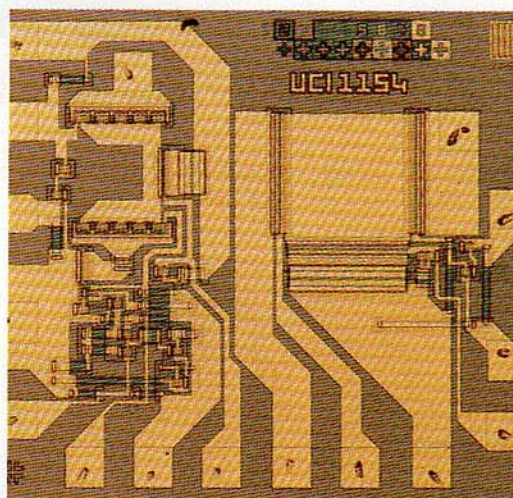
Agradecimiento

Los autores quieren agradecer a Gerard Bourret, Michel Campese, Bernard Le Mouel y Serge Faguet su continuo apoyo y valiosas aportaciones. Se debe asimismo agradecimiento al CNET, que concedió contratos para sustentar el desarrollo de la tecnología.

Referencias

- 1 J. Y. Fourrier, C. Oguey y M. Gueguen: Specific Photodetectors for Long Haul Optical Transmission Systems: *EFOC/LAN*, 1986, 23-27 junio, Amsterdam.
- 2 H. Brzozowski, G. Bourret, J.-Y. Fourrier, J.-L. Lemonde y A. Pelet: S280 Submarine Repeater and Major Components: *Suboptic Conference*, 1986, 18-21 febrero, Versalles, Francia.
- 3 J. M. Dumas, P. Durand, J.-Y. Boulaire y M. Robinet: La Fiabilité des Composants CNET: *Echo des Recherches*, octubre 1982, n° 110.
- 4 S. W. Wieder: Self Aligned Bipolar Technology - New Chances for Very High Speed Digital Integrated Circuits: *Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte*, 1984, volumen 13, n° 5.
- 5 M. Suzuki, K. Hagimoto, H. Ichino y S. Konaka: A 9 GHz Frequency Divider Using Si Bipolar Super Self-Aligned Process Technology: *IEEE Electron Device Letters*, abril 1985, vol. EDL 6, n° 4.
- 6 D. Clawin, U. Langmann y B. G. Bosch: Silicon Bipolar Decision Circuit Handling Bit Rates Up to 5 Gbit/s: *Journal of Lightwave Technology*, marzo 1987, volumen LT5, n° 3.
- 7 TECAP - Transistor Electrical Characterization and Analysis Program: HP 94445A TECAP Software: *Hewlett Packard*.
- 8 I.-V. Pecenco y A. S. Wang: High Performance Bipolar Integrated Circuit Process: *Hewlett Packard Journal*, septiembre 1982.
- 9 M. Ohara, T. Kamoto y T. Sakat: Very Wide Band Bipolar Monolithic Amplifiers: *14th Conference on Solid State Devices*, Tokio 1982.
- 10 J. P. Pestie, J.-P. Campagne y J. Renaud: Fabrication et Selection des Composants de Haute Fiabilité pour Systèmes Téléphoniques Sous-Marins: *L'Onde Electrique*, 1980, volumen 60, n° 8.9.
- 11 J.-Y. Fourrier y J. P. Pestie: A Very High Reliability Fast Bipolar IC Technology for Use in Undersea Optical Fiber Links: *Journal of Lightwave Technology*, diciembre 1984, volumen LT.2, n° 6.

Joël Briere nació en Arpajon, Francia, en 1945. Ingresó en Alcatel en 1966 para trabajar como técnico en giróscopos de precisión. En 1976 pasó a la sección de silicio, ocupándose en la fabricación de transistores de alta



CI de modulación láser en el sistema S 280.

fiabilidad para telefonía y en 1981 fue promocionado al puesto de ingeniero. Desde 1982 el Sr. Briere dirige el grupo de fabricación y ensamble de la sección de silicio, encargándose de la fabricación de CI de silicio de alta velocidad, transistores, fotodetectores y acopladores direccionales.

Jean-Claude Cadène nació en París, en 1942. En 1971 se doctoró en electrónica en la Universidad de Toulouse, y luego ingresó en Alcatel en el área de dispositivos de alta fiabilidad (resistencias de capa delgada, transistores y CI). Desde 1982 el Dr. Cadène dirige el grupo de fiabilidad de la sección de silicio.

Jean-Yves Fourrier nació en Pau, Francia, en 1949, y se doctoró en electrónica en la Universidad de Toulouse en 1974. En 1972 ingresó en Laboratoires de Marcoussis, donde se dedicó a transistores bipolares y tecnologías de CI de silicio. En 1979 pasó a Matra-Harris Semiconductors para trabajar en caracterización y desarrollo de procesos CMOS analógicos y digitales. Desde 1983 dirige la sección de silicio de la División de Componentes de ATC.

Jean-Michel Thilliez nació en París, en 1960. Se graduó en ingeniería en la Ecole Centrale de Lyon en 1984, y obtuvo también un Diplôme d'Etudes Approfondies en electrónica. El Sr. Thilliez ingresó en Alcatel en 1980, y allí dirige el grupo de ensayos de la sección de silicio, responsable de todos los aspectos de caracterización y prueba de CI de silicio y fotodetectores.

Daniel Tribet nació en Argenton sur Creuse, Francia en 1951. Obtuvo un grado en ingeniería en 1980 en el CNAM en París. El Sr. Tribet ingresó en Alcatel como técnico en 1975, trabajando en tecnologías de CI de alta velocidad. Desde 1983 es responsable de grupo encargado del desarrollo de procesos de CI de silicio muy rápidos.

Nueva generación de radioenlaces digitales con demodulación directa en radiofrecuencia

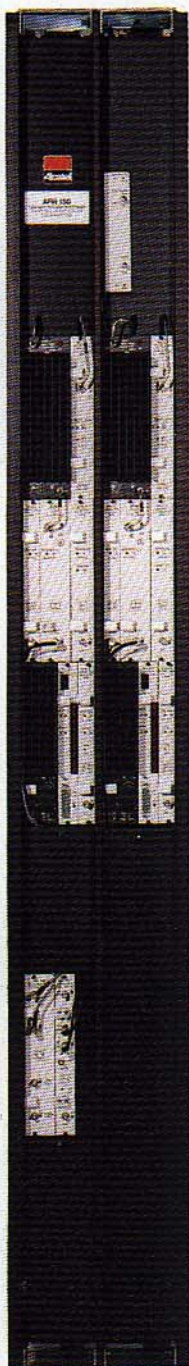
La familia de radioenlaces digitales AFH 150 utiliza las últimas tecnologías para ofrecer un medio económico de transmitir telefonía y datos a velocidades de hasta 34 Mbit/s. Entre las ventajas del nuevo equipo, que opera en la banda de 2 GHz, figuran las de optimizar el diseño del enlace y dar facilidades de supervisión simples y seguras al personal de operación y mantenimiento.

R. Dujardin

Y.-Y. Lebret

Alcatel Thomson Faisceaux Hertiens,
Levallois Perret, France

Estación terminal de 1,5 GHz, 8 Mbit/s, con redundancia activa 1+1, contenida en un armazón estándar de 120 mm. Pesa alrededor de 60 kg.



Introducción

El AFH 150 es un sistema de radioenlace digital desarrollado conjuntamente por ATFH (Alcatel Thomson Faisceaux Hertiens) y la Administración francesa, capaz de transmitir de manera económica telefonía y datos a velocidades de 8 y 34 Mbit/s. Su diseño modular permite acomodar el equipo a las necesidades específicas de diferentes clientes.

Las características peculiares de la familia AFH 150 son:

- transmisor con bucle de enganche de fase, elegido por su bajo consumo
- demodulación directa en radiofrecuencia en el receptor
- uso de las últimas tecnologías (ordenaciones de puertas CMOS, componentes de montaje superficial, etc.)
- posible uso de canales de servicio analógicos o digitales
- bits adicionales en las tramas que dan completa información de la calidad del enlace
- posibilidad de inyección o extracción de trenes auxiliares de bits a 2 Mbit/s, 704 kbit/s ó incluso 2×64 kbit/s, junto con el tren principal de 34 Mbit/s
- conmutación automática libre de error tanto en 8 como en 34 Mbit/s, aprovechando todas las ventajas de utilizar diversidad de frecuencia y de espacio para evitar pérdidas de sincronismo en los multiplexores
- alta fiabilidad, merced al uso de componentes de altas prestaciones (buscando

conseguir una integración máxima) y a la reducción al mínimo del consumo.

Este equipo está concebido para la banda de 2 GHz, cuyo atractivo estriba en ofrecer vanos largos (Fig. 1) y resultar insensible a las precipitaciones atmosféricas (lluvia, nieve). También permite utilizar antenas en "reja", reduciendo así los costes de estructuras. El uso de modulación a cuatro fases aporta un alto grado de inmunidad a las interferencias, combinado con una buena eficiencia espectral.

Las bandas de frecuencia son de 1,7 a 2,3 GHz y de 2,5 a 2,7 GHz, con distribución de canales conforme a las recomendaciones del CCIR 283-4 y 382-3; de 2,3 a 2,5 GHz con distribución según el Informe 933 del CCIR, y de 1,427 a 1,535 GHz con la distribución señalada en el Informe 379 del CCIR.

Está en desarrollo una extensión de este equipo a las bandas de 7 y 8 GHz para el caso en que se saturase la banda de 2 GHz y para trayectos donde los repetidores pasivos (antenas "espalda a espalda", reflectores planos...) ofrezcan soluciones económicas.

Para constituir un sistema completo, el transceptor proporciona toda una gama de facilidades funcionales:

- conmutación trabajo-reserva, con redundancia activa 1+1
- conmutación automática 1+1
- conmutación N+1 para operar en 34 Mbit/s
- sistema de diversidad de espacio, conmutado según la potencia recibida y la tasa de error

- canales de servicio analógicos o digitales con modulación delta
- sistema de supervisión con microprocesador
- interfaces para los trenes binarios de 64 kbit/s, 704 kbit/s y 2 Mbit/s.

Diseño mecánico

La construcción mecánica combina modularidad con compacidad. Salvo en la alimentación, cada módulo opera en una única dirección de transmisión para garantizar la máxima disponibilidad durante el mantenimiento.

Las unidades se realizan como placas enchufables alojadas en armazones, cada uno de ellos cableado a través de un panel maestro posterior de circuito impreso. El cableado entre armazones se realiza mediante conectores accesibles desde la cara frontal de los mismos.

Elementos de radiofrecuencia

Las funciones de radiofrecuencia hacen uso de circuitos con tecnología de microlínea dentro de recintos apantallados, con el fin de asegurar una radiación mínima y una protección satisfactoria ante las perturbaciones electromagnéticas.

Transmisor

La cadena de transmisión contiene dos circuitos impresos: un oscilador local, que puede ser modulado por el múltiplex de los canales de servicio analógicos, y una unidad amplificador-modulador.

El oscilador sintetizador de frecuencia proporciona estabilidad de temperatura y flexibilidad funcional. La frecuencia se puede programar dentro de una banda de 200 MHz (en pasos de 500 kHz) cambiando las posiciones de los puentes en la placa. Hay síntesis de frecuencia directa, es decir, la frecuencia del oscilador controlado por tensión, en circuito de microlínea, se divide directamente por divisores lógicos programables y se la compara con la de un cristal de referencia. En las frecuencias más altas, el diseño requiere circuitos predivisores de arseniuro de galio (circuito integrado monolítico de microondas).

El amplificador de transmisión consiste en un oscilador de potencia, enganchado en fase a una señal de bajo nivel con modulación cuadrivalente. Puede así modularse directamente a la frecuencia del canal, sin necesidad de frecuencia intermedia. El bucle de enganche de fase, cuyo retardo de propagación es pequeño y la banda de

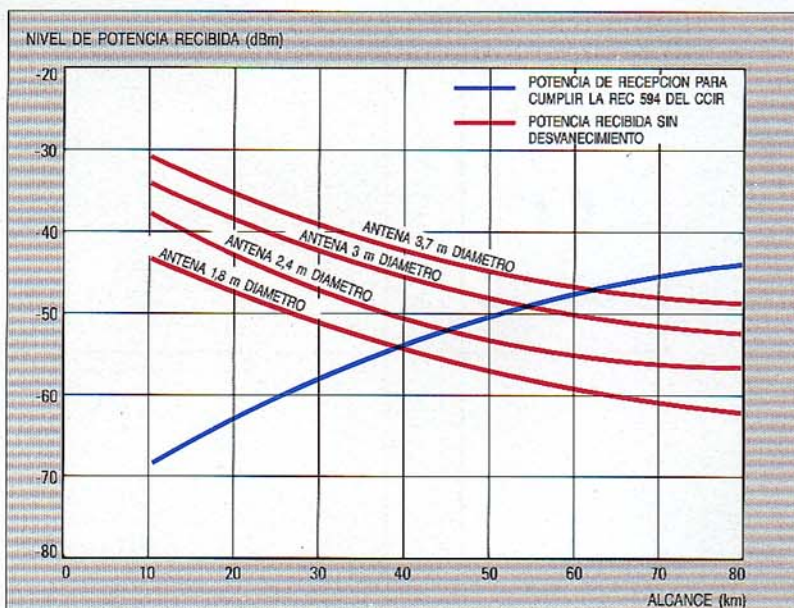
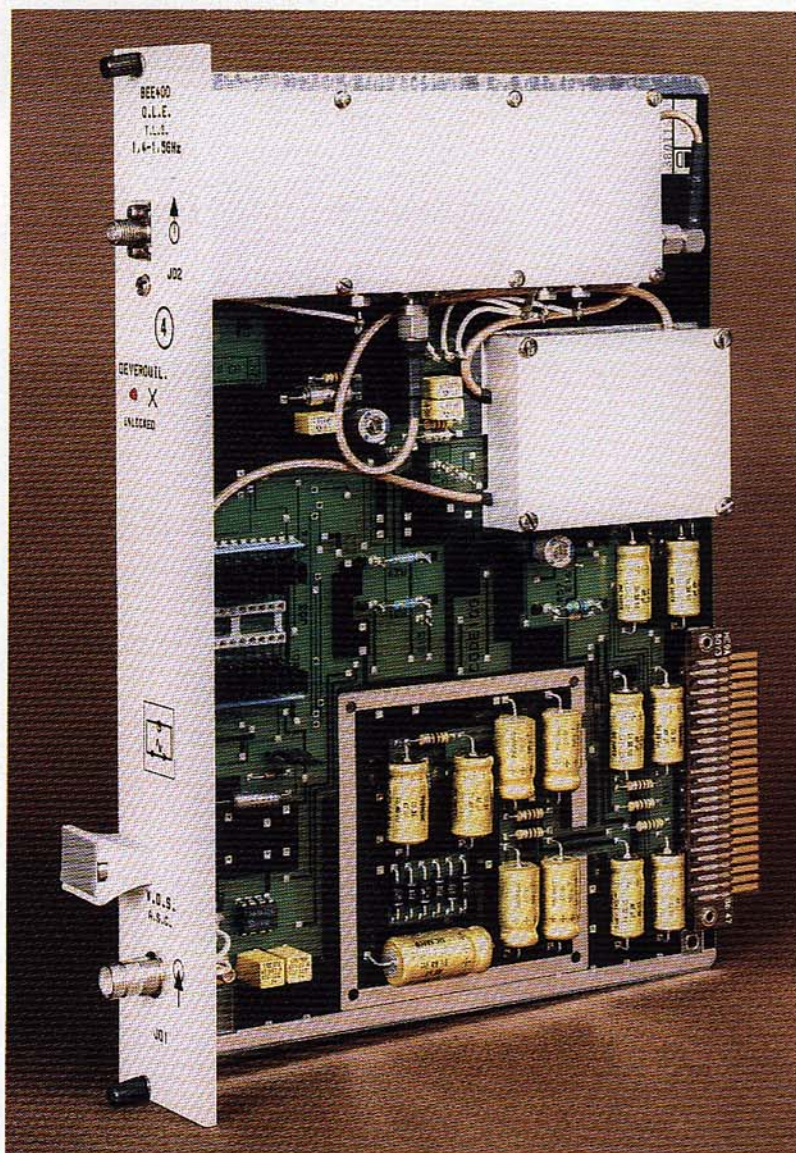


Figura 1 (arriba)
Alcance máximo a 34 Mbit/s, prescindiendo del efecto de diversidad de frecuencia.

Sintetizador de transmisión para la gama 1427 a 1535 MHz (debajo).



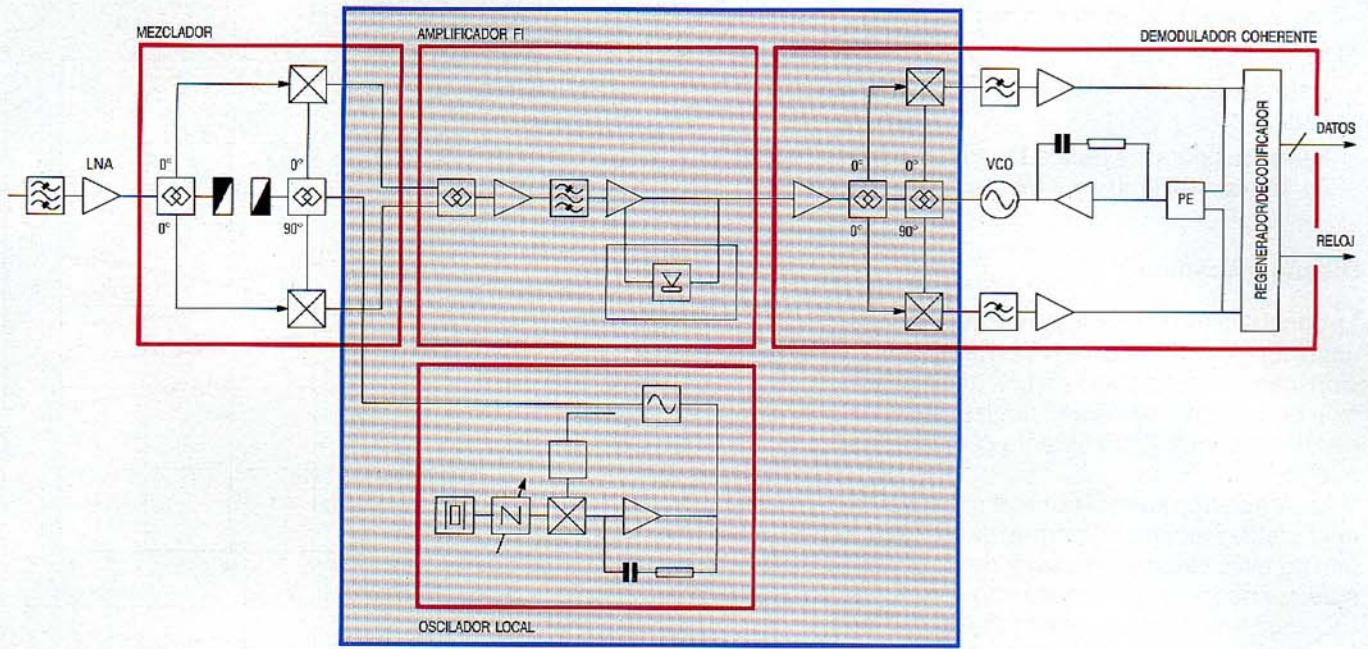


Figura 2
Esquema de un receptor convencional.
LNA - amplificador de bajo ruido
PE - estimador de fase.

paso ancho (50 MHz), asegura una perfecta reproducción de la señal moduladora.

Frente a un circuito lineal transmisor más convencional, esta disposición ofrece las ventajas de tener menos componentes activos de radiofrecuencia (un solo transistor de potencia), un rendimiento óptimo del orden del 20% y una mayor fiabilidad. Se han desarrollado dos versiones: +30 dBm y +23dBm de potencia.

Receptor

La configuración usual de un receptor digital de microondas (Fig. 2) tiene un cierto número de funciones de frecuencia intermedia, incluyendo filtrado, amplificación con control automático de ganancia, y demodulación coherente.

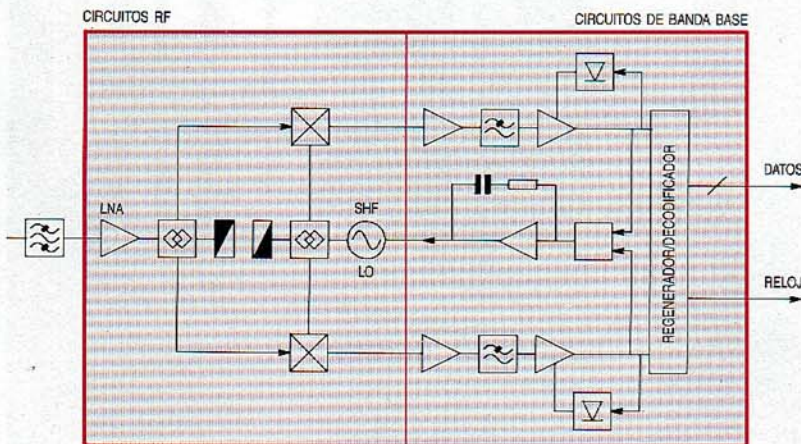
La señal de frecuencia intermedia se obtiene por conversión de frecuencia basada en un oscilador local de recepción,

bien intrínsecamente estable, o bien enganchado a un cristal de referencia. El mezclador es generalmente doble para mejorar el rechazo de la banda imagen asociada con la conversión. Se utiliza demodulación coherente para conseguir un umbral óptimo, y para ello se proyecta la señal modulada sobre dos ejes en cuadratura, proyección que se obtiene multiplicando la señal recibida por la portadora recuperada. La portadora se extrae mediante un estimador de fase "Costas" que depende de las señales demoduladas en la banda base. Esta configuración, que proviene de la utilizada en los enlaces analógicos de microondas, es redundante por tener una estructura duplicada (acopladores de 0 y 90° y mezcladores dobles equilibrados).

El AFH 150 utiliza una configuración original (Fig. 3) con una sola conversión en la que la señal de RF recibida es demodulada directamente en banda base. El proceso, que suele realizarse en una frecuencia intermedia (filtrado, amplificación), se verifica en dicha banda base. Esta solución elimina los problemas de frecuencia imagen, ya que la frecuencia de conversión es igual a la frecuencia de la portadora. Además, el filtrado en banda base es más sencillo. A nivel de las señales moduladas, equivaldría a un filtrado paso banda con simetría aritmética, pero sin distorsión entre canales (el diseño de filtros paso banda con esta propiedad es particularmente delicado).

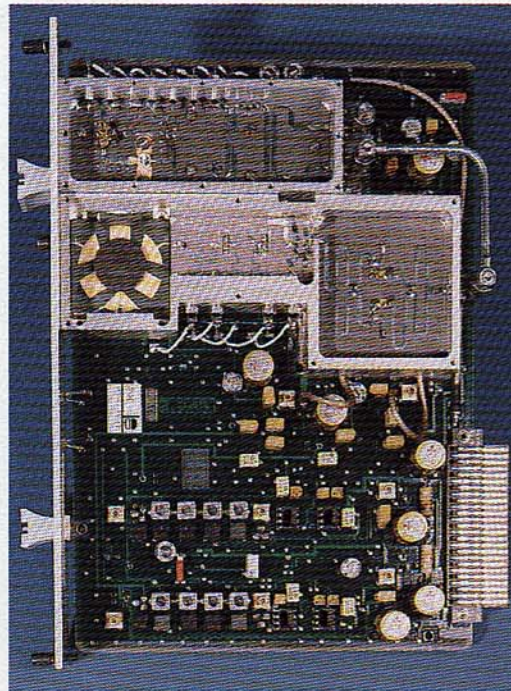
La amplificación se consigue mediante amplificadores de videofrecuencia integrados de alta ganancia (40 dB por circuito). La detección del nivel de señal se hace después de la cadena de filtros para evitar la "captura" por un canal adyacente.

Figura 3
Esquema del receptor con demodulación directa en radiofrecuencia.
LO - oscilador local
SHF - frecuencia superelevada.



La disminución del número de componentes reduce el consumo y hace posible realizar todo el receptor en un solo circuito impreso, que incluye la cabeza receptora (aislador, amplificador de bajo ruido y demodulador de RF), el circuito de proceso en banda base (preamplificador, amplificador de banda base, y filtro con función de coseno alzado y factor de decrecimiento $\alpha = 0,5$) y un oscilador para demodulación de RF, controlado por el estimador "Costas" en función de la señal de banda base.

La construcción del circuito impreso en cuatro capas asegura una elevada insensibilidad a interferencias, proporciona un canal de amplificación de alta ganancia (80 dB) en pequeño espacio, y unas características de filtrado casi ideales (atenuación límite mejor de 80 dB). La figura 4 representa la tasa de error en función de la señal recibida.



Receptor de demodulación directa.

Red combinadora en radiofrecuencia

Existen varias configuraciones de combinación. A 8 Mbit/s el uso de diplexores aporta ventajas de coste. Se utilizan filtros semejantes, del tipo "peine", tanto para circuitos de emisión como de recepción. Se eligió una función de transferencia del tipo Tchebycheff para minimizar la interferencia de otros canales. Un diseño especial permitió conseguir bajas pérdidas (1 dB para un filtro de 6 polos y 25 MHz) y buena compensación de temperatura.

Un ligero incremento en la velocidad binaria permite insertar bits adicionales para transmitir:

- una palabra programable para sincronismo de trama
- cinco vías de servicio digitales de 33 kbit/s
- bits de paridad para medidas de tasa de error

Operación

La unidad de supervisión reúne informaciones sobre diversos parámetros operativos de un conjunto transmisor-receptor. En particular, puede utilizarse una escala de 100 diodos LED para comprobar la tasa de error residual, las tasas de error próximas al nivel fijado por el CCIR (Recomendación 594), la potencia de señal recibida y otros parámetros útiles para el mantenimiento. Ofrece la posibilidad de supervisar a distancia cada módulo a través de relés, de modo que se asegure la compatibilidad con todos los sistemas de supervisión.

Unidades de proceso digital

Las funciones de interfaz HDB3, generación de tramas, y codificación/decodificación diferencial se agrupan para cada dirección de transmisión, en una misma placa enchufable, con acceso por conector frontal. Los interfaces HDB3 cumplen la Recomendación G.703 del CCITT.

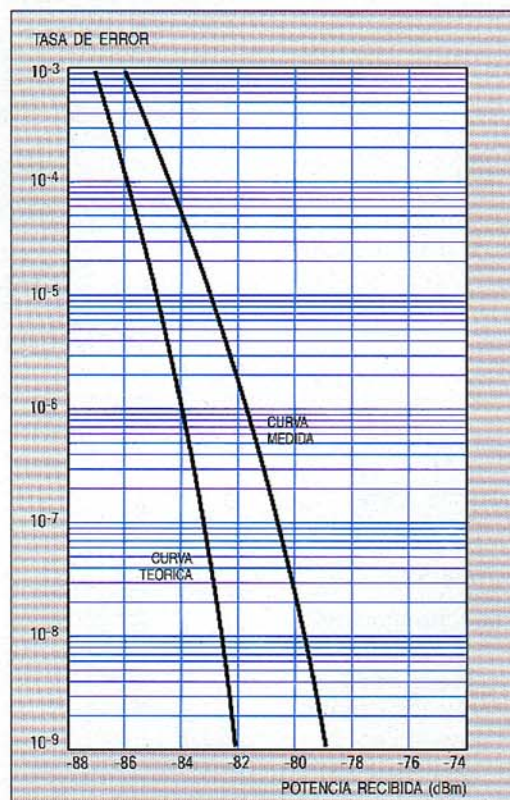
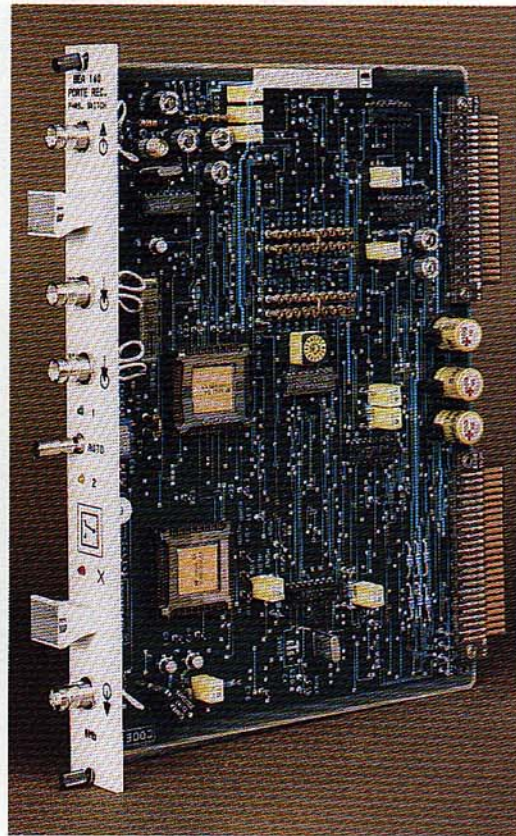
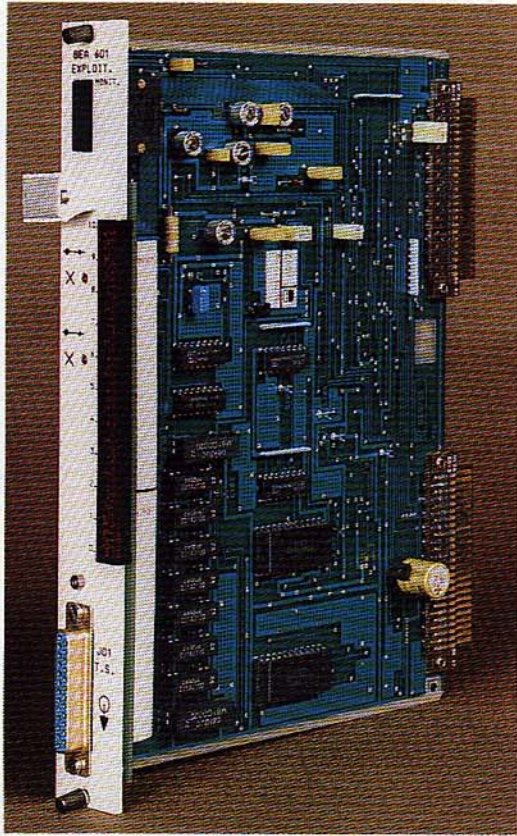


Figura 4
Curva de la tasa de error en función del nivel de recepción.



Placa impresa de supervisión (izquierda) y puerta de conmutación a 8 Mbit/s (derecha).

- una señal auxiliar de hasta 2 Mbit/s en el caso de una señal principal de 34 Mbit/s.

Estas unidades de proceso digital se conectan a la señal principal HDB3 y a la conmutación automática. Aleatorizan y desaleatorizan la señal, generan señales de alarma, y multiplexan las diversas señales.

En el caso de 34 Mbit/s, se utiliza justificación de trama positiva para superar los problemas causados por microinterrupciones de la señal entrante, así como para insertar un tren de bits auxiliar independiente en el tren principal de 2,048 Mbit/s. Esto asimismo refuerza la inmunidad del sistema frente a fluctuaciones de fase externas en los trenes de bits entrantes (Fig. 5).

Conmutación automática

Hay dos tipos de equipo:

- conmutación 1 + 1 automática, a 8 y 34 Mbit/s
- conmutación N + 1 a 34 Mbit/s.

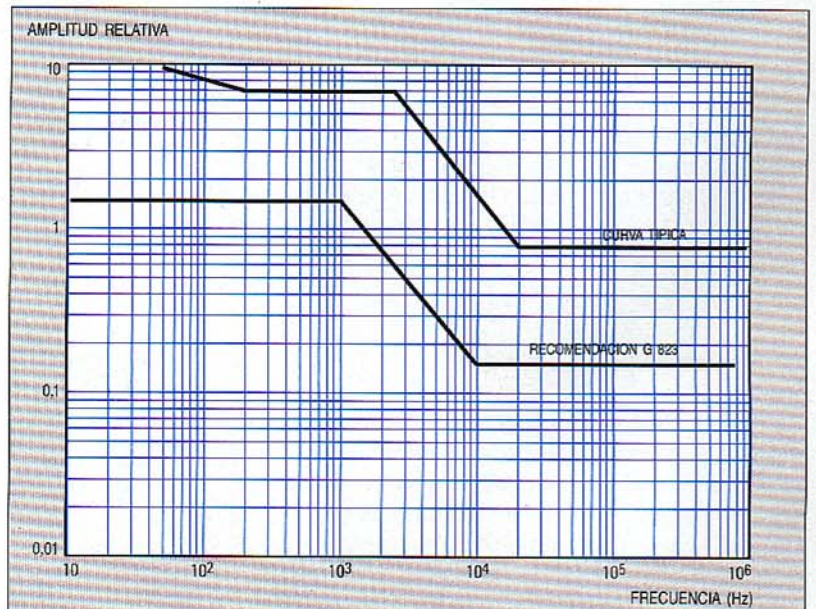
Estas unidades ofrecen una conmutación sin error y tienen un margen de ajuste automático entre las dos señales de ± 4 bits. Las diferencias de retardo entre los canales normal y de reserva se compensan por ajuste estático en incrementos fijos de un bit dentro del margen de ± 4 bits.

Existen dos niveles de prioridad diferenciados, correspondientes a los dos umbrales de tasa de error ajustables, basados en criterios de calidad que define el CCIR (tasas de error de 10^{-6} y 10^{-3}).

Equipo de conmutación 1 + 1

La lógica de decisión está concebida para evitar sucesivas basculaciones de un canal al otro. Las solicitudes de conmutación se generan como resultado de las discrepan-

Figura 5
Máxima fluctuación de la fase admisible a la entrada.



cias entre los bits de paridad transmitidos y la paridad recalculada en recepción.

La conmutación protege todas las señales: la vía digital principal, así como los canales de servicio analógicos y digitales. Puede desencadenarse manualmente o por control remoto, dando prioridad a este último.

Equipo de conmutación N+1

La capacidad máxima es de cinco canales regulares y uno en reserva, correspondiendo a la utilización completa del plan de frecuencias. Este equipo ha sido diseñado para instalaciones fijas, con optimización de consumos y coste.

Combinador de diversidad

Para enlaces con trayectos largos o sobre el agua, un combinador de diversidad permite conmutar entre varios receptores para mantener los objetivos de calidad. Los criterios aplicados en la conmutación son, en orden de prioridad ascendente:

- nivel de recepción de cada receptor
- tasa de error por encima de 10^{-6}
- tasa de error por encima de 10^{-3} .

La operación en diversidad se puede utilizar en un repetidor o en un terminal, con conmutaciones del tipo 1+1 ó N+1.

La tabla 1 resume las principales características del equipo AFH 150.

Conclusiones

Por su flexibilidad, modularidad y muy bajo consumo, la familia AFH 150 satisface la necesidad de una transmisión de alta calidad por microondas en las redes de telecomunicación modernas. En el AFH 150 esto se consigue merced al uso coherente de avanzados medios de diseño y fabricación, incluyendo diseño asistido por ordenador, control digital en la fabricación, ensamblado automático, talleres de microelectrónica, y pruebas y ajustes funcionales.

Actualmente el AFH 150 se está produciendo e instalando en varios países. Pronto se extenderá esta familia a otras bandas de frecuencia, lo que permitirá a Alcatel Thomson Faisceaux Hertzians ofrecer una gama completa de equipos que satisfagan cualquier necesidad dentro de los radioenlaces de mediana capacidad.

Tabla 1 – Características principales del sistema de radioenlace digital AFH 150

Bandas de frecuencia	1,7 a 2,7 GHz CCIR 283-4, 382-3, CCIR 933 1,427 a 1,535 GHz para 8 Mbit/s	
Potencia de emisión (con conexión)	opción 1: +30 dBm opción 2: +23 dBm	
Estabilidad (sintetizador)	± 20 ppm	
Modulación	modulación por desplazamiento de fase cuadrivalente descentrada coherente	
Demodulación	CCITT G.703	
Acceso múltiplex	CCITT G.823 y G.921	
Fluctuación de fase	37,432 ó 8,945 Mbit/s	
Velocidad de la señal entramada	–80 dBm a 34 Mbit/s –86 dBm a 8 Mbit/s	
Umbral para BER 10^{-6}	–84 dBm a 34 Mbit/s –90 dBm a 8 Mbit/s	
Umbral para BER 10^{-3}	3 dB	
Factor de ruido (después de la conexión)	17 a 60 V	
Alimentación	5	
Número de canales de servicio digitales	2	
Accesos a vías de órdenes para la conmutación automática	4 ó 3	
Canales de servicio analógicos	70 W (opción 1)	
Consumo de una estación terminal (1+1)	0 a 45°C	
Margen de funcionamiento garantizado	–10 a +55°C	
Margen de operación total	34 Mbit/s	8 Mbit/s
Protección por filtrado	–	24 dB
7 MHz	6 dB	48 dB
14 MHz	44 dB	85 dB
28 MHz		

Agradecimiento

Los autores expresan su reconocimiento a la Administración francesa de los PTT y a todos aquellos que por medio de su valiosa colaboración contribuyeron al éxito del proyecto AFH 150.

Raymond Dujardin nació en Morgny, Francia, en 1947. Es ingeniero en electrónica por el Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Tras desempeñar diversas funciones técnicas e industriales en el campo de los radioenlaces con Thomson y luego con Alcatel, es actualmente responsable de producto para sistemas de capacidad media, en el departamento de radioenlaces de uso civil, puesto que ocupa desde 1985.

Yann-Yves Lebreton nació en Lille, Francia, en 1956. Se graduó en la Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers y en la Ecole Supérieure d'Electricité. Ingresó en ATFH en 1982, como ingeniero de diseño trabajando en igualadores temporales para radioenlaces de alta velocidad. Actualmente dirige el proyecto de la nueva generación de sistemas de radioenlaces fijos de 8 y 34 Mbit/s.

El transductor dinámico T800

El transductor es un componente crucial en el diseño de teléfonos de alta calidad. Tradicionalmente los diseños se han tenido que elaborar paso a paso, pero la deducción de un diagrama equivalente completo del transductor permite ahora abreviar mediante ordenador todo el proceso de diseño y de optimización.

M. Kjeldsen

Alcatel Kirk, Horsens, Dinamarca

Introducción

El transductor es un componente crucial del aparato telefónico, puesto que es el primero y el último eslabón en la cadena de transmisión. Allá por 1876, Graham Bell propuso el transductor de la figura 1. Cuando la presión acústica hace desplazarse a uno y otro lado la membrana del diagrama, el volumen de aire y su movimiento varían y provocan en la pieza polar un cambio proporcional del flujo magnético. A su vez esta variación induce en la bobina una tensión de señal que modula la

corriente eléctrica. En el receptor, el proceso se invierte.

Un año después, la batería se sustituyó por un imán permanente que dio lugar al transductor electrodinámico. Esto tenía el inconveniente de que la energía de la señal se obtenía de la presión acústica, y cuando ésta se debilita se empobrece la eficacia del sistema. Por ello el transductor electrodinámico pronto fue reemplazado por el micrófono de carbón, inventado en 1878 por Edison.

Hasta la introducción en 1970 de los amplificadores no resultó útil el transductor electrodinámico. Este cambio desterró los micrófonos de carbón, con sus deficientes prestaciones de ruido, y orientó el desarrollo hacia los modos de realizar un sistema de transmisión (desde el llamante hasta el llamado) con una característica de frecuencia casi lineal que asegurara una fiel reproducción del sonido. En este campo es donde la tecnología y el desarrollo de transductores han progresado realmente en los últimos diez a quince años.

En 1983, Alcatel Kirk (entonces Standard Electric Kirk) introdujo la serie de transductores T800, y a partir de entonces ha desarrollado variantes para cumplir requisitos de clientes específicos. La figura 2 expone el éxito de este transductor, del que se exporta la mayor parte de la producción.

El transductor de la serie T800, de bobina móvil, se basa en filtros acústicos acoplados con precisión que aseguran una respuesta en frecuencia lineal.

Simulación en ordenador de red acústica/receptor

Cuando se considera la optimización acústica de un microteléfono en cuanto a la respuesta en frecuencia, el ordenador es una herramienta muy útil siempre que se

Figura 1
Antiguo transductor telefónico propuesto por Graham Bell en 1876.

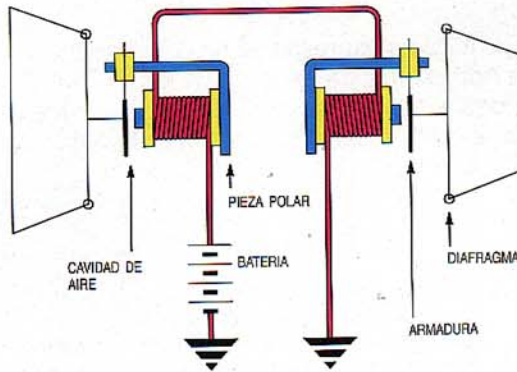


Figura 2
Cantidades producidas del transductor T800 desde 1983, para uso local y exportación.

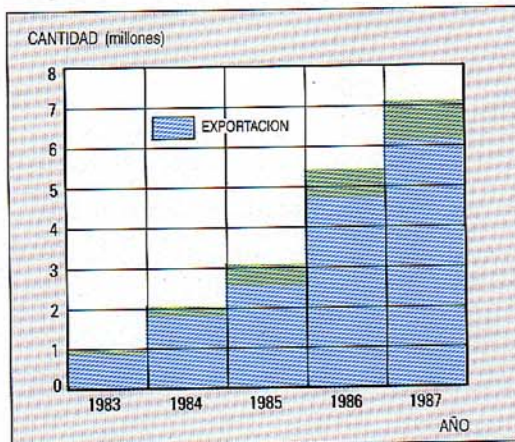
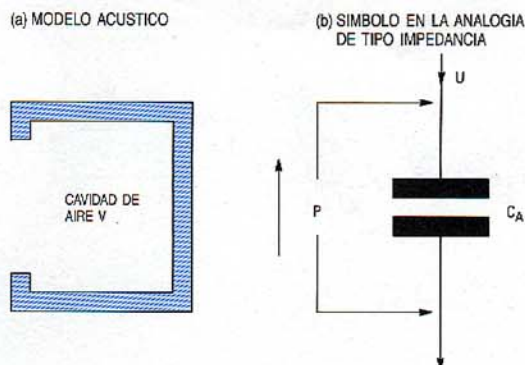


Figura 3
Modelo acústico de una cavidad de aire (elasticidad acústica) y su símbolo de analogía de impedancia.



disponga de un diagrama equivalente acústico completo, necesario para poder simular en un programa de análisis de redes la función de transferencia total del micrófono — desde el terminal de entrada hasta la presión del sonido en el oído — y optimizar así rápidamente sus dimensiones (volumen y tamaño de las ranuras y tubos entre el transductor y el oído). El correcto diseño mecánico permite también lograr la respuesta en frecuencia deseada de forma más económica que con un filtro electrónico, dentro de ciertos límites.

La simulación de la red acústica (que se puede conseguir fácilmente con un programa de análisis de redes y se expresa con un método simbólico complejo) requiere poder confiar en que los elementos acústicos se comporten linealmente con respecto a la frecuencia. Para ello hay que ceñirse a la relación siguiente para determinar las dimensiones de los elementos acústicos: $l_{m\acute{a}x} [m] < \lambda_{m\acute{i}n} [m]^*$, donde $l_{m\acute{a}x}$ es la distancia mayor entre dos puntos cualesquiera del elemento y $\lambda_{m\acute{i}n}$ es la mínima longitud de onda para la cual es válida la simulación del sistema acústico. Si se cumple esta condición, no habrá ondas estacionarias en tal sistema. Al operar los

sistemas telefónicos con longitudes de onda grandes (la máxima frecuencia transmitida es sólo de 3500 Hz) y ser relativamente pequeño el micrófono, podría ser adecuado el complejo método simbólico de cálculo ligado a la simulación en ordenador.

Elementos acústicos y sus valores (analogía del tipo impedancia)

Para crear un diagrama correcto de equivalentes acústicos hay que comprender los elementos que forman una red acústica (cavidades, ranuras, tubos y material de amortiguamiento) y su comportamiento con respecto a la frecuencia.

Elasticidad acústica

Una cavidad rellena de aire actúa como un muelle acústico. La presión del sonido ejerce una fuerza sobre el volumen de aire encerrado sin desplazar el centro de gravedad del mismo. Esta compresión sin aceleración es característica de la elasticidad acústica.

Cuando existe presión de sonido, la elasticidad acústica se comporta de forma parecida a un condensador sometido a tensión eléctrica (Fig. 3). El valor de dicha elasticidad es directamente proporcional al volumen del aire encerrado:

$$C_A = \frac{V}{S_0 c^2} \quad \left[\frac{m^5}{N} \right]^*$$

donde

- V — volumen
- S_0 — densidad del aire
- c — velocidad del sonido.

En la figura 3, p representa la diferencia de presión de sonido entre el aire encerrado y un volumen abierto, mientras que U es el flujo de velocidad acústica (producto del área de un elemento de superficie y la componente normal de la velocidad instantánea de la partícula) para el elemento acústico, en este caso una elasticidad. Puesto que todos los volúmenes de aire están referidos a una cavidad de tamaño infinito (espacio abierto), todas las elasticidades acústicas convergen en un punto de referencia común.

Masa acústica

La "masa" acústica consiste en una masa de aire que se acelera bajo la presión de sonido sin comprimirse, como ocurre en

Transductor dinámico T800



* Se indican entre corchetes las unidades en que se expresan los términos indicados.

una ranura o un tubo. Sometidos a esta clase de presión, la ranura o el tubo (Fig. 4) se comportan como una inductancia en serie con una resistencia a las que se aplica una tensión eléctrica. La resistencia en serie representa la pérdida acústica por fricción entre el aire y las paredes del tubo o ranura.

La masa acústica M_A y la pérdida R_A para una ranura (donde t [m] $< 0,003 f^{-0.5}$ [m]) vienen dadas por:

$$M_A = \frac{6 S_0 l}{5 w t} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^4} \right]$$

$$R_A = \frac{12 l \eta}{t^3 w} \quad \left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}^5} \right]$$

donde

l – profundidad de la ranura

t – grosor de la ranura

w – anchura de la ranura

η – viscosidad del aire

f – frecuencia.

Los parámetros para tubos vienen dados por diversas fórmulas que dependen del radio. Para un tubo de radio hasta $0,002 f^{-0.5}$, se obtiene:

$$M_A = \frac{4 S_0 l}{3 a^2 \pi} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^4} \right]$$

$$R_A = \frac{8 l \eta}{\pi a^4} \quad \left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}^5} \right]$$

Para tubos de radios mayores, las fórmulas son algo más complejas que las anteriores, y no es preciso considerarlas aquí.

Pérdida acústica

El último elemento a examinar es la pérdida acústica. En parte, consiste en una *pérdida por fricción* causada por materiales relativamente densos que no hacen ningún efecto de tubo, como aislamiento, telas o mallas. Al no existir fórmulas para calcular las pérdidas de tales materiales, habrá que aplicar métodos empíricos.

Pueden utilizarse los elementos acústicos relevantes y sus valores para obtener un diagrama simplificado de equivalentes acústicos de un microteléfono cargado con la impedancia acústica compleja del oído (Fig. 5), el cual sirve para calcular las prestaciones de la construcción acústica. En el diagrama, para mayor claridad, se ha asimilado el transductor a un generador ideal de presión con impedancia interna compleja Z_A . La elasticidad acústica C_A proviene de la cavidad comprendida entre el transductor y el microteléfono, mientras que M_A y R_A (masa y pérdida acústica, respectivamente) se derivan de los tubos y ranuras que se encuentran entre el transductor y el oído. $Z_{\text{oído}}$ representa la impedancia compleja del oído (según la CEI 318).

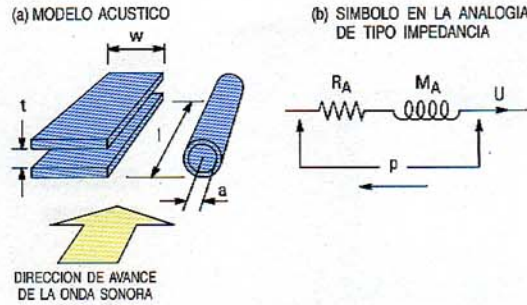


Figura 4 Masa acústica y su símbolo de analogía de impedancia.

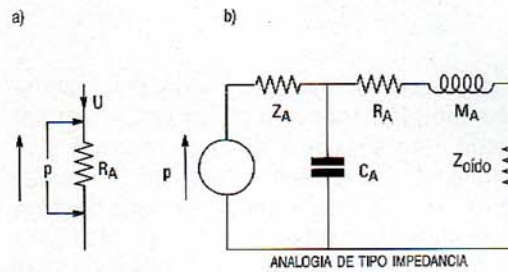


Figura 5 Símbolo de la analogía de impedancia de pérdidas acústicas (a), y diagrama acústico equivalente simplificado de un microteléfono cargado con la impedancia acústica del oído (b).

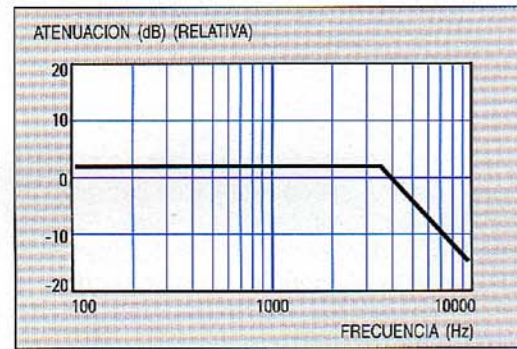


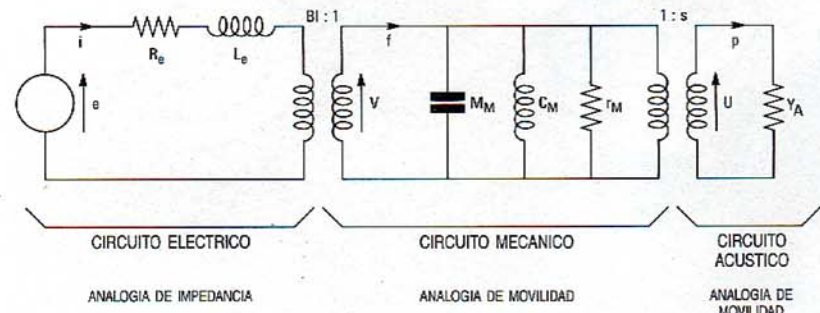
Figura 6 Característica del filtro paso bajo de segundo orden formado por la cavidad entre el transductor y el microteléfono, y de los tubos/ranuras al oído.

Esto significa que el volumen de aire (elemento acústico o elasticidad) confinado entre el transductor y el microteléfono, junto con los tubos y ranuras entre el transductor y el oído, crean un filtro de paso bajo de segundo orden (Fig. 6) que se puede dimensionar de forma que la frecuencia de corte caiga a unos 3500 Hz, límite superior de un sistema telefónico.

Para calcular la respuesta en frecuencia del microteléfono entero hay que acudir a un diagrama equivalente del transductor

Figura 7 Diagrama equivalente de un transductor, con división en red eléctrica, mecánica y acústica.

i – corriente
 f – fuerza
 p – presión.



donde se incluyan todos los parámetros eléctricos, mecánicos y acústicos que afecten a su funcionamiento. La figura 7 es un diagrama equivalente universal aplicable a todos los transductores electrodinámicos, donde el circuito se divide en red eléctrica, mecánica y acústica interconectadas por transformadores de relación $Bl:1$ y $1:s$. El primero de ellos es un transformador corriente/fuerza, siendo B la intensidad del campo magnético en el que opera la bobina móvil y l la longitud del arrollamiento en dicho campo magnético. El transformador $1:s$ es un transformador fuerza/presión, en

Los términos *impedancia* y *movilidad* en la figura 7, denotan que la red sólo es válida en tanto que los elementos eléctricos se realicen mediante la analogía de impedancia y los mecánicos y acústicos, por medio de la de movilidad. El uso de estos elementos se ilustra aquí analizando el transductor Kirk de la serie T800, pero, en principio, este método es aplicable a cualquier transductor.

La figura 8 es un diagrama por secciones de un transductor T800 referido a las ranuras y tubos S1 a S5 y a los volúmenes internos V1 a V5. V5 es el volumen comprendido

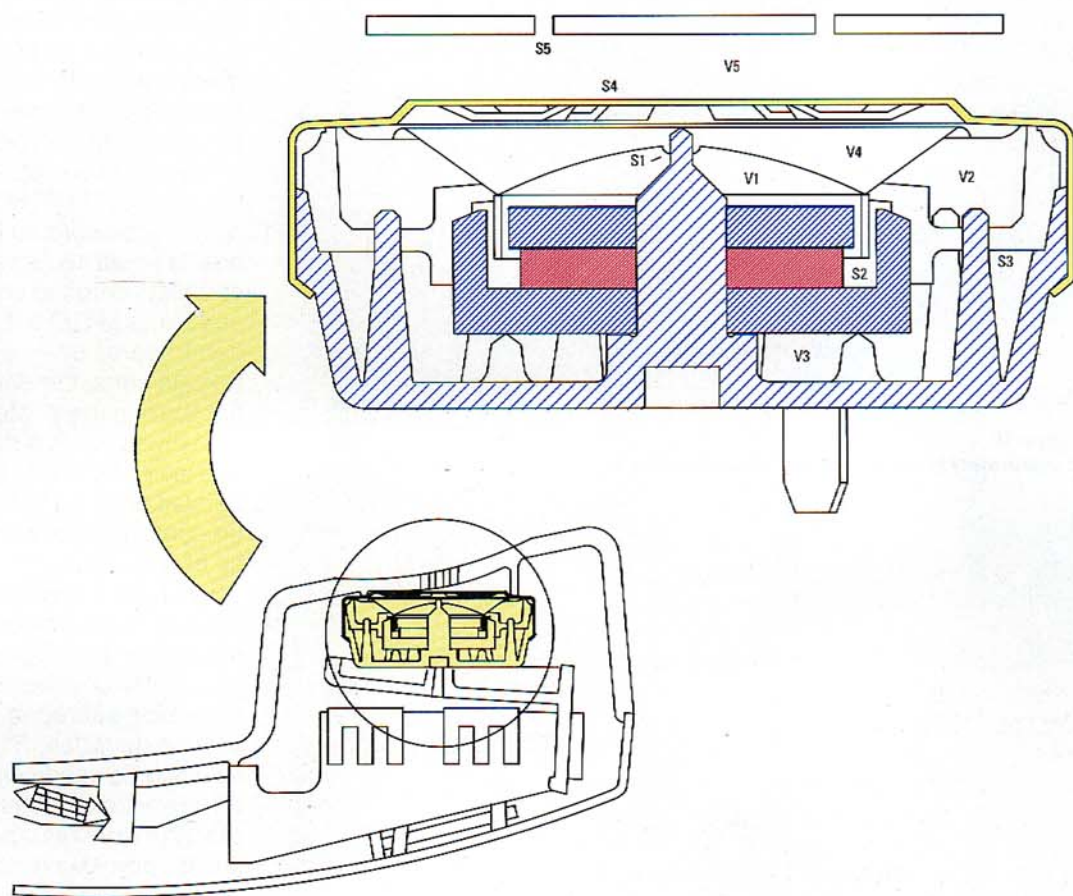


Figura 8
Sección transversal
del transductor T800.

el que s es el área del diafragma móvil que produce la presión de sonido. Los restantes elementos clave son:

- R_e – resistencia eléctrica del arrollamiento en la bobina móvil [Ω]
- L_e – inductancia de la bobina [H]
- M_M – masa del diafragma móvil [kg]
- C_M – elasticidad del diafragma [m/N]
- r_M – pérdidas del diafragma [m/N s]
- Y_A – carga acústica del diafragma [$m^2/N s$]
- e – generador de señales eléctricas, que activa los terminales de transductor [V].

entre el transductor y el microteléfono, mientras que S5 es la ranura o tubo del microteléfono que une V5 al oído. El diagrama muestra que la parte posterior del diafragma se puede analizar como dos membranas independientes, conectadas por los volúmenes V1 y V2 a través de la ranura de la bobina S2, lo que significa que la transformación $1:s$ del diagrama universal de la figura 7 se divide en dos partes, como indica la figura 9, donde la presión del aire, p , es la misma para las membranas interior y exterior puesto que dan al mismo volumen V4; s_1 y s_2 son las áreas de estas membranas. La transformación de la red

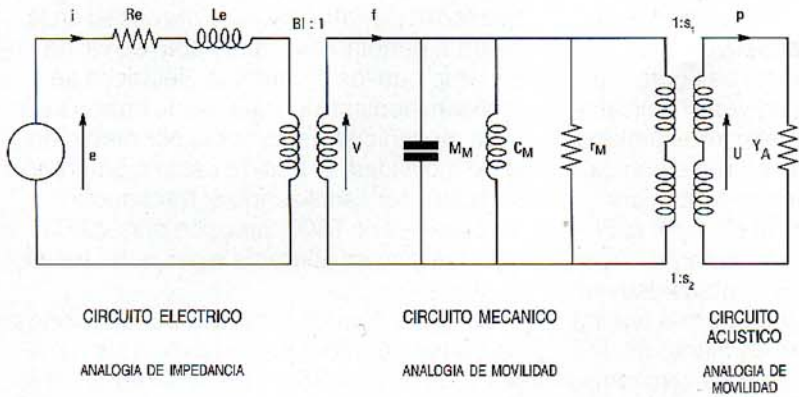


Figura 9 Transformación del diagrama equivalente universal de la figura 8.

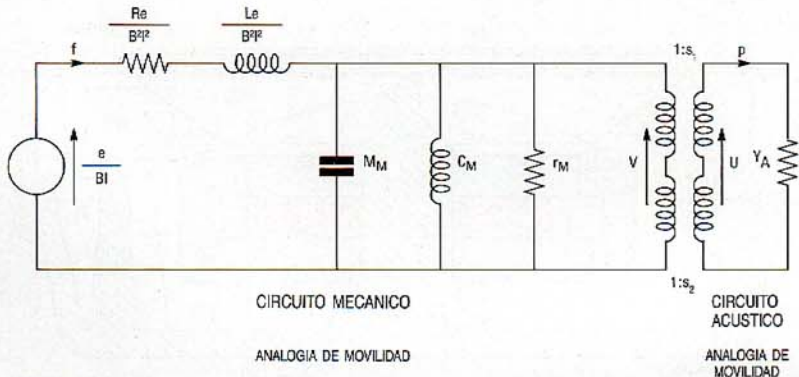


Figura 10 Transformación de la red eléctrica en mecánica.

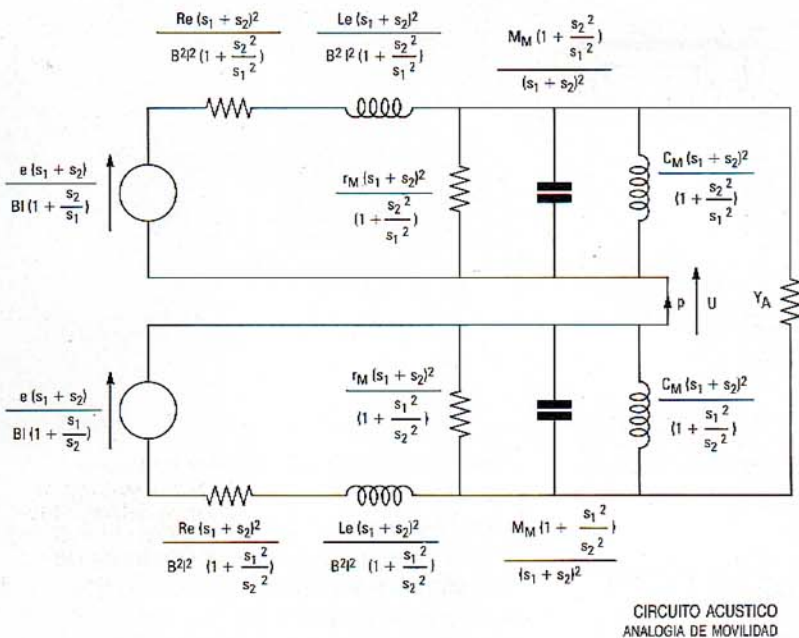


Figura 11 Transformación del dominio mecánico al acústico (analogía de movilidad).

eléctrica a la mecánica se ve en la figura 10, mientras que la figura 11 representa la transformación del dominio mecánico al acústico. La división en dos membranas da lugar a dos generadores de presión, cada uno con su propia impedancia.

Como las fórmulas para los elementos acústicos se relacionan con una analogía de tipo impedancia, hay que pasar la red de la figura 11 a analogía de impedancia para que la carga acústica se pueda conectar a los elementos eléctricos y mecánicos. Esta conversión se puede hacer actualizando la red. También se podrían actualizar los elementos acústicos en la analogía de movilidad, pero es más difícil revisar una red acústica de movilidad que una red acústica de impedancia, por lo que se prefiere actuar del primer modo.

En la figura 12 vemos la red de analogía de tipo impedancia, que incluye los parámetros eléctricos y mecánicos del transductor transformados al dominio acústico. Z_A representa la carga combinada sobre las membranas interior y exterior de ranuras, tubos y cavidades en el transductor, el microteléfono y el oído.

Utilizando el diagrama mecánico del transductor T800 (Fig. 8), junto con lo que se conoce sobre ranuras, tubos y cavidades, la figura 13 representa el microteléfono completo cargado con el oído artificial que especifica la CEI 318. Nótese que los dos generadores de flujo de velocidad acústica no están directamente conectados entre sí porque la parte posterior de la membrana está dividida por la ranura S2, y también que las elasticidades acústicas C1 y C5, derivadas de los volúmenes V1 y V5, van a un punto de referencia común, como antes se ha explicado.

Las pérdidas acústicas $R1, R2, R9$ y $R10$ dependen de la frecuencia, como indica la ω en la figura 13. Estos elementos se simulan con precisión, con ayuda de pequeñas subredes, en un programa de análisis de redes. $R1$ se deriva de un filtro acústico de banda eliminada baja (ranura S1) en el transductor, mientras que $R2$ procede de la ranura de la bobina. $R9$ y $R10$ son las pérdidas mecánicas en el diafragma.

Simulación y mediciones

La primera gráfica en la figura 14 muestra la respuesta en frecuencia simulada para un microteléfono cargado con el oído artificial CEI 318. La curva se obtuvo por ordenador, de tal modo que la frecuencia de corte superior fuera de unos 3800 Hz. La segunda gráfica es la curva de respuesta medida para el mismo microteléfono. Se aprecia una gran similitud entre ambas curvas.

En la figura 15 se ven las curvas de respuesta en frecuencia simulada y medida para un microteléfono con frecuencia de corte de 3400 Hz. La diferencia entre las

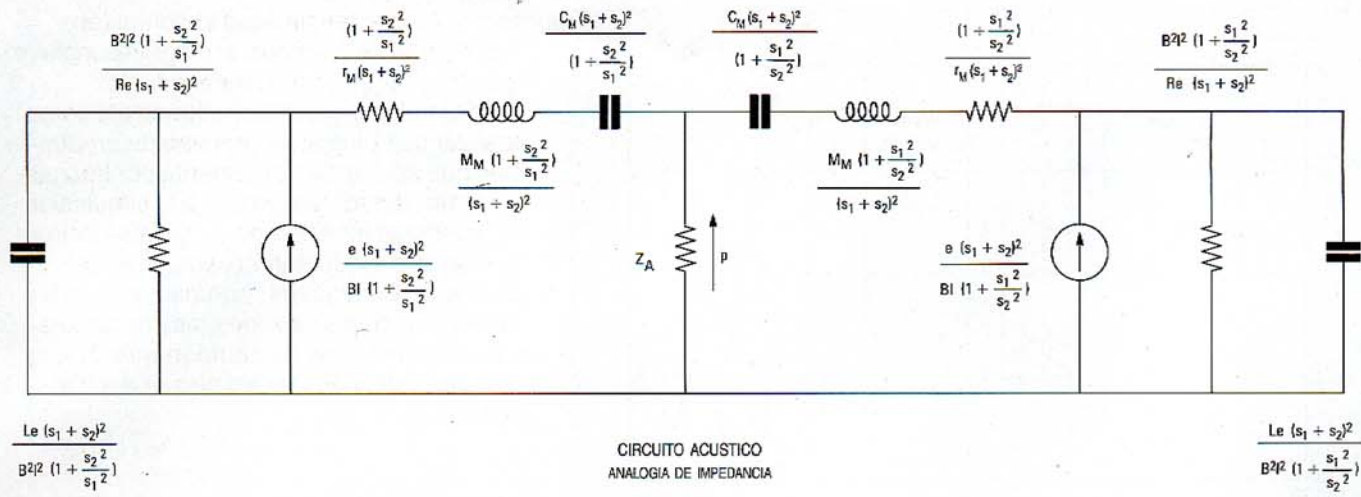


Figura 12
Transformación de la red de analogía de impedancia, incluyendo los parámetros eléctricos y mecánicos del transductor, al dominio acústico.

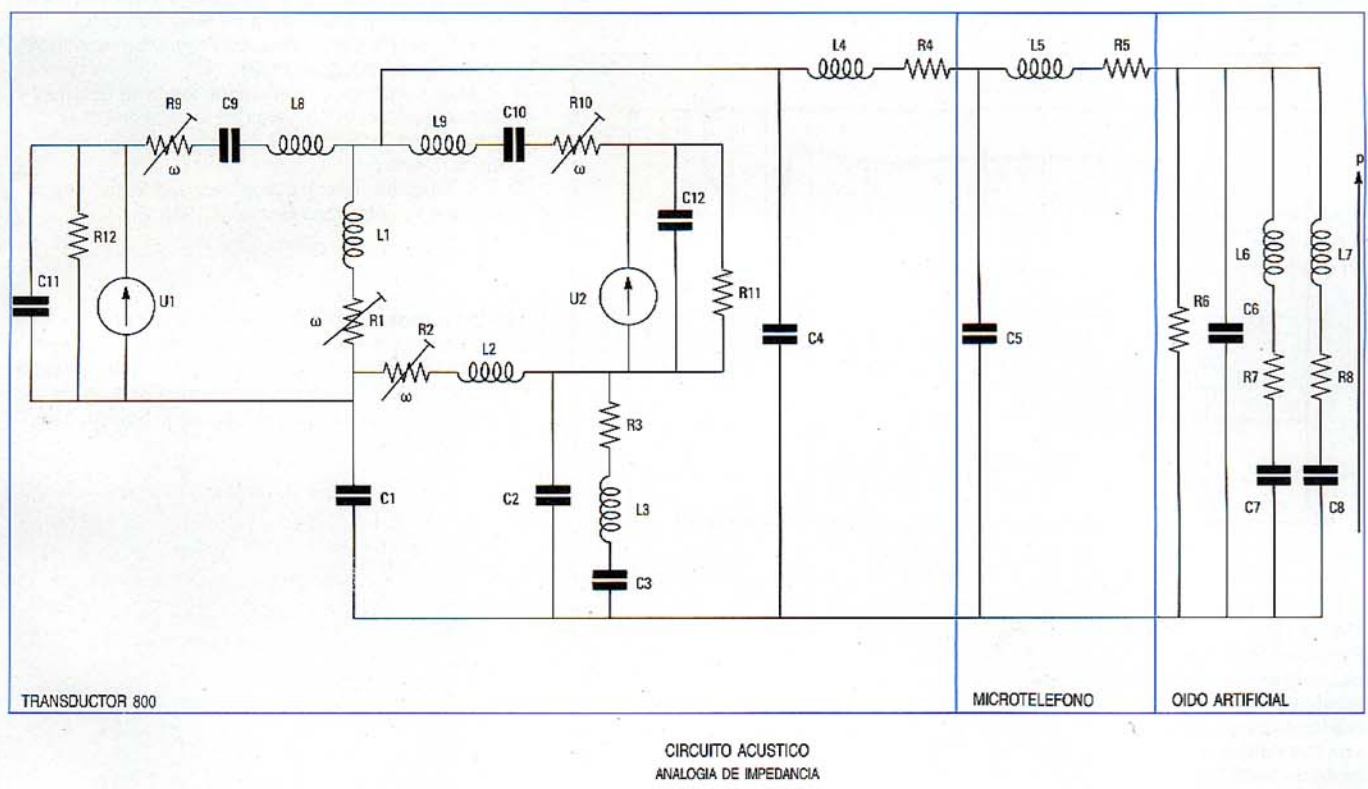


Figura 13
Diagrama equivalente acústico del transductor T800 cuando se usa como receptor.

frecuencias de corte mostradas en las figuras 14 y 15, obedece a los distintos diseños acústicos de los microteléfonos, aunque utilicen el mismo transductor.

Conclusiones

La simulación por ordenador de un microteléfono es un poderoso instrumento para el diseño acústico, junto con la investigación y el desarrollo dentro del campo de los trans-

ductores. Ello permite determinar rápidamente las consecuencias de las modificaciones sobre el transductor o el microteléfono, prescindiendo casi por completo de realizar y probar sucesivos modelos.

Puesto que el diagrama equivalente consta de elementos lineales, será válido también cuando el transductor actúa como micrófono, recordando que se invierte el proceso de transmisión/recepción del sonido. Este diagrama no sólo es aplicable al cálculo de respuestas en frecuencia, sino que también se utiliza para otros cálculos,

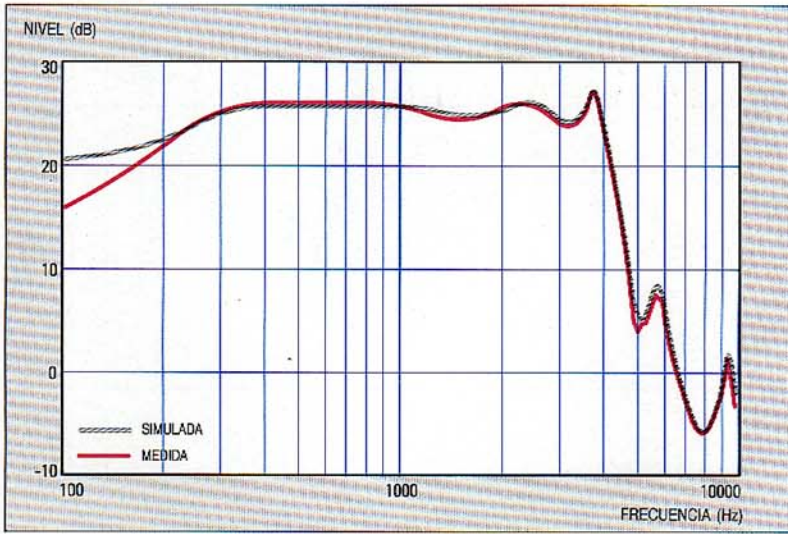


Figura 14
 Respuestas en frecuencia simulada y medida para un micrófono cargado con el oído CEI 318, calculado a una frecuencia de corte de 3800 Hz.

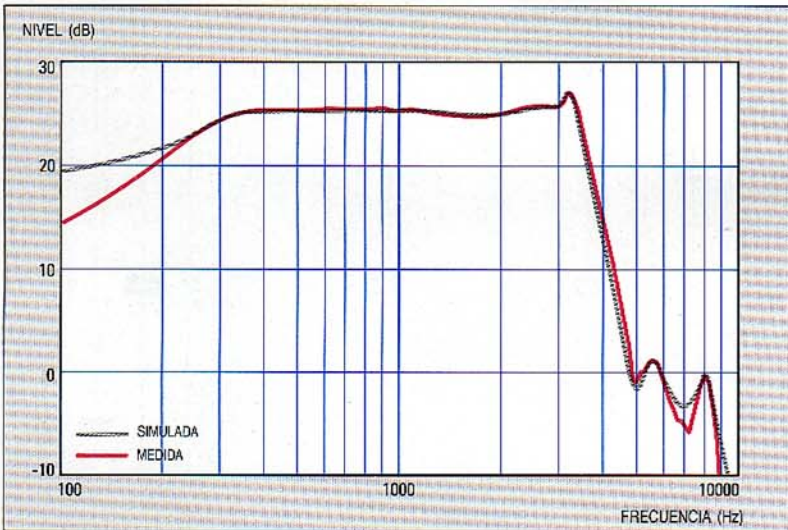


Figura 15
 Respuestas en frecuencia simulada y medida para un micrófono calculado a una frecuencia de corte de 3400 Hz.

como el de la sensibilidad absoluta (en Pascales/voltio), ya que el diagrama incluye todos los parámetros del transductor.

La simulación en ordenador es útil para analizar cambios en el proceso de producción que aparezcan lentamente por desgastes y desgarraduras, ya que a la simulación no le afectan las tolerancias de fabricación que de otro modo enmascararían esas pequeñas variaciones. Además, es posible simular las combinaciones más desfavorables de tolerancias de componentes, lo cual permite optimizar las piezas del transductor.

Bibliografía

- 1 L. L. Beranek: *Acoustics: McGraw-Hill.*
- 2 Oído artificial: *Publicación CEI 318*, primera edición 1970.
- 3 A. Vladimirescu, Kaihe Zhang, A. R. Newton, D. O. Pederson y A. Sangiovanni-Vincentelli: Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkely, California, 94720: *SPICE Circuit Analysis Program - versión 2G: Users Guide*, 10 agosto 1981.
- 4 R. Molich-Pedersen: Instituto de Teoría de Circuitos y Telecomunicación, Universidad Técnica de Dinamarca: *ANP3 Circuit Analysis Program*, segunda edición, enero 1979.
- 5 J. A. Kuecken: *Talking Computers and Telecommunications. Van Nostrand Reinhold*, 1983.

Morten Kjeldsen nació en Dinamarca en 1959. Se graduó en ingeniería eléctrica y acústica en la Universidad Técnica de Aarhus, en 1986, fecha en que comenzó a trabajar en Alcatel Kirk como ingeniero de pruebas y diseño. El Sr. Kjeldsen es miembro de la Sociedad de Audioingeniería.

Intelligence Service: herramienta para construir sistemas expertos

Los primeros sistemas expertos se desarrollaron principalmente para investigación. En la actualidad, la preparación de envolturas de sistemas expertos como el Intelligence Service, posibilita el rápido desarrollo de una extensa gama de aplicaciones de estos sistemas sin exigir una experiencia dilatada en programación.

B. Flamant
G. Girard
GSI-TECSI, París, Francia

Introducción

Entre las nuevas tecnologías recientemente aparecidas, la inteligencia artificial es una de las más prometedoras. Desde que se elaboraron los primeros sistemas expertos para fines de investigación a principios de los 70, el número de sistemas desarrollados ha crecido rápidamente. Hoy en día, las aplicaciones en uso están demostrando que esta tecnología no es ya sólo herramienta de investigación, sino un instrumento en maduración que puede aportar notables incrementos de productividad. La separación entre razonamiento y conocimiento del dominio (Fig. 1) posibilita un fácil mantenimiento y mejora de las aplicaciones de sistemas expertos.

Existen ya ahora herramientas para la construcción de sistemas expertos, denominadas envolturas. Al principio sólo se ejecutaban en ordenadores especializados

tales como las máquinas Lisp (equipo específico optimizado para el lenguaje Lisp). Sin embargo, este entorno (máquina Lisp y envoltura de sistema experto) es a menudo costoso y demasiado complicado para la gente que quiere entrar en el campo del sistema experto o desarrollar aplicaciones a un coste mínimo. Está creciendo la demanda de envolturas de sistema experto potentes y de uso agradable, para ejecución en máquinas estándar (ordenadores personales, miniordenadores, etc.) de manera que los no programadores puedan desarrollar sus propias aplicaciones o construir futuros prototipos con una pequeña inversión inicial.

Apoyándose en su experiencia en elaborar sistemas expertos para diferentes aplicaciones, GSI-TECSI ha preparado un entorno de desarrollo de tales sistemas denominado *Intelligence Service*, que no requiere en absoluto dominio de la programación clásica, y que da a los no programadores la oportunidad de desarrollar sus propios sistemas expertos.

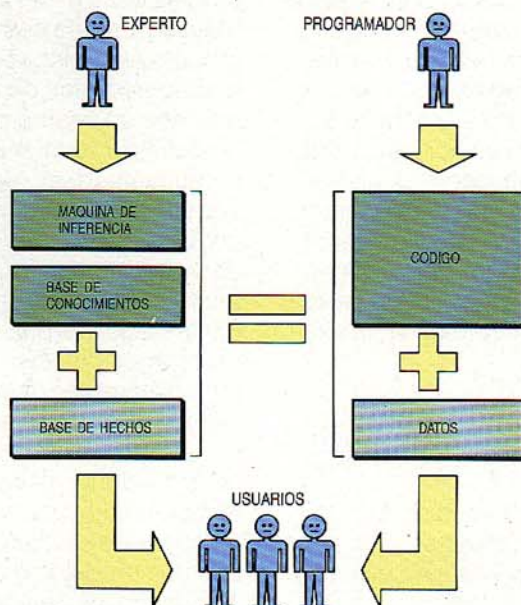
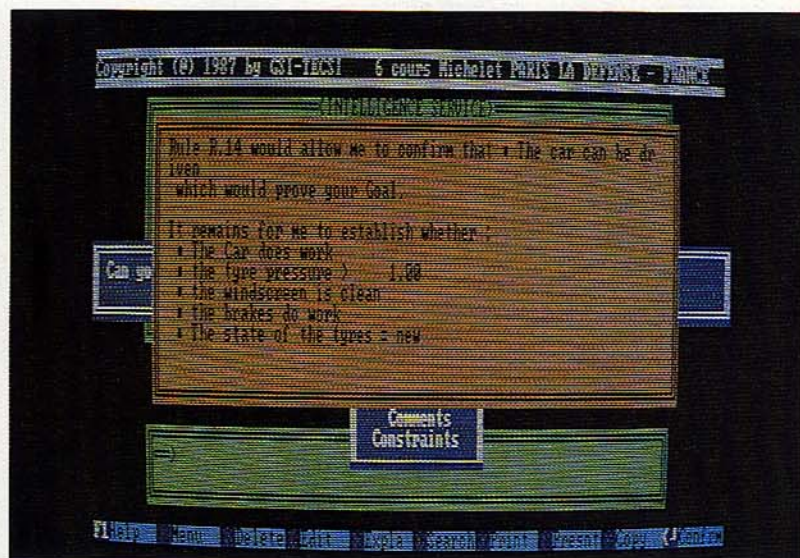


Figura 1
Diferencia entre sistemas expertos y programación clásica.

Intelligence Service

El Intelligence Service se desarrolló para satisfacer esta nueva demanda y proporcionar:

- un entorno agradable, pues en pocos días se puede aprender a usar esta herramienta, sin necesitar experiencia en programación ni conocimiento específico de informática
- un instrumento de producción fiable y potente, muy importante para la construcción de sistemas expertos operacionales
- capacidad de conexión a otros programas (Lotus 123, dBASE III, etc.) y al mundo exterior (videodisco, sensores, etc.)



Intelligence Service, ejecutado en un ordenador personal estándar.

- dos tipos de módulo independientes: el *módulo experto*, utilizado tanto para la construcción como para el uso de los sistemas expertos, y el *módulo consultor*, para preguntar a las bases de conocimientos formadas mediante el módulo experto. El usuario final, que trabaja con el módulo consultor, no puede leer ni modificar la base de conocimientos, por lo que el saber de la Compañía queda protegido.

El Intelligence Service, disponible comercialmente desde principios de 1986, en la actualidad es líder en el mercado francés: se utilizan más de 250 módulos expertos y más de 10.000 módulos de consulta. GSI-TECSI está además formando una red de distribuidores en Europa, EE. UU. y Japón.

La mayoría de las aplicaciones iniciales fueron meros prototipos. En aquel tiempo, los usuarios adquirían el Intelligence Service para iniciarse en el nuevo y prometedor campo de los sistemas expertos, y acostumbrarse a los principios más importantes de la programación por reglas. Hubo mucha autoformación de esta índole, y a medida que se fueron conociendo mejor las posibilidades de una herramienta como el Intelligence Service los usuarios se concentraron más en el desarrollo de aplicaciones operacionales a bajo costo. El Intelligence Service es muy adecuado a estas necesidades, como lo demuestra el número de sistemas ya en uso.

Tipos de aplicación

Las aplicaciones hasta ahora desarrolladas con el Intelligence Service pertenecen a dos categorías: campo del usuario y dominio del sistema experto.

Banca

El Intelligence Service se ha utilizado en el desarrollo de sistemas para asesorar a los clientes sobre las inversiones que se adaptan mejor a sus objetivos, teniendo en cuenta su perfil financiero personal; también para análisis de balances, para el diagnóstico automático de fallos en las máquinas de cajero automático, y para evaluar la solvencia a efectos de crédito.

Sirve de ejemplo el sistema experto elaborado por Arcane para Banque de Bretagne, el cual ayuda al asesor bancario sugiriéndole soluciones claras, objetivas y personalizadas para la inversión de cantidades entre 50.000 y 800.000 francos franceses. Una vez analizada la situación financiera y los objetivos del cliente (propiedades, edad, renta, familia, situación de impuestos, aceptación del riesgo, etc.), el sistema experto selecciona entre una extensa gama las inversiones que mejor se adaptan al perfil y propósitos del mismo. Al final de la sesión el sistema redacta una valoración personal que se entrega al cliente, pudiendo además facilitar toda la información disponible (sacada de archivos externos) sobre cualquier inversión que haya propuesto. Este sistema se aplica en 96 sucursales del referido Banco. Los recursos empleados fueron 4,5 hombres-mes de ingenieros del conocimiento y 2 hombres-mes de expertos.

Seguros

El examen del riesgo, el análisis de las condiciones sanitarias, la generación automática de contratos dependiendo del perfil del cliente y la actualización y distribución de nuevas reglas administrativas son aplicaciones todas ellas adecuadas para el Intelligence Service. Un ejemplo en este sector es el sistema experto diseñado para la Caisse Centrale des Mutualités Agricoles, el cual ayuda a los vendedores a determinar la asegurabilidad de un cliente que desee suscribir un seguro personal. El sistema da respuesta a cada uno de los ocho contratos propuestos (p. ej., *el seguro es posible, el seguro es posible excepto para todas las consecuencias médicas de una enfermedad o accidente dados, el seguro no es posible dado su estado de salud*). Si la contestación es positiva, el sistema produce un contrato que el cliente puede firmar inmediatamente después de la consulta. Como la Compañía se vincula legalmente por el contrato, éste debe incluir todas las contestaciones dadas durante la sesión. El tiempo medio que empleaba el sistema anterior se aproximaba a las tres semanas, que con un sistema experto se reducen a 10 minutos de sesión interactiva.

Grandes compañías

En este campo son muy numerosas las aplicaciones del Intelligence Service, como las siguientes:

- análisis de mercado
- gestión de personal
- selección de tarifa
- selección de personal
- gestión de reservas para compañías de transporte
- análisis de nuevas oportunidades de negocio
- redacción de contratos administrativos
- búsqueda y clasificación de documentación.

Como ejemplo, GSI ha desarrollado el sistema experto *Hotline*, para ayuda al diagnóstico de fallos en microordenadores utilizable por cualquiera que tenga alguna experiencia en estas máquinas. Se detectan anomalías de funcionamiento, tanto si se deben a errores de operación como a fallo de componentes. El sistema, diseñado para empresas con gran número de microordenadores, reduce acusadamente los tiempos de interrupción de las máquinas. Su desarrollo sólo necesitó 3,5 hombres-mes.

Industria

La gama de aplicaciones en la industria es prácticamente ilimitada. Entre ellas figuran:

- control de producción
- estimación de coste de proyectos de programación
- gestión de alarmas
- diagnóstico de faltas
- control de calidad
- selección de fórmulas químicas para cumplir especificaciones de clientes
- selección de herramientas de producción.

GSI-TECSI ha producido un sistema experto para ayudar al mantenimiento de los sistemas de conmutación digital Alcatel E10B. Las reglas que contiene recogen la pericia de los técnicos en identificación y localización de faltas, con lo cual mejoran notablemente la eficacia, velocidad y calidad de la corrección de averías, reduciendo los costes de mantenimiento. Además de ayudar al diagnóstico de faltas, el sistema recuerda al ingeniero de mantenimiento los procedimientos de prueba y reparación a realizar durante todo este proceso. El Intelligence Service permite una expresión rápida, clara, y legible de las reglas (similar al

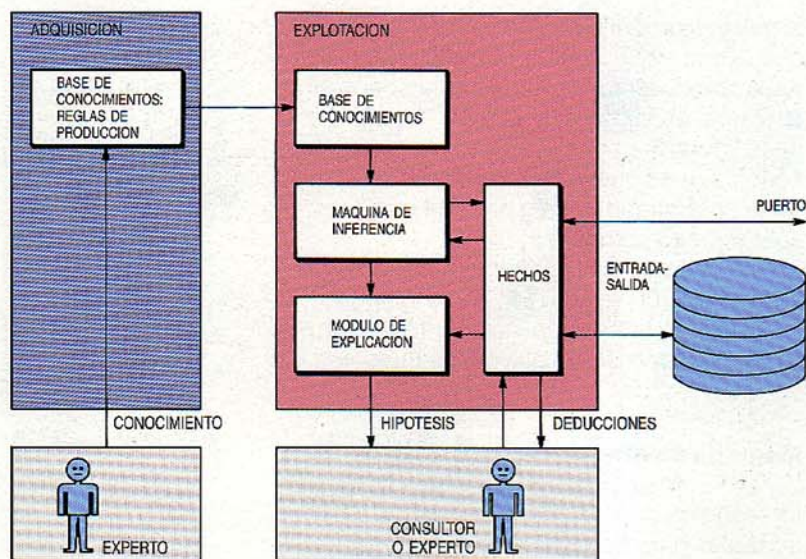


Figura 2
Estructura general del Intelligence Service, envoltura de sistemas expertos.

razonamiento humano), poniendo en juego una compleja combinación de eventos. Los detalles sobre las faltas diagnosticadas se almacenan en una base de datos para formar un registro de mantenimiento y obtener estadísticas sobre fallos de los componentes. El sistema contiene alrededor de 2000 reglas repartidas en una docena de bases de conocimientos, cada una de ellas dedicada a un tipo particular de problema.

Sanidad

En el área de la sanidad, el Intelligence Service puede servir para diagnosis en un campo médico dado, así como para clasificación de cultivos. Ejemplo de ello es el sistema experto elaborado por el Hospital Clermont-Ferrand, junto con los Laboratorios Ibsen, para diagnosticar la retinopatía diabética por interpretación de placas angiográficas. Emitido ya el diagnóstico, el sistema decide la clase de tratamiento a seguir en los supuestos de operación quirúrgica o uso del láser. Cuando ciertas preguntas requieren gráficos para su comprensión, el sistema experto controla un proyector de diapositivas a petición del usuario, que de este modo ve potenciado su interfaz. La conexión a una placa de síntesis de voz se considera también una mejora adicional de dicho interfaz.

Universidades

Los sistemas expertos pueden utilizarse en las universidades para enseñanza, autoformación, y preparación de prototipos de sistemas expertos.

Estructura general

La figura 2 muestra la estructura general del Intelligence Service. El módulo experto es

la parte de adquisición de conocimiento que el experto utiliza para introducir las reglas representativas del dominio del conocimiento. La sintaxis de la regla se expone en la figura 3. El número de premisas y conclusiones que puede contener una regla es ilimitado, lo que permite elaborar aplicaciones complejas.

Una base de conocimiento puede contener hasta 1000 reglas. Sin embargo este límite puede superarse fácilmente construyendo una aplicación con bases múltiples.

Máquina de inferencia

La máquina de inferencia examina la base de reglas para determinar qué reglas pueden "desactivarse" (es decir, ejecutarse). Las deducciones subsiguientes permitirán desactivar otras reglas, tras lo cual la máquina de inferencia seleccionará otras nuevas, ciclo que se detendrá cuando ya no queden reglas por ejecutar.

La máquina de inferencia puede funcionar de dos maneras diferentes: concatenación progresiva y concatenación regresiva. En la primera, la máquina examina los datos recibidos y extrae de ellos todas las deducciones posibles. Es característica importante del Intelligence Service la de ofrecer dos tipos de concatenación progresiva: en el primero desactiva todas las reglas posibles, y cuando ya no pueden desactivarse más sobre la base de los datos disponibles, pasa al segundo tipo, en el cual se hacen preguntas intentando desactivar más reglas.

En contraste con la concatenación progresiva, orientada a los datos, la regresiva apunta a los objetivos. El usuario da al Intelligence Service un objetivo (por ej., demostrar un aserto o hallar un valor particular), tras lo cual la máquina selecciona todas las reglas conducentes a ese objetivo, desactivándolas si están ya preparadas o haciendo preguntas con el fin de desactivarlas. Mientras no se logre el objetivo la máquina seguirá interrogando, y en caso de que no pudiera alcanzar esa meta enviaría un mensaje al usuario.

En cuanto a la estrategia (cuál regla elegir entre varias seleccionadas), la máquina de inferencia trabaja siempre con las reglas más prometedoras. Así, por ejemplo, en la concatenación progresiva, una regla con cuatro condiciones verdaderas entre cinco posibles es más ventajosa que otra con sólo dos condiciones verdaderas de cinco. En la concatenación regresiva, la regla más favorable es la que ofrece el número mínimo de condiciones desconocidas. Este enfoque es importante, porque un sistema experto que hace cinco preguntas cuando

IF	<premise>	AND	<premise>
OR	<premise>	AND	<premise>
THEN	<conclusion>	AND	<conclusion>

<premise> puede ser:

- un hecho booleano
(ejemplo: IF el coche no arranca...)
- un hecho con un valor numérico o simbólico
(ejemplo: IF la presión de los neumáticos <1,9...)

<conclusion> puede ser:

- la afirmación de un hecho
(ejemplo: la batería está bien)
- la atribución de un valor a un hecho
(ejemplo: precio = precio de compra + precio de la rueda de repuesto)
- llamadas a procedimientos externos

con una hubiera bastado, es ineficaz y no muy agradable de usar.

En cualquier momento, la máquina puede explicar su razonamiento (es decir, cómo se ha hecho una deducción concreta o el porqué de una pregunta).

La máquina de inferencia es asimismo capaz de descubrir contradicciones en el razonamiento. Si dos reglas conducen a conclusiones diferentes durante la misma sesión cuando esto no debería ocurrir, la máquina edita un mensaje de error; ello constituye un poderoso instrumento de depuración para validación de aplicaciones.

El usuario puede cancelar cualquier información ya introducida, y la máquina de inferencia eliminará entonces todas las deducciones realizadas a partir de esa información. Esto concede al usuario la facultad de modificar su respuesta y hacer que el sistema emprenda otro proceso deductivo. En consecuencia, puede concebirse un sistema experto como una herramienta real de simulación cuyo usuario final es el experto mismo o un miembro de su equipo.

Funciones suplementarias

El lado derecho de una regla puede activar cualquier orden compatible con MS-DOS: una orden DOS, un programa (escrito en Pascal, Cobol, Basic, o en cualquier otro lenguaje), o bien programas comerciales. Es esencial que los sistemas expertos se integren con los sistemas de información existentes. Por ejemplo, puede imaginarse una aplicación que comience utilizando una hoja de cálculo para recoger todos los datos importantes o interrogando a una base de datos donde ya exista la información, o bien

Figura 3
Base de conocimientos.

estableciendo conexión a un videodisco que proporcione soporte gráfico en-línea.

Las facilidades de conexión al mundo del MS-DOS (y por tanto a la biblioteca existente de programas y productos complementarios) son un factor clave en las envolturas de sistemas expertos. También es importante que dichas envolturas estén abiertas a toda programación, o sea a todos los programas no específicos de un lenguaje concreto que puedan intercambiar información con el Intelligence Service.

Una base de conocimientos puede llamar a otra, denominada subexperta, e intercambiar luego información entre ellas. De este modo varios expertos o ingenieros del conocimiento pueden trabajar juntos en la construcción de un sistema experto, desarrollando cada uno su propia base de conocimientos.

Por ejemplo, si un banco quiere desarrollar un sistema experto para el diagnóstico de faltas en las máquinas de cajero automático, tendrá que contar con experiencia en el terreno de la mecánica (cuándo y cómo detectar posibles averías), en el de la programación integrada, y en las redes de ordenadores. Estos tres dominios se representarían en tres bases de conocimientos con la posibilidad de que los tres expertos trabajaran a la vez. Una cuarta base de conocimientos abriría la sesión, haciendo una primera serie de preguntas y llamando después a la base subexperta adecuada.

El Intelligence Service proporciona un interfaz agradable, gobernado por menú, que permite ajustar la aplicación a las necesidades. Por ejemplo, todas las ventanas usadas en el modo de consulta pueden personalizarse (título, color de texto, color de fondo, tamaño, posición). Se suministrará además una biblioteca de procedimientos genéricos (presentación de textos, gráficos, etc.).

El modo de consulta es un fichero ejecutable, que permite incorporar una base de conocimientos a otra aplicación. Por ejemplo, programas tales como los del dBASE III pueden llamar al modo de consulta, ya que están preparados para llamar a ficheros ejecutables. Hasta ahora el Intelligence Service ha sido implantado en todos los PC de IBM y compatibles que funcionan con el

sistema operativo MS-DOS, y en todos los ordenadores VAX/VMS, desde el Microvax al VAX 8800. En ordenadores personales se requiere un mínimo de 512 k-octetos y un disco rígido.

Conclusiones

Hasta hace poco, el desarrollo de un sistema experto era un proyecto caro y de larga duración, del cual resultaban numerosos prototipos más bien que aplicaciones operacionales. Con la aparición de las envolturas de sistemas expertos para mini- y microordenadores estándar, el desarrollo de un sistema experto resulta, en abundantes aplicaciones, más fácil y provechoso. El éxito en la construcción de sistemas expertos utilizables depende de la elección de una envoltura con funciones que se adapten a la complejidad del dominio. Si se sobredimensionara la herramienta, podrían infravalorarse fuertemente los costes de desarrollo y mantenimiento, lo que conduciría a la cancelación del proyecto o a la conclusión de que la empresa no puede afrontar esta nueva tecnología. La utilización de una envoltura de sistemas expertos tal como el Intelligence Service es una buena solución técnica y ofrece uno de los mejores medios para entrar en el campo de la inteligencia artificial.

Benoit Flamant nació en París, en 1960. Se graduó en la Escuela Central de aquella ciudad en 1983 y a continuación ingresó en la Universidad Carnegie Mellon de Pittsburgh para investigar sobre aplicaciones de sistemas expertos. En 1985 ingresó en GSI-TECSI, donde es consultor sobre desarrollo de sistemas expertos.

Gilles Girard nació en Montbrun, Francia, en 1956. Se graduó en ingeniería electrónica por la Ecole Supérieure d'Electricité, y pasó después algún tiempo en Davis, en la Universidad de California. Antes de su ingreso en GSI-TECSI en 1985, dirigió un equipo de proceso de datos de una subsidiaria francesa del grupo Philips. El Sr. Girard se encarga actualmente de la comercialización y venta de los productos de programación de GSI-TECSI y, en particular, del Servicio de Inteligencia.

Intelligence Service es marca registrada de GSI-TECSI, Lotus 123 es marca registrada de Lotus Corporation, dBASE III es marca registrada de Ashton-Tate Corporation, VAX/VMS es marca registrada de Digital Equipment Corporation, y MS-DOS es marca registrada de Microsoft Corporation.

Red óptica de televigilancia y transmisión para grandes sistemas de transporte

Los sistemas de fibra óptica se aplican cada vez más en comunicaciones privadas, incluyendo el control y vigilancia de la operación de distintas redes de transporte. Para tales aplicaciones se ha desarrollado un sistema enteramente óptico que incorpora transmisión y conmutación de imágenes y datos, y ahora se está instalando para vigilar un tramo de 20 km en la autopista A40 de Francia.

J. Lecomte

M. Seguin

Compagnie Lyonnaise de Transmissions Optiques, Bezons, Francia

Introducción

Los ingenieros de contratación de los principales sistemas de transporte de personas (autopistas, sistemas rápidos de transporte, ferrocarriles) y de fluidos (oleoductos, acueductos, etc.) se convencen cada vez más de que la introducción de fibras ópticas en sus sistemas de telecomunicación les reportará ventajas técnicas y económicas. Sin embargo, tal cambio presupone disponer de sistemas de fibra óptica desarrollados específicamente para sus aplicaciones, que ofrezcan elevados índices de fiabilidad y de capacidad de ampliación sin interrupción del servicio. CLTO (Compagnie Lyonnaise de Transmissions Optiques) ha desa-

rollado el sistema de televigilancia CLTO 40 con una arquitectura óptica integrada muy adecuada para aplicaciones de transporte. El sistema opera actualmente en un tramo de 20 km de la autopista A 40 entre Macon y Ginebra.

Funciones de la red óptica

En diciembre de 1986 se abrió el tramo Bourg-Sud/Sylans de la autopista A40, de 40,6 km de longitud, situado en el distrito francés de Ain. Como parte de este proyecto, se instaló una red de fibra óptica entre las estaciones de control de tráfico de Saint-Martin-du-Frêne y el cruce de Sylans cerca de Nantua (Fig. 1).

Esta red tiene dos funciones principales:

- observar por vídeo el tráfico y las estructuras (puentes, túneles, etc.)
- supervisión y control del equipamiento (esto es, señales de tráfico, alumbrado, etc.) ubicado a lo largo de la autopista.

En una segunda etapa (final de 1989), esta red se ampliará al tramo comprendido entre el cruce de Sylans y Châtillon-de-Michaille, llegando a cubrir 23 km. El sistema servirá entonces para supervisar tres túneles, un viaducto y dos cruces, utilizando en total 70 cámaras.

Vigilancia en vídeo

El tramo actual de 11 km de autopista entre la estación de control de tráfico y Sylans incluye el túnel de Chamoise (3 km) y el viaducto de Nantua-Neyrolles (1,8 km). En este tramo se mantiene una supervisión continua en tiempo real mediante 12 cáma-

Transmisor y receptor óptico.



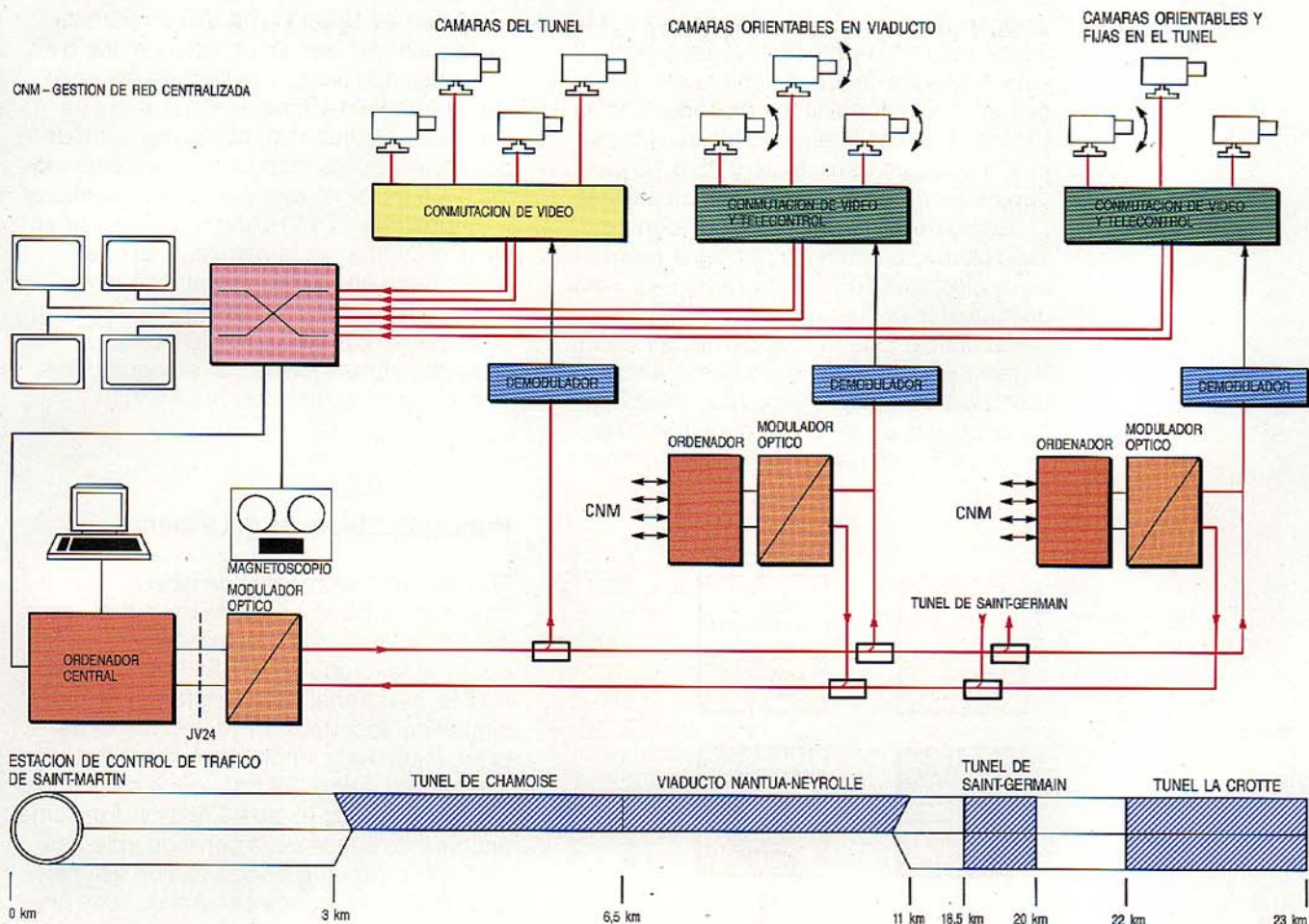


Figura 1
Televigilancia y gestión de red centralizada.

ras móviles y 16 fijas. Las cámaras móviles pueden gobernarse a distancia desde el referido centro de control, en cuanto a su elevación, azimut, aumento, enfoque y limpiadores.

El operador selecciona las imágenes que se transmiten luego por fibra óptica y se presentan en 11 monitores en el centro de control, pudiendo también grabarse en magnetoscopio. Las imágenes de todas las cámaras se presentan cíclicamente en los monitores, con la posibilidad de congelar una imagen o de transferirla a otro monitor no dedicado a seguir las imágenes.

Control y supervisión del equipamiento

La red óptica también proporciona una transmisión bidireccional de todas las señales que requiere la gestión centralizada de la autopista y su equipamiento.

El sistema controla y supervisa la ventilación del túnel (medida por sensores) y su alumbrado. En el supuesto de un fallo de energía, los generadores de reserva se pueden arrancar automáticamente desde la estación de control de tráfico, o bien de modo manual. Además, se supervisan y controlan desde el referido centro las señales de tráfico, energía eléctrica, y otras. En

caso de fallo se transmiten numerosas alarmas, sobre todo relativas al suministro de energía y al estado de las señales.

Arquitectura de red

El sistema CLTO 40 incluye todo el equipo, programación y cables de fibra óptica necesarios para televigilancia y gobierno centralizado de la infraestructura de la red. El diseño modular del sistema permite adaptar su arquitectura a la topografía del área a supervisar. En la autopista A40, con un gran número de cámaras y unas distancias largas (para una red de área local), se escogieron las estructuras siguientes (Fig. 1):

- una estrella de dos niveles para transmisión y proceso de vídeo
- un bus para la transmisión de las señales de televigilancia.

Red de vídeo en estrella

Las imágenes obtenidas por las cámaras que vigilan una estructura (túnel, viaducto) o un punto determinado de la autopista, se concentran primero en entradas a matrices

de conmutación alojadas en cassetas dentro de los viaductos y túneles, y luego son seleccionadas desde el centro de control de tráfico. Las funciones de concentración y transmisión de imágenes utilizan fibras multimodo que trabajan en 0,85 ó 1,3 μm dependiendo de la longitud de los enlaces.

Dentro del túnel, la salida en vídeo de cada cámara se conecta por cable coaxial a un modulador SPFM (modulación saturada de impulsos en frecuencia) que da una salida óptica. Este modulador se coloca en la galería de intemperie del túnel, la cual se utiliza también para el empalme de las fibras ópticas en el cable conectado a las cámaras. En los viaductos, el modulador/

velocidad de 19.200 bit/s. Para transmitir todas esas señales en un solo sentido o en ambos se eligió una arquitectura especial, con un medio de transmisión común; se basa éste en un bus óptico compuesto de dos fibras ópticas monomodo, de acopladores, y de transmisores y receptores ópticos a 1,3 μm (Figs. 1 y 2). Además, para aumentar la seguridad de transmisión, el bus óptico tiene una redundancia total: dos fibras ópticas monomodo y el equipo asociado constituyen el canal de trabajo, y otras dos fibras iguales con su equipo forman el canal de reserva (Fig. 3).

Principales bloques del sistema

Transmisión de señales de vídeo

La señal de vídeo en banda base producida por una cámara, se transmite y se conmuta como señal modulada en SPFM. Eléctricamente, esta señal tiene una forma de onda sinusoidal recortada, cuya frecuencia es proporcional a la amplitud de la señal de vídeo moduladora. La frecuencia de la portadora sin modular es de 28 MHz y la máxima anchura de banda de la señal de vídeo es de 7 MHz. Aunque la modulación es analógica, la forma de onda general es la de una señal digital, lo cual autoriza a emplear para estas señales SPFM ciertas técnicas de comunicación y conmutación utilizadas para procesar señales digitales, entre ellas las de regeneración mediante comparador y conmutación por puertas lógicas.

Los principales bloques de concentración de imágenes y de transmisión por fibras ópticas son: el equipo óptico modulador/transmisor, los transmisores y receptores ópticos a 0,85 μm ó 1,3 μm , y un demodulador de vídeo SPFM utilizado para recuperar la señal de banda base.

Como ejemplo, un enlace típico constituido con este equipo presenta las siguientes características:

- modulador/transmisor con LED (diodo electroluminiscente) a 1,3 μm
- potencia óptica transmitida, -15 dBm
- potencia óptica recibida, -38 dBm
- relación señal-ruido ponderada de la señal de vídeo, 52 dB
- ganancia diferencial, 5%
- fase diferencial, 5°

Conmutación de la señal de vídeo

La señal de vídeo modulada en SPFM se conmuta en dos niveles: primero, en el edificio técnico tras la concentración, y

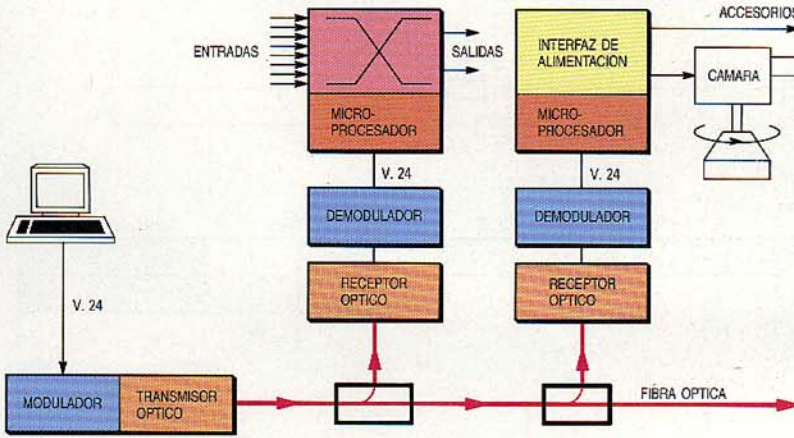


Figura 2
Diagrama de bloques del bus de telecontrol de fibra óptica utilizado para televigilancia.

transmisor óptico de cada cámara va alojado dentro de la caseta del viaducto.

Durante la primera etapa de la instalación de la red, se transmite una imagen por fibra entre el conmutador y el centro de control. En la segunda etapa se introducirán fibras ópticas monomodo para transmitir dos imágenes multiplexadas por fibra a una distancia de 20 km.

Bus de televigilancia

Hay dos tipos de entradas y salidas hacia y desde el centro de control de tráfico y las diversas cassetas de equipo y demás lugares de la autopista donde se emplacen cámaras (p. ej., los cruces). Las señales de telecontrol para la red de vídeo constan de mensajes asíncronos en serie enviados y dirigidos a todos los equipos gobernados a distancia (matrices de conmutación, cámaras).

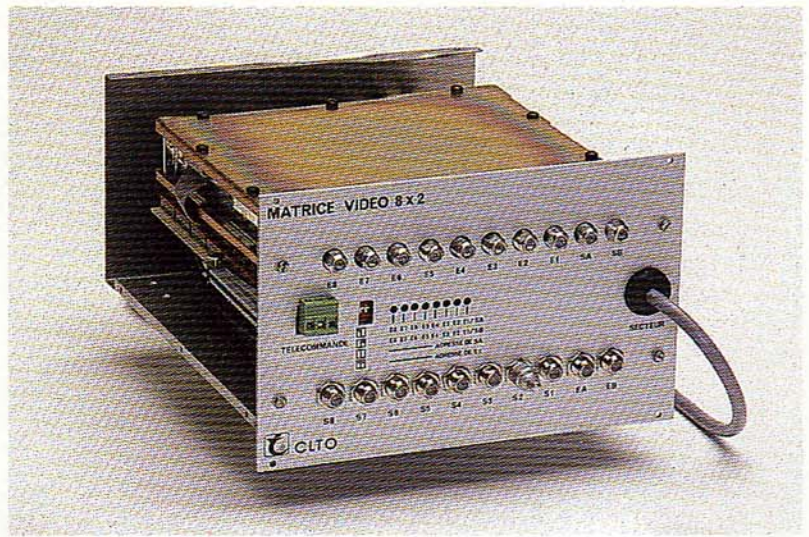
Dichas señales las genera el ordenador principal de control en el centro de tráfico.

Las señales de control y supervisión a distancia que sirven para gestión centralizada de la red (10.000 puntos de medida) las genera también el ordenador central como mensajes asíncronos en serie a una

después en el centro de control de tráfico cuando se requiere una grabación de vídeo. Las matrices de conmutación en banda ancha se realizan utilizando circuitos ECL (lógica de emisor acoplado), y constan de uno o más módulos básicos con ocho entradas y dos salidas susceptibles de combinarse en direcciones horizontales y/o verticales para formar matrices con 8X entradas y 2Y salidas.

Cada módulo básico incluye una placa de microprocesador que recibe órdenes del bus serie de telecontrol y las transmite una vez procesadas a los circuitos de conmutación. Cada matriz conmutadora de vídeo tiene una dirección definida por las posiciones de ocho conmutadores DIP en la placa del microprocesador. Gracias a ello este microprocesador reconoce los mensajes dirigidos a él en el bus común, los procesa y transmite las órdenes apropiadas a los circuitos de conmutación de la matriz. Cada matriz tiene su modo de operación particular (por ejemplo, en secuencia cíclica o no, variando el tiempo entre imágenes). En la operación cíclica la matriz entrega secuencialmente la imagen de cada una de sus entradas. Si falla la transmisión de datos, el modo de operación cíclica está protegido, ya que se realiza descargando datos en la memoria de la matriz no afectada por los fallos de transmisión. Así, pues, continúa el ciclo de imágenes en el centro de control.

Control remoto de cámaras y accesorios
Todas las señales de control se originan en la placa del microprocesador, que forma



Matriz de conmutación de vídeo SPFM.

parte del decodificador de órdenes. Este decodificador da salida a las señales de control para las cámaras de acuerdo con los mensajes en serie asíncronos que recibe por el bus de telecontrol. Estas señales gobiernan los cuatro motores que varían la elevación, azimut, aumento y enfoque de la cámara, así como cuatro contactos para controlar accesorios (limpiadores de parabrisas, conmutadores del bus, etc.). El decodificador de órdenes almacena también cuatro posiciones de reposo de la cámara (cabezal de movimiento horizontal-vertical e inclinación, y lente objetivo), a las cuales puede reposicionar automáticamente la cámara.

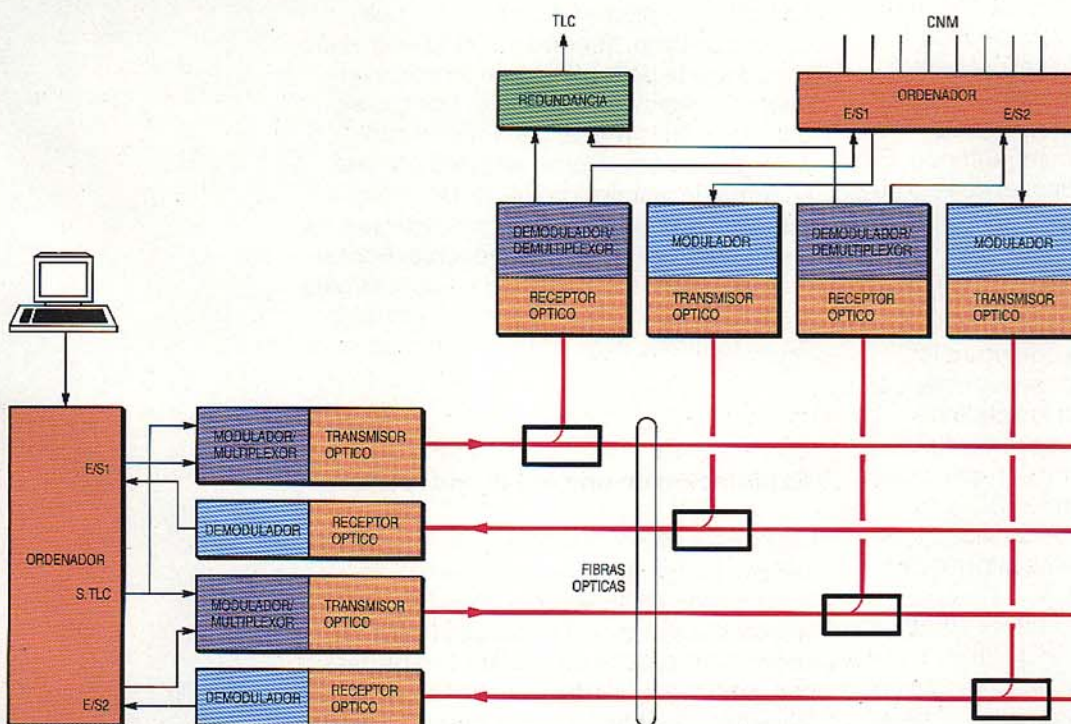


Figura 3
Diagrama de bloques de redundancia de transmisión de datos en el bus de fibra óptica.
E/S - entrada/salida
TLC - telecontrol.

El decodificador está realizado en tres placas impresas (Fig. 2):

- placa demoduladora
- placa de microprocesador
- placa de alimentación.

La última de ellas incluye los tiristores de alimentación (110 V) de la cabeza motora horizontal-vertical e inclinación, y los amplificadores de alimentación (± 10 V CC) del motor del objetivo.

Bus óptico y formato de los mensajes

El canal normal del bus consta de dos fibras ópticas monomodo, una por cada dirección de transmisión.

Dirección de ida: en el centro de control de tráfico, los datos de gestión de red centralizada y de telecontrol generados por el ordenador se introducen en un modulador FM y en la entrada de un terminal optoelectrónico, respectivamente. La multiplexación de las dos portadoras moduladas, f_1 y f_2 , excita un transmisor láser de $1,3 \mu\text{m}$ acoplado a una fibra monomodo. En las cassetas donde hay equipos, la señal óptica se extrae de la fibra mediante un acoplador óptico monomodo y se envía a un receptor óptico que la convierte en señal eléctrica. Esta última, demultiplexada y demodulada, reproduce el mensaje dirigido al ordenador de gestión centralizada de la red, y el mensaje utilizado para controlar las matrices y cámaras (Figs. 1 y 2).

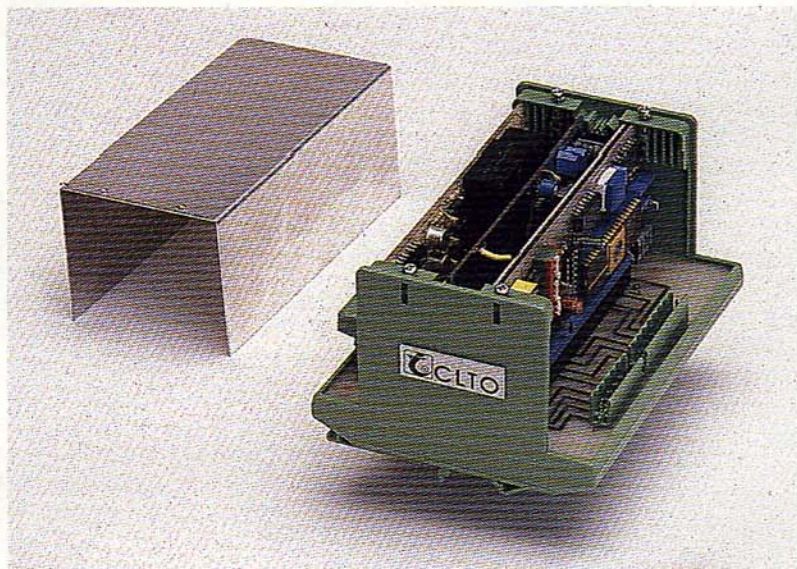
Dirección de retorno: en las cassetas de equipos los datos de gestión centralizada de red procedentes del ordenador se introducen en un modulador FM, cuando lo requiere el ordenador principal del centro de control. La portadora modulada resultante excita a un transmisor óptico de $1,3 \mu\text{m}$ acoplado a una fibra monomodo. En el centro de control de tráfico, el equipo de recepción asociado almacena los datos en el ordenador principal.

Formato de los mensajes de telecontrol: el bus de telecontrol del sistema CLTO 40 se comparte por todos los equipos a los que está conectado. En consecuencia, los mensajes dirigidos a todos los equipos tienen el mismo formato. Los mensajes constan de 4 bits en transmisión asincrónica serie a 9600 bit/s, según RS232C. Un mensaje típico enviado al decodificador de órdenes contiene la siguiente información:

- el octeto 4 especifica el tipo de orden de telecontrol (individual o de grupo)
- el octeto 3 especifica la dirección del decodificador(es) de órdenes

- el octeto 2 especifica la función a ejecutar
- el octeto 1 especifica una subdirección.

Los mensajes se reafirman automáticamente cada tres segundos. En el caso de un fallo de transmisión en el bus óptico, los mensajes dejan de confirmarse y la función a ejecutar se para automáticamente, evitando así la perpetua rotación de la cámara.



Decodificador de órdenes.

Cables ópticos

Los cables ópticos, fabricados por Les Câbles de Lyon, tienen un núcleo acanalado para soporte de las fibras en torno de un miembro resistente de acero. Los cables utilizados en la red de transmisión van protegidos y totalmente sellados por una cubierta de aluminio soldado. Un cable puede contener hasta 23 fibras activas y un cierto número de fibras de reserva, necesiéndose unos 300 km de fibras ópticas para los cables principal y de distribución. Más de un tercio de ellas son fibras monomodo.

Explotación de una red de autopista

Los explotadores franceses de autopistas utilizan hoy profusamente sistemas de supervisión en vídeo por cable. La primera aplicación se hizo en los años 70, sobre todo en las salidas de ciudades importantes, para vigilar el tráfico, a menudo denso, con el fin de poder aplicar remedio rápido y

eficaz en el caso de incidentes o accidentes. Estos sistemas primeros se basaban en la tecnología de cable coaxial.

En los años 80 se inició la tendencia a utilizar tecnología de fibras ópticas, por su especial idoneidad para este tipo de infraestructura. Además, el mercado cambió al aparecer sistemas para uso en tramos no urbanos de autopista. En Francia, las aplicaciones de supervisión en vídeo para autopistas incluyen la vigilancia de los puestos de peaje por razones de seguridad, especialmente por la noche cuando unos pocos empleados se quedan aislados, así como la supervisión del tráfico en zonas como túneles, puentes y cruces donde hay un mayor riesgo de accidente. En el caso de la autopista A 40, la densidad de tráfico es alta (Francia-Italia en la conexión a través del túnel del Mont Blanc) y la climatología muy dura (temperaturas invernales del orden de -40°C con fuertes nevadas), habiendo además varios tramos en obra (túnel, viaducto) en los que se circula provisionalmente en ambos sentidos con un alto riesgo de embotellamiento a la salida, sobre todo en invierno por el tráfico turístico dirigido hacia famosas estaciones deportivas.

Tan pronto como entró en servicio en diciembre de 1986, el sistema de vídeo demostró su utilidad durante periodos de grandes nevadas e intenso tráfico (hacia finales de año). Los operadores del centro de control pudieron detectar vehículos accidentados, guiar coches grúa hacia ellos, y observar el proceso de formación de atascos de tráfico. Al final, 70 cámaras vigilarán este tramo de autopista especialmente problemático.

El propio equipo de vídeo está también evolucionando para incorporar nuevas tecnologías. Ciertos tramos de autopista en el oeste de Francia cuentan ya con cámaras equipadas con sensores de dispositivos de carga acoplada (CCD), y se han realizado experiencias utilizando cámaras de color provistas de tales sensores.

Conclusiones

La ausencia de repetidores, la inmunidad a descargas en una zona de gran actividad



Vista panorámica del centro de control.

tormentosa, y la multiplexación de señales de telecontrol de vídeo y de control técnico en el mismo bus, hace que esta red óptica sea especialmente adecuada para aplicaciones de televigilancia, tal como se ha hecho en la autopista A 40, en Francia. Entre otras aplicaciones posibles figuran los sistemas subterráneos y las centrales nucleares.

La utilización de un bus de control con un formato asíncrono normalizado permite integrar el sistema de vídeo dentro de un concepto completo de gestión de red centralizada, simplificando así el control y la gestión remota de las estructuras.

Jacques Lecomte nació en Francia en 1948. Obtuvo un diploma de la Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité de París. En 1972 ingresó en una compañía del grupo CGE, donde se encargó del desarrollo de redes de televisión por cable. En 1985 se incorporó a CLTO como responsable de la división de sistemas, la cual desarrolla y produce equipos de transmisión y sistemas "llave en mano".

Michel Seguin nació en Burdeos, Francia, en 1938. Es graduado en ciencias físicas y posee un diploma del Institut National Polytechnique de Grenoble. Tras unos años en investigación y desarrollo en el campo de componentes electrónicos, en particular acústicos y ópticos, para el Grupo Thomson-CSF, se incorporó a CLTO en 1986, donde es responsable de la ingeniería de redes de fibras ópticas.

Realización de una central de banda ancha

Se ha desarrollado un prototipo de central de banda ancha capaz de conmutar señales a una velocidad de 140 Mbit/s, y en breve comenzarán las pruebas de campo. Utiliza avanzadas tecnologías VLSI y técnicas de conmutación de circuitos para proporcionar servicios de banda ancha en un próximo futuro.

D. Boettle
T. Dripke
G. Eilenberger

Centro de Investigación de Standard Elektrik Lorenz AG, Stuttgart, República Federal de Alemania

Introducción

La introducción e instalación de centrales digitales RDSI ha comenzado ya en Alemania y en otros países. Las RDSI tienen por fin esencial proporcionar una gama de servicios de datos que utilice las mismas facilidades que los servicios telefónicos normalizados. Las centrales RDSI conmutan canales de 64 kbit/s en una trama síncrona de división en el tiempo, aunque utilizando técnicas de conmutación multicanal pueden incrementar la capacidad de canal hasta 2 Mbit/s, lo que bastaría para algunos servicios de vídeo. Sin embargo, la

introducción de nuevos servicios de vídeo en banda ancha dependerá grandemente de la aceptación, por parte del público, de la calidad de la imagen.

Puede conseguirse una alta calidad de imagen mediante complejos codecs de vídeo que requieren poca anchura de banda de transmisión, o por medio de codecs de vídeo de relativa sencillez asociados con grandes anchuras de banda, tales como 140 Mbit/s. Standard Elektrik Lorenz escogió el segundo método para introducir lo antes posible una comunicación de vídeo en banda ancha que ofrezca una alta calidad de imagen y un bajo coste del sistema.

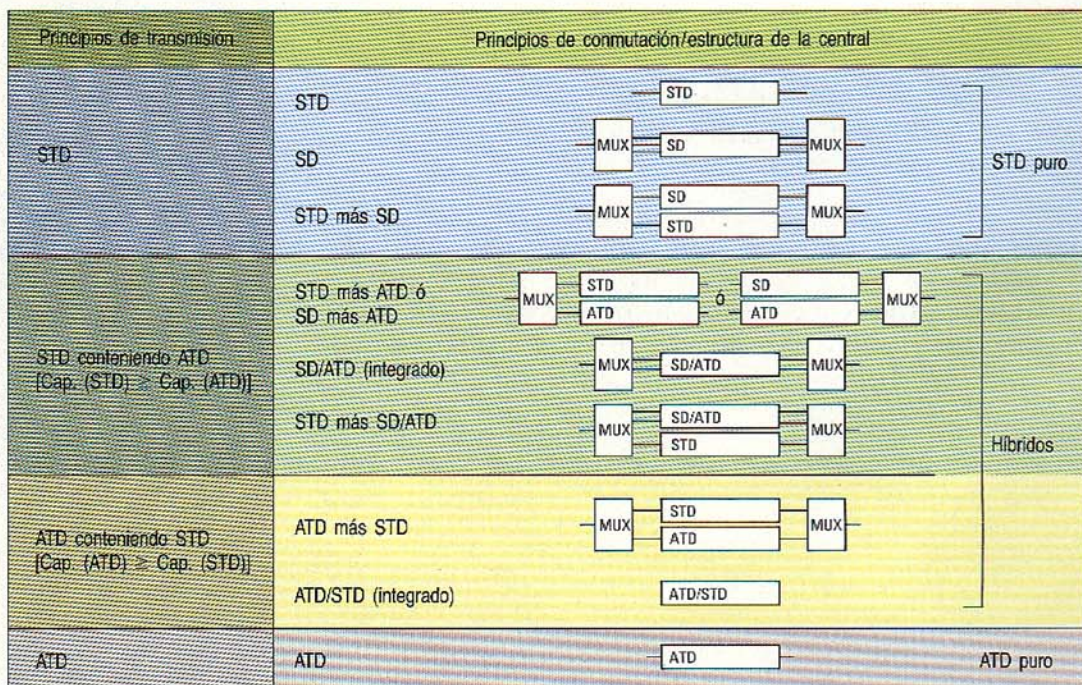


Figura 1
Técnicas de conmutación que podrían utilizarse en un futuro sistema de conmutación en banda ancha.
Cap = capacidad de canales.

ABONADO

CENTRAL LOCAL

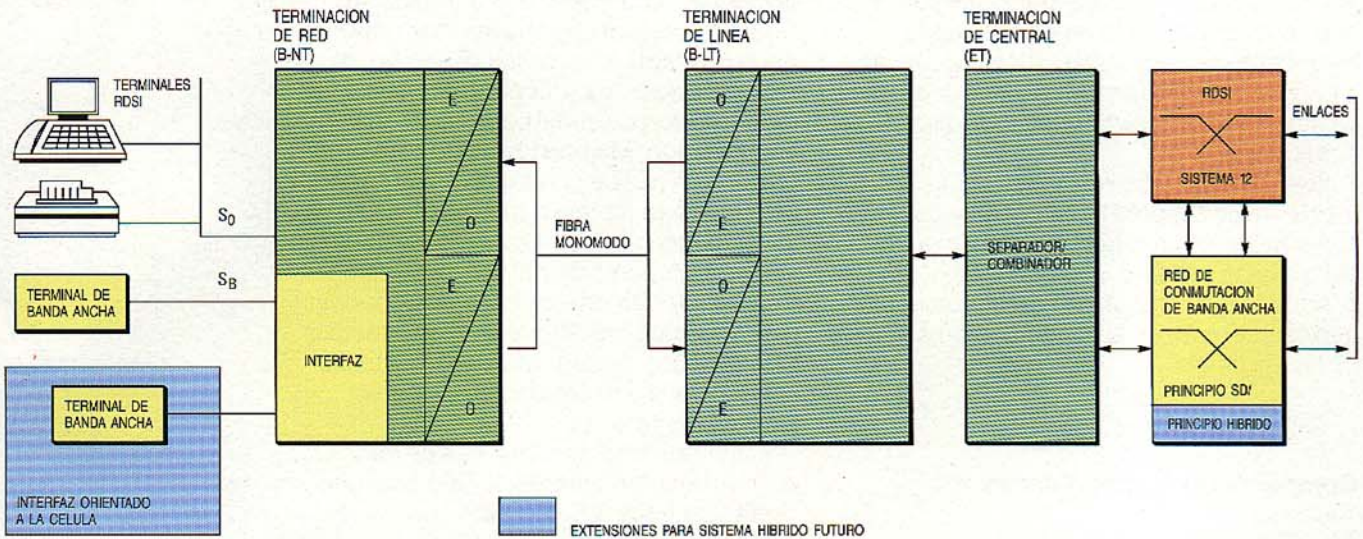


Figura 2
Diagrama de bloques del sistema híbrido RDSI-BA.
E - eléctrico
O - óptico.

Conceptos del sistema

La mayoría de las redes de telecomunicación actuales realizan la conmutación mediante técnicas de división espacial o temporal síncrona. Tales redes están orientadas hacia el canal y destinadas a servicios específicos de banda estrecha. Por el contrario, la futura RICBA (red integrada de comunicación por banda ancha) englobará totalmente los servicios actuales y todos los servicios futuros. Para realizar dicha red universal de conmutación, será necesario utilizar técnicas de conmutación que sean flexibles respecto a la velocidad binaria y las características de tráfico.

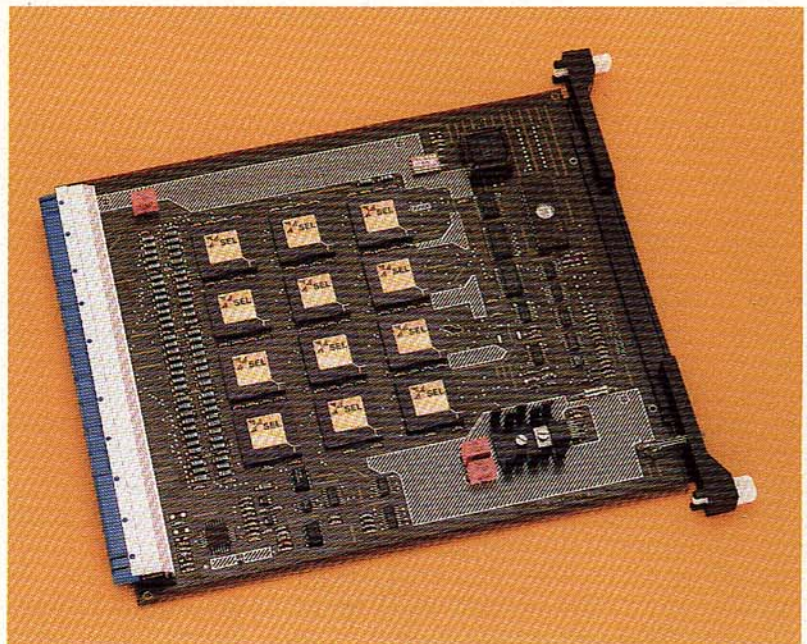
La figura 1 muestra varias técnicas de conmutación consideradas en este contexto. Las redes de conmutación de banda ancha SD/STD (división espacial/temporal síncrona) pueden realizarse hoy con poco esfuerzo merced a las tecnologías disponibles. Dan una calidad de servicio excelente, y son muy adecuadas para señales continuas, como las de voz, audio y vídeo.

Por otra parte, los sistemas ATD (división temporal asíncrona) son más flexibles para el transporte de señales de tipo "ráfaga", actualmente generadas por el reducido número de usuarios que requieren comunicaciones punto a multipunto. Sin embargo, las técnicas ATD no pueden garantizar la calidad de servicio exigida para señales continuas de banda ancha y servicios de datos en tiempo real, donde debe evitarse la pérdida de paquetes y la fluctuación de fase del retardo, y no es posible el control de flujo. Además, el mayor esfuerzo de fabricación en velocidades de proceso de señal altas requiere desarrollar nuevas tecnologías.

Entre estos dos enfoques es posible considerar varios sistemas híbridos que utilizan a la vez los principios STD y ATD. Una red de conmutación así combinará una alta calidad de servicio en el modo STD con la flexibilidad del modo ATD, y podría muy bien ofrecer una solución a largo plazo para la RICBA.

Según los planes de introducción, se dispone ya en laboratorio de una técnica de división espacial para redes de conmutación de banda ancha, que ofrece una solución económica a partir de la actual tecnología CMOS. La figura 2 muestra el concepto de una red de comunicación de banda ancha con conmutación por división en el

Placa de conmutador de grupo 64/64 que comprende una disposición en malla de tres etapas y el control por microprocesador.



espacio, sobre la base de una central Sistema 12. La mayoría de las funciones auxiliares, como administración de abonados, tratamiento de llamadas, tarificación, mantenimiento, etc., las prestan las facilidades de dicha central, lo que asegura una solución económica.

Este sistema, que podría ser el fundamento de un sistema híbrido, se ha descrito con detalle en otro lugar^{1,2}. Estará disponible a finales de 1988, aunque ya existen casi todos los componentes y subunidades que se utilizarán en la red de conmutación de banda ancha.

Componentes y subunidades

Matriz de conmutación

El principal componente es una matriz de conmutación en pastilla VLSI con 16 entradas y 16 salidas, más 16 entradas de extensión para conexión en tándem. Hace dos años se realizó una primera versión de esta pastilla en tecnología 2 μm CMOS y diseño

y memoria para almacenar el modo de operación de la matriz de conmutación.

Las características nuevas más importantes en la matriz 1,5 μm CMOS son la realización del equipo de pruebas integrado y la regeneración de señal para las 16 entradas de extensión. Mejorar la aptitud para pruebas de una red de conmutación es esencial para el mantenimiento eficaz de las centrales de banda ancha de hasta 10.000 líneas. Durante la operación normal, el generador y el receptor de prueba integrados pueden utilizarse para mediciones del error de bits en secciones de conmutación que no cursen tráfico, sin necesidad de un equipo externo de pruebas.

El número total de funciones de transistor es aproximadamente de 38.000 para una pastilla de unos 5,5 x 5,5 mm.

Conmutador de grupo

La red de conmutación consta de unos módulos especiales llamados conmutadores de grupo, cada uno de ellos con 64 entradas y 64 salidas. Al diseñar la

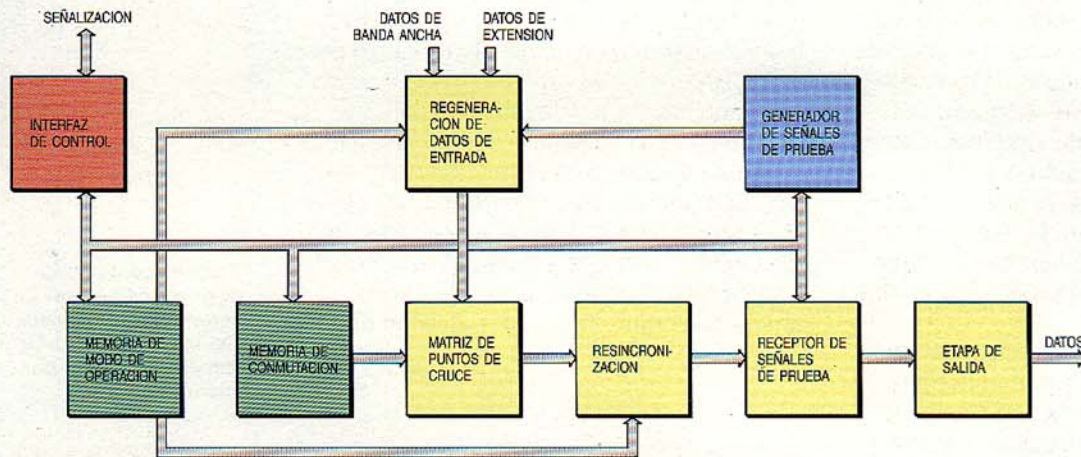


Figura 3 Diagrama de bloques de la matriz de conmutación en pastilla CMOS de 1,5 μm .

a medida. Está ahora en desarrollo una versión mejorada con longitud de canal de 1,5 μm cuyas primeras muestras saldrán en el segundo trimestre de 1988.

En la figura 3 se muestra un diagrama de bloques de la matriz de conmutación mejorada. La parte de alta velocidad de la pastilla contiene una matriz de conmutación con una estructura múltiplex de división en el espacio. Además, incorpora circuitos de resincronización y regeneración de señal, generador y receptor de señales de prueba, y una etapa de salida. En principio, la pastilla permite dos modos de operación: para operar en modo síncrono se conecta la regeneración de señal, que se pone fuera de circuito para el modo asíncrono. La parte de control consta de una unidad de interfaz

estructura de conmutación se consideraron diversas arquitecturas posibles.

Una estructura que siga el principio de Clos tiene la ventaja de no poder bloquearse, pero requiere matrices de conmutación asimétricas y matrices de diferentes tamaños³. Esto exigiría diversos tipos de pastilla o bien, si sólo se utilizase un tipo de matriz de 16 x 16, un mínimo de 22 pastillas para realizar un conmutador de grupo.

Este inconveniente se puede salvar adoptando una disposición de etapa única no bloqueable. Se requiere un solo tipo de pastilla de matriz de conmutación simétrica, y sólo 16 pastillas constituyen el conmutador de grupo. Sin embargo, el comportamiento en alta frecuencia de las interconexiones entre las pastillas puede crear con-

siderables problemas, ya que cada salida se ha de conectar a cuatro entradas.

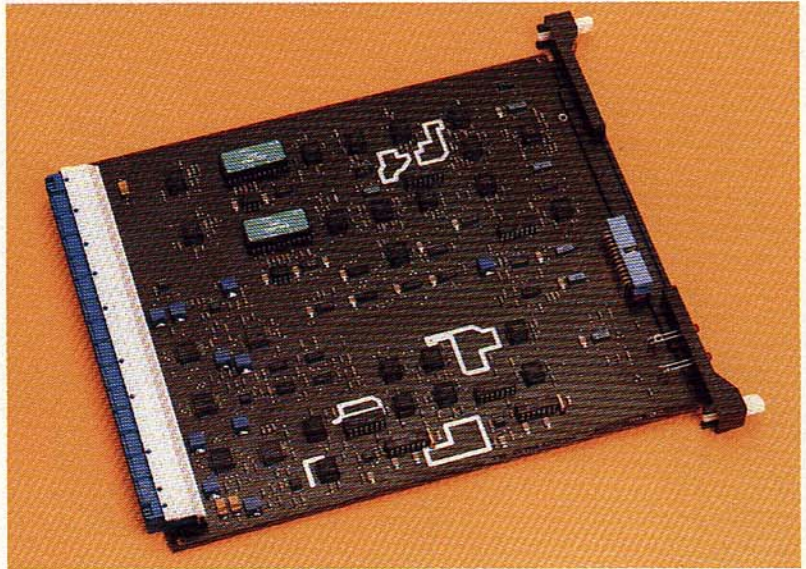
La solución escogida implica una estructura en malla de 3 etapas con 12 matrices de conmutación. En esta disposición, cada salida se conecta a una entrada solamente, por lo que no hay problemas de interconexión por las reflexiones o el factor de carga de salida. Otra ventaja es que se necesitan menos pastillas que para las anteriores alternativas, lo cual además minimiza la disipación de potencia. Sin embargo, esta estructura en malla tiene una probabilidad de bloqueo no nula, y por ello se han efectuado amplios análisis y simulaciones, aplicando varios algoritmos de búsqueda de camino, para investigar la probabilidad de bloqueo de este conmutador de grupo y de una red de conmutación completa, en todas las configuraciones y cargas de tráfico interesantes. En la figura 4 se muestran algunos resultados obtenidos para el conmutador de grupo. En la red de conmutación entera puede lograrse una probabilidad de bloqueo menor de 0,1%, para cargas de tráfico de hasta 0,165 Erlang por abonado.

Generación y distribución de señales de reloj

Cada central de banda ancha funciona como un sistema síncrono, con las señales de entrada y salida sincronizadas por una señal de reloj común. El actual módulo de reloj y tonos del Sistema 12 puede proporcionar dicha señal para la parte de banda estrecha de la central. Sin embargo, la parte de banda ancha requiere una señal de reloj de 140 MHz suministrada por un módulo nuevo especial para banda ancha, el cual, a partir de una señal de 8 MHz recibida del citado módulo de reloj y tonos, o bien de otra de 140 MHz procedente de una línea de enlace, genera la señal de 140 MHz.

La señal de reloj tiene una alta pureza de espectro para reducir las amplitudes de fluctuación de fase con frecuencia de modulación mayor de 1 Hz; esto se consigue mediante un factor Q de 10^3 en el circuito de extracción de señal de reloj. Un módulo completo de reloj en banda ancha consta de cuatro placas de circuito impreso diferentes.

La distribución de las señales de reloj de 140 MHz a los bastidores y cuadros de una central la realizan tres placas distintas, estructuradas jerárquicamente. La placa de distribución de reloj a los cuadros envía una señal de 140 MHz y otra de 154 MHz (para las placas multiplexoras de banda ancha); esta placa contiene un circuito de alineación de fase cuya tolerancia de fase es menor de 0,5 ns a 140 MHz. Los elementos esenciales de dicho circuito son un módulo activo



Placa de distribución de reloj para 14 x 140 MHz y 7 x 154 MHz.

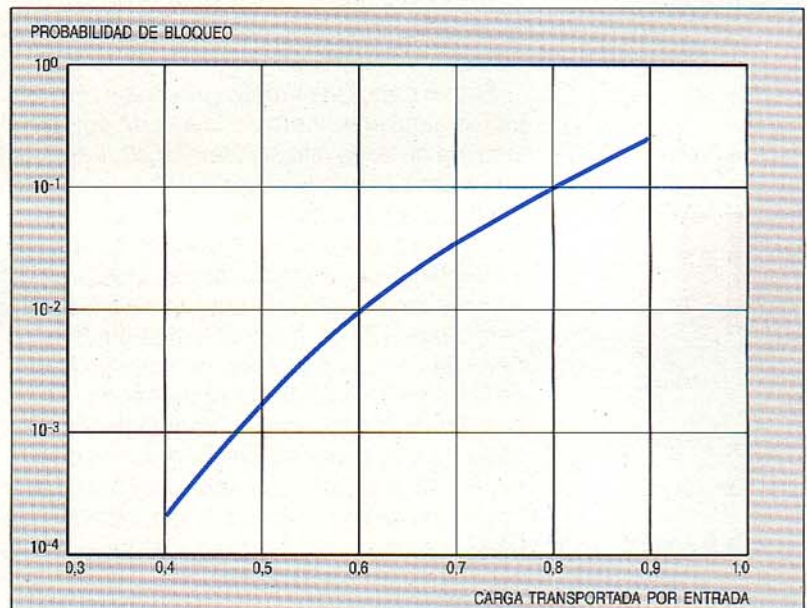


Figura 4
Prestaciones de tráfico del conmutador de grupo 64/64 calculadas mediante un algoritmo de búsqueda de caminos dependiente de la carga.

de línea de retardo con entradas digitales de control y un detector de fase digital.

Para asegurar una alta fiabilidad del sistema, el módulo de reloj para banda ancha y las placas de distribución están duplicados.

Práctica de equipos

Si se desean velocidades en torno a los 140 Mbit/s hay que mejorar la actual práctica de equipos del Sistema 12 en lo relativo a tecnología de placas y paneles posteriores. Es esencial minimizar la diafonía y las reflexiones para garantizar la alta calidad de señal requerida. Las reflexiones se pueden reducir fuertemente utilizando líneas impresas con impedancia característica definida, lo que requiere una tecnología de líneas de cinta. Todos los subsistemas de la central de

Tabla 1 — Parámetros de la tecnología de paneles posteriores y circuitos impresos

Dimensiones	220 x 250 mm	607 x 246 mm
Impedancia característica de microbandas y líneas de cinta	75 Ω	75 Ω
Anchura de conductores	120 μm (mínimo)	120 μm
Constante dieléctrica del material de la base	4,0	4,0
Multicapa	4 a 7 capas	6 a 11 capas
Distribución de alimentación	contactos especiales de alimentación	barras de distribución
Conectores	280 terminales y contactos de tierra especiales y apantallados	
Técnica SMD (dispositivos montados en superficie)	componentes activos y pasivos	

banda ancha emplean este tipo de líneas, realizadas con técnicas multicapa. Por ejemplo, el conmutador de grupo está dispuesto en siete capas con microbandas en las dos capas externas y líneas de cinta en las capas internas. A los paneles posteriores se les aplica la misma tecnología: el del conmutador de grupo se realiza en 10 capas.

El uso generalizado de circuitos VLSI incrementa el número de líneas de entrada y salida de cada placa. Además, las interconexiones entre los cuadros han de utilizar cables coaxiales para satisfacer las condiciones de transmisión de señales de alta velocidad. Por otro lado, resolver los problemas de diafonía que surgen a esas altas velocidades exige mejorar la distribución de la alimentación y tomas de tierra utilizada en las centrales Sistema 12 de banda estrecha. En consecuencia, se adopta un sistema de alta densidad de conexiones que tiene 280 terminales de señales y buenos contactos de alimentación y apantallado de tierra, así como una barra de distribución conectada al panel posterior.

Los parámetros relativos a la tecnología de placas y paneles posteriores impresos se resumen en la tabla 1.

Conclusiones

Una primera versión de la central de banda ancha se prueba en la red de Berlín a comienzos de 1988. Esta prueba de campo, denominada BERKOM, incluye la primera demostración de una central RDSI de banda ancha con técnica de conmutación de circuitos por división espacial. La central RDSI Sistema 12 se ha mejorado mediante redes

de conmutación de banda ancha para canales de 140 Mbit/s. El resultado es una central de banda ancha de buena relación coste/eficacia, preparada para la temprana introducción de comunicaciones en banda ancha.

Se tiene la intención de estudiar para un futuro menos cercano una central híbrida STD/ATD de banda ancha, más avanzada; está combinará las ventajas de ambas técnicas de conmutación, evitando los inconvenientes de cada una de ellas.

Agradecimiento

Este trabajo ha contado, en parte, con el apoyo del Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología.

Referencias

- 1 D. Boettle y H. W. Kreutzer: Technology Aspects for System 12 Broadband ISDN: *IEEE Journal on Selected Areas in Communications: Switching Systems for Broadband Networks*, octubre 1987, volumen SAC-5, n° 8, págs. 1242-1248.
- 2 D. Boettle y H. W. Kreutzer: Architektur und Eigenschaften einer Breitband-ISDN-Vermittlung: *Nachrichtentechnische Zeitschrift*, 1985, volumen 38, n° 77, págs. 456-461.
- 3 C. Clos: A Study of Nonblocking Switching Networks: *Bell System Technical Journal*, 1953, volumen 32, pág. 406.

Dietrich Boettle nació en 1945. Estudió ingeniería de comunicaciones en la Universidad de Stuttgart, donde se graduó ingeniero diplomado. Ingresó en SEL (Standard Elektrik Lorenz) en 1970, y trabajó en investigación y desarrollo de sistemas de transmisión y conmutación avanzados. Desde 1979 dirige proyectos sobre conmutación de banda ancha. Actualmente el Sr. Boettle dirige el departamento de técnicas de conmutación en el Centro de Investigación de SEL.

Thomas Dripke nació en 1956 en Offenbach/Main, Alemania. Estudió ingeniería de comunicaciones en la Universidad Técnica de Darmstadt, graduándose ingeniero diplomado en 1980. A continuación ingresó en SEL, donde trabaja en conmutación digital de banda ancha, incluyendo el desarrollo y la integración del BIGFON, un sistema experimental de comunicación en banda ancha para la Administración alemana. El Sr. Dripke dirige un laboratorio para realización e integración en sistema de los componentes de conmutación de banda ancha, en el Centro de Investigación de SEL.

Gert Eilenberger nació en 1953, en Leipzig. Estudió ingeniería de comunicaciones en la Universidad de Stuttgart, donde se graduó ingeniero diplomado en 1980. Pasó cinco años en el Instituto de Telecomunicaciones de la Universidad de Stuttgart, trabajando en módems digitales, y en 1985 obtuvo el doctorado. Ingresó luego en el Centro de Investigación de SEL, donde es responsable del diseño de conceptos para sistemas de conmutación avanzados y del diseño de componentes de conmutación integrados.

Sistema videotex Syntex 7000

El sistema de gestión de red Syntex 7000 puede implantarse en cualquier entorno de red de valor añadido: una red de videotex, un sistema de televisión por cable, o cualquier red de información/servicios que utilice técnicas de conmutación de paquetes.

J. Pirot

R. Vercammen

Bell Telephone Manufacturing Company,
Amberes, Bélgica

Introducción

El sistema de gestión de red Syntex 7000* proporciona a los usuarios que tiene adscritos un acceso prácticamente inmediato a ordenadores principales del mundo entero. Funciona en cualquier entorno en el que muchos usuarios requieran acceso a múltiples ordenadores públicos o privados. Las redes y sistemas de videotex son un ejemplo manifiesto; otros son los sistemas de TV por cable y las redes que utilizan la conmutación de paquetes.

El sistema consiste en un paquete de programación que se ejecuta en el ordenador del NMC (centro de gestión de red) y está compuesto por los programas del propio NMC y los programas necesarios para relacionarse con los usuarios y permitirles el acceso al índice y bases de datos del videotex, así como a un servicio de mensajería. La clave del funcionamiento de las redes constituidas en torno al Syntex 7000 es su configuración de "entradas distribuidas". Los múltiples puntos de acceso no sólo aceleran el acceso de usuarios a ordenadores principales, sino que facilitan el control y gestión de la red. Además, como la programación admite diversas normas internacionales, los usuarios pueden alcanzar ordenadores principales de otros países con diferentes protocolos de acceso y presentación.

Los usuarios acreditados tienen acceso al sistema desde cualquier localización, siempre que utilicen el mismo tipo de terminal que en su "domicilio" habitual.

El primer sistema Syntex 7000 fue implantado en la red pública de videotex de la Administración belga en marzo de 1986. Desde entonces se ha introducido en la red de información/servicios holandesa, en un proyecto para integrar videotex con la red de TV por cable en Zuid-Limburg, Países

Bajos, y en la red de videotex de los Ferrocarriles Belgas. También la Administración portuguesa ha elegido el Syntex 7000 para su red pública de videotex.

Las compañías de Alcatel poseen una notable especialización en el campo del videotex, y pueden ofrecer una gama muy completa de sistemas y equipos además del sistema Syntex 7000 de gestión de red.

Videotex público y privado

El Syntex 7000 representa la tercera generación de videotex. La primera generación, tipificada por los sistemas Prestel y Bildschirmtext en el Reino Unido y Alemania Occidental respectivamente, fueron principalmente sistemas de localización y recogida de información basados en un sistema central gestionado por las Administraciones. Solamente había un camino de acceso al ordenador central.

Los sistemas videotex de la segunda generación surgieron como ordenadores privados establecidos por empresas, formando de manera experimental redes de amplia cobertura. Todavía existía un ordenador central, pero disponía de un acceso de "puerta trasera" hacia otros ordenadores centrales. Las redes públicas de videotex pronto adoptaron este enfoque, como lo ilustra el sistema de *acceso distribuido* de la Administración francesa para su servicio Teletel. Sin embargo, estas redes no ofrecían funciones de valor añadido tales como la identificación y registro del usuario y la gestión física de la red.

La tercera generación de videotex combina la gestión centralizada con el procedimiento de acceso distribuido, y se caracteriza por el procedimiento mejorado de "entradas distribuidas" del Syntex 7000. Numerosos usuarios llegan a distintos ordenadores principales a través de múltiples puntos de acceso, utilizando la red

* Marca registrada del Grupo Alcatel.

telefónica pública conmutada y la red de datos con conmutación de paquetes nacional (y quizás la internacional).

No se han acordado todavía normas internacionales para servicios de videotex. Por ejemplo, los sistemas Teletel, Prestel y Bildschirmtext siguen difiriendo en formato, así como en presentación y protocolos de acceso (entrada). Debe recordarse que los protocolos de presentación definen cómo se presenta en pantalla una secuencia de octetos; así, en el Prestel, el código 41 se visualiza como la letra A, y la secuencia 16 + 41, como el color rojo. Los protocolos de entrada, por otra parte, definen la secuencia de octetos que transmiten órdenes y respuestas entre los puntos de acceso y los ordenadores principales. El Syntex 7000 adapta automáticamente el protocolo de presentación al protocolo de acceso utilizado, haciendo que un usuario acreditado acceda a cualquier ordenador principal sin más que pulsar algunas teclas.

De esta forma, el videotex ha pasado de ser un sistema centralizado de base de datos a un medio de comunicación uniforme y flexible. El Syntex 7000 ofrece también por su mismo principio servicios de valor añadido que facilitan la utilización de la red a usuarios, proveedores de servicios y a quienes explotan y gestionan dicha red. La idea no es adecuada únicamente para el videotex, sino también para el transporte de datos residentes en uno o más ordenado-

res a usuarios en múltiples emplazamientos.

El Syntex 7000 presta una serie de servicios de valor añadido mediante un ordenador del NMC que controla el acceso de los usuarios (procedimientos de registro y de acreditación) y los servicios (direcciones de red de proveedores de servicios, directorio de los servicios disponibles, procedimientos de facturación), la gestión física (supervisión del estado de puertos y placas) y una mensajería electrónica.

Elementos de la red

Tal y como se implantó en la red pública videotex de la Administración belga (Fig. 1), el centro NMC Syntex 7000 consta de una parte dedicada a comunicaciones y de una base de datos, en la que se incluye un fichero de usuarios, además de un índice de los servicios disponibles y una mensajería electrónica opcional.

El Syntex 7000 permite a los usuarios acceder no sólo al videotex público de la RTT belga sino también a los ordenadores privados de Bélgica y, a través de la RPDCP (red de datos conmutada por paquetes) internacional, a sistemas públicos y privados en otros países del mundo.

El nexo de unión de una red videotex con múltiples sistemas principales deben ser las actuales normas internacionales de

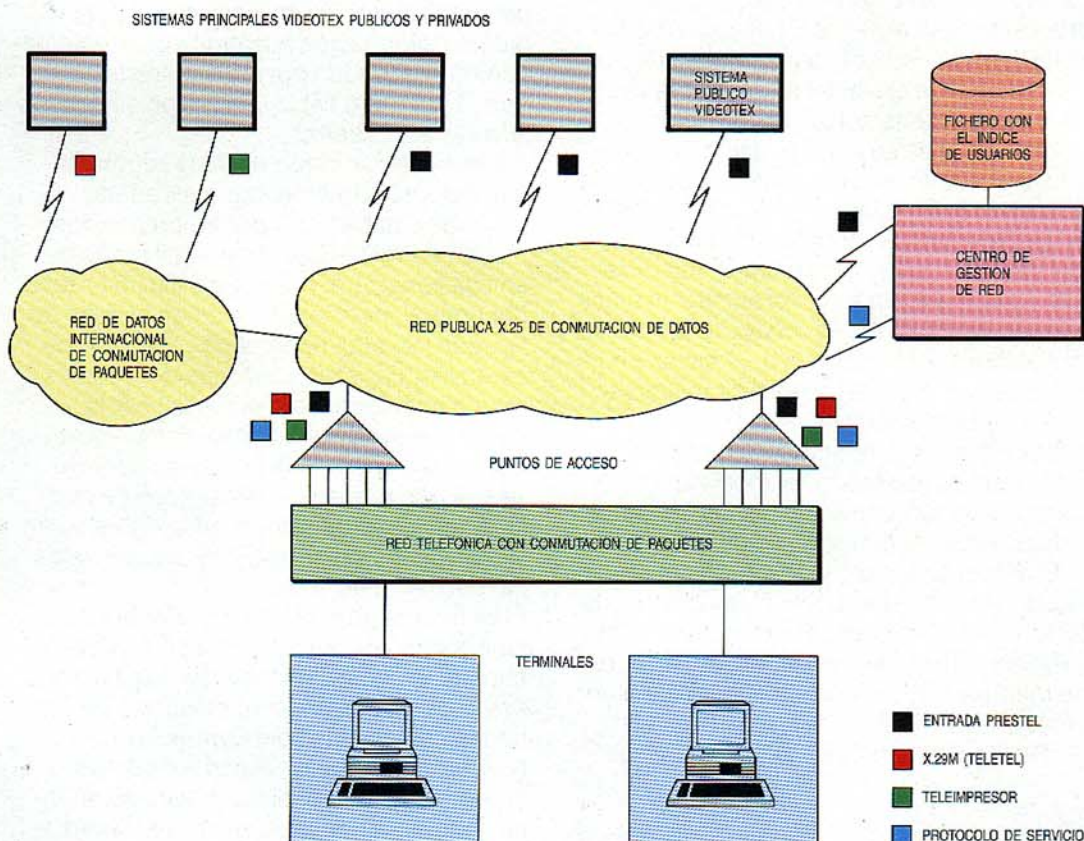


Figura 1
Disposición de una red videotex Syntex 7000.

comunicación, que incluyen la conmutación de paquetes X.25 y las capas superiores de videotex pertinentes. Estas capas superiores contienen los datos de videotex a presentar en el terminal del usuario, junto con las órdenes que se han de ejecutar cuando el usuario rellene datos en los campos que se le presenten en la pantalla (por ejemplo, protocolos de entrada del Prestel y del Teletel francés). Por ser ésta la estructura más viable para una red videotex de acceso público con múltiples sistemas principales, el Syntex 7000 fue diseñado con miras a su compatibilidad con dichas normas.

La red se compone de cuatro partes: puntos de acceso, red de datos con conmutación de paquetes, centro de gestión de red y ordenador principal videotex.

Puntos de acceso

Cada punto de acceso PA acepta llamadas entrantes, encaminadas desde terminales videotex que admitan una o varias normas de presentación, terminales convencionales (tales como el VT100, VT200), terminales de acceso público y ordenadores personales a través de la RTPC (red telefónica pública conmutada). Concentra así numerosas llamadas sobre un solo enlace a la RPDCP, y utiliza el protocolo adecuado para establecer conexión al servicio elegido por el usuario.

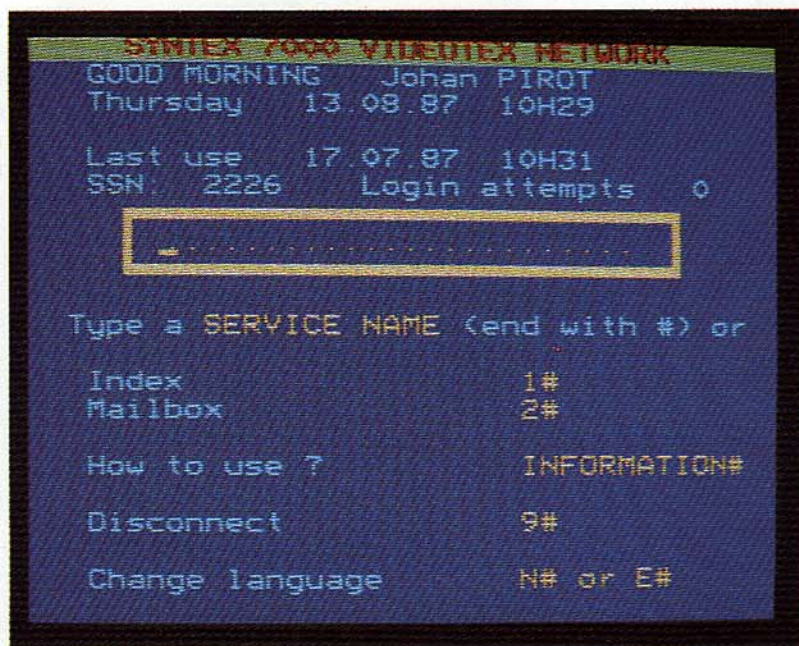
Red de datos con conmutación de paquetes

Todos los elementos de la red videotex se comunican a través de un servicio común con conmutación de paquetes público o privado. En el caso de la red videotex belga, dicho servicio lo da la RPDCP.

Centro de gestión de red

Este centro (NMC) es un miniordenador – o bien varios (de 2 a 16) en configuración colectiva – conectado a la RPDCP, que mantiene contacto permanente con cada PA. Controla la red de videotex, supervisa el tráfico, comprueba la identificación del usuario, proporciona un índice de los servicios disponibles y controla el acceso a los mismos, establece grupos cerrados de usuarios, y recoge la información de facturación.

Una vez establecida una conexión por el NMC Syntex 7000, éste no juega papel alguno en la comunicación usuario-sistema principal, lo cual supone una ventaja notable frente a los sistemas de acceso centralizado, en los que toda comunicación con los ordenadores principales de videotex privados se encamina a través del sistema central. Por tanto, la expansión de la red pública videotex es fácil y de reducido coste, sin exigir reconfiguraciones dado que:



- pueden añadirse fácilmente nuevos servicios en la base de datos
- se aumenta el número de puertos agregando nuevos PA
- la potencia puede incrementarse ampliando el miniordenador del sistema principal o añadiendo otros nuevos.

La ampliación es poco costosa, ya que es más económico añadir microprocesadores distribuidos y miniordenadores principales a un sistema Syntex 7000 que elevar la potencia de un sistema central.

Sistema principal videotex

El sistema principal puede ser cualquiera de los miniordenadores u ordenadores centrales públicos o privados que admitan uno de los protocolos de acceso.

Uso de la red

En una sesión usuario-sistema principal existen cuatro fases: identificación y registro, selección del servicio, interacción con el sistema y finalización. Las dos primeras fases son necesarias para la gestión y seguridad de la red, y es aquí donde los servicios de valor añadido ofrecen a los usuarios un acceso fácil y seguro a los sistemas principales.

El usuario llama al PA más próximo a través de la RTPC. En el NMC se validan su identificación y su contraseña: si el resultado es positivo, el NMC envía al PA información específica del usuario, tal como su idioma y las secuencias de conmutación del terminal (para cambiar de unas normas de presentación a otras), junto con un cuadro de acogida que saluda al nuevo usuario

Pantalla de identificación y registro que saluda al usuario en una conexión válida. Las seis líneas superiores se reservan para mensajes orientados a la comunicación (es decir, establecimiento de una conexión). El resto de la pantalla expone la configuración, en este caso la de selección de servicios para que el usuario elija un servicio particular o pida un índice de todos los servicios disponibles.

de la red. También le permite comprobar la hora de su anterior sesión, e indica todas las tentativas inválidas de acreditación a fin de detectar cualquiera intento ilegal de utilizar su identidad o contraseña.

El NMC presenta entonces el cuadro de selección de servicios, pudiendo el usuario solicitar conexión al servicio de índice general del videotex, o a un servicio específico. El centro comprueba que tal nombre de servicio existe y que su sintaxis es correcta, así como el derecho de acceso del usuario, su idioma y el modo de terminal requerido antes de transmitir el encaminamiento del servicio al PA, el cual establece la conexión usuario-sistema principal a través de la RPDCP.

El acceso a un servicio lo controla el centro de gestión de red y, si así se desea, el proveedor del servicio.

NMC: el servicio puede ser público (abierto a todos los usuarios abonados a la red pública de videotex) o restringido (sólo accesible para una lista de usuarios específicos que almacena el proveedor del servicio en la base de datos del NMC).

Proveedor del servicio: el servicio puede ser abierto (lo único que se comprueba es el acceso al NMC) o cerrado (identidad y contraseña del usuario específica para el servicio solicitado).

Establecida por el PA la conexión usuario-sistema principal, el usuario puede buscar páginas, recoger datos, hacer cálculos matemáticos, etcétera. Cuando termine una transacción con el sistema principal, puede sin desconectarse del PA seleccionar otra aplicación sobre el mismo u otro sistema.

Otras posibilidades

Facturación

Cada vez que se utiliza un servicio, el PA transmite una ficha de la llamada al NMC. Tras desconectarse el usuario de la RTPC, el PA transmite una ficha de la sesión, y el NMC recoge información sobre:

- tiempo de conexión a la RTPC
- tiempo de conexión a la RPDCP y volumen de datos transmitidos (número de segmentos de 64 octetos)
- información de la duración y el coste de conexión de cada servicio accesible a través de una entrada Prestel, cuando lo solicite el proveedor del servicio.

Cobro revertido

Existen dos clases de cobro revertido. La primera consiste en revertir los costes de

comunicación (por equipo telefónico, duración de la sesión, duración de la llamada, volumen transmitido). Así, por ejemplo, una empresa puede pagar el coste de las llamadas que reciba de sus vendedores. En la segunda se revierten las tasas de trama y las tasas por tiempo de conexión de servicios. La puesta a cero de estos parámetros permite al proveedor ofrecer un servicio gratuito, como sucedería en la consulta de horarios de ferrocarriles.

Servicio de mensajería

El servicio de mensajería es una facilidad opcional que permite a los usuarios enviar mensajes multipágina en formato libre a uno o más destinos. Contiene tres listas:

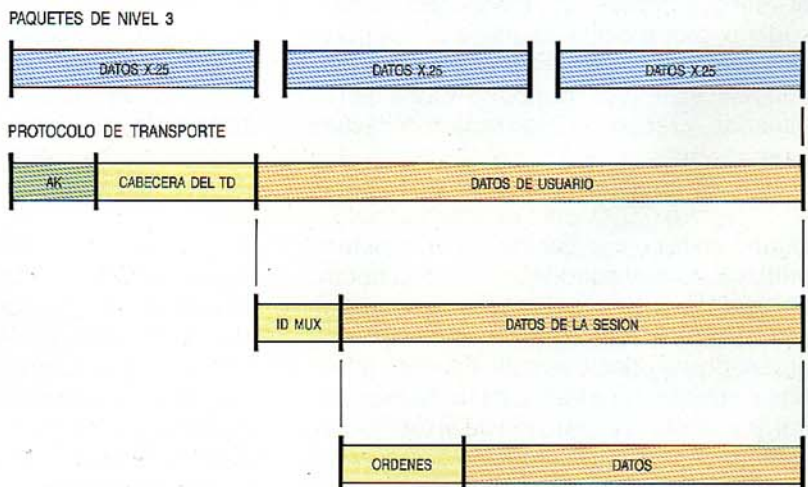
- correo saliente, con todos los mensajes enviados a otros usuarios
- correo entrante, con todos los mensajes recibidos de otros usuarios
- notas, utilizadas para almacenar mensajes enviados y recibidos, o para preparar mensajes que se enviarán después.

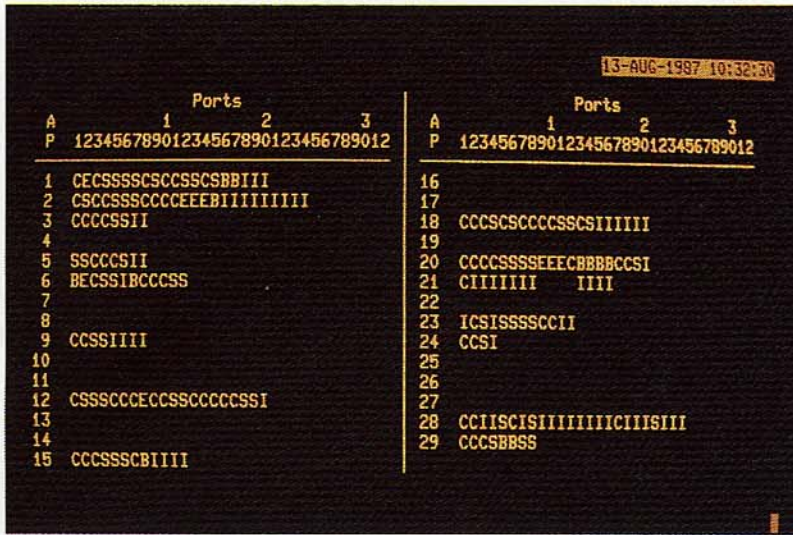
Operación y gestión del Syntax 7000

Control del operador

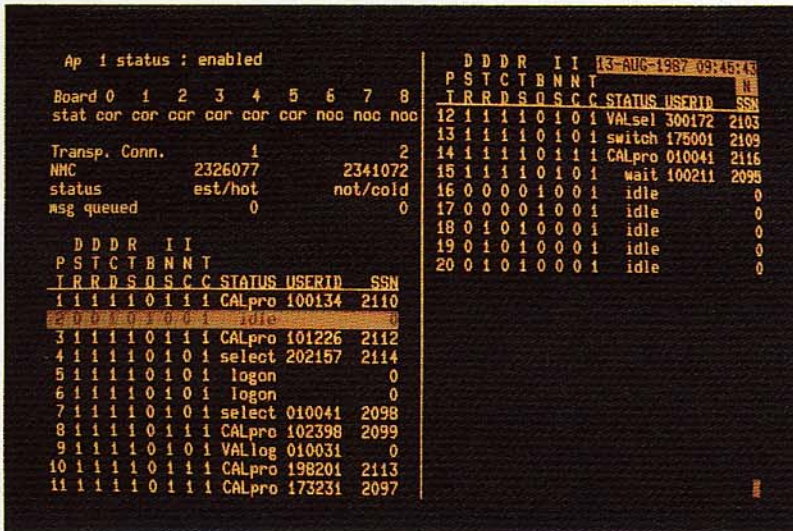
Los programas de interfaz del operador de red del NMC posibilitan el supervisar los PA y recopilar estadísticas de los mismos. Una *herramienta supervisora de PA* permite al operador de la red observar el estado de dichos puntos - ya sea de la estructura general de la red o de uno de ellos en particular -, incluyendo el estado de las placas y puertos individuales. La herramienta de toma de estadísticas de los PA recoge información de tráfico sobre los puertos conectados y el tráfico X.25, así como también información específica sobre cada puerto, incluyendo número de sesiones, fallos de las comunicaciones, temporizaciones de

Figura 2
Empaquetado de los datos de transporte y del protocolo de capa superior en paquetes X.25.
AK - acuse de recibo
ID - identificación
TD - transporte de datos.





Supervisión del estado de un PA dentro de la estructura general de la red, que será uno de los siguientes: libre (I), activo en sesión (S), activo en llamada (C), ocupado (B), o en error (E). La pantalla muestra el estado de todos los puertos en todos los PA.



Observación del estado de un punto de acceso específico. Cualquier placa tendrá estado COR (correcto), ERR (en fallo) o NOC (no existe tal placa). La pantalla muestra las señales V.24 del módem, si un puerto está ocupado, si se ha marcado al usuario o se le ha conectado con un servicio, y la conexión de transporte utilizada por el puerto. También indica el estado del puerto, la identificación del usuario, y el número de la sesión.

los terminales y número de paquetes recibidos y transmitidos. Los datos estadísticos recibidos de los PA sirven para compilar los informes de la red.

Gestión de los servicios de valor añadido
 En un fichero de la base de datos del NMC se recoge información relativa a la identificación de cada usuario, estado de la facturación y derechos de acceso a los servicios. Un fichero similar contiene información sobre los proveedores de servicios: sus direcciones de red, protocolos de acceso, idioma, tipo de terminal y coste de los servicios. Solamente el personal de gestión del sistema puede alterar estos ficheros.

Fiabilidad

Para proteger el sistema Syntax 7000 contra las consecuencias de un fallo se siguen

dos métodos. El primero de ellos, un protocolo de transporte basado en las normas ECMA-72 y CCITT X.224, protege la conexión del NMC al punto PA, asegurando la entrega correcta de los datos pese a los fallos de la red. El PA y el NMC se comunican a través de un *circuito virtual conmutado de servicio* permanente, establecido por el NMC, que se utiliza para intercambiar los datos de control de la llamada, información de órdenes y de control, y mensajes de alarma. El empaquetado de los datos de transporte y protocolos de nivel superior (capa más alta del videotex) en paquetes X.25 se muestra en la figura 2. El interfaz de transporte tiene las siguientes propiedades:

- resiste a las pérdidas de datos por la red (indicadas por una reiniciación según X.25) y a cortes de la conexión de red
- permite la transferencia progresiva del control desde un ordenador a otro del centro NMC
- aplica el tratamiento adecuado a los fallos del NMC.

El segundo método asegura la continua operatividad del NMC, verdadero corazón de la red. Para protegerlo contra el fallo, puede utilizarse una configuración grupal con copia de seguridad de todos los discos y controladores de disco esenciales. El NMC transfiere automáticamente el control de un PA desde una máquina en fallo a otra activa sin ninguna degradación funcional apreciable.

Estas medidas de fiabilidad permiten afrontar cualquier fallo (que no sea de carácter físico en el PA), como los fallos de nodos y otros problemas de la red X.25, la reiniciación de un PA (p. ej., tras un corte de alimentación) y un fallo de ordenador. En el caso de que el sistema no ejerza acción automáticamente - como en los fallos de modems o de puertos, en los PA o en problemas internos del NMC -, se notifica inmediatamente la anomalía al operador de la red.

Otras aplicaciones del Syntax 7000

Además de la red videotex pública de la Administración belga, el sistema Syntax 7000 se ha utilizado en varias otras aplicaciones, dos de las cuales se describen seguidamente.

Syntax 7000 para los Ferrocarriles Belgas
 La configuración de equipo es la misma que la de la red videotex belga, pero con funcionalidad reducida. Dado que la compañía ferroviaria posee su propia red telefónica y de datos con conmutación de paquetes, en

la primera etapa se requiere poca seguridad y se prescinde de la identificación y registro, presentando el índice de servicios inmediatamente. Además, como el número de servicios de esta configuración es limitado, todos los datos necesarios para el establecimiento de llamadas se almacenan localmente en el PA.

Se utiliza una versión abreviada del Syntex 7000, limitada a la parte que trata de la gestión física y control de los PA: carga de nuevas versiones de programación, almacenamiento de mensajes y de datos de la llamada requeridos para el X.25 y los protocolos, activación/desactivación de modems, supervisión y estadísticas.

Sistema Syntex 7000 para la red de servicios de información de la Administración holandesa

Esta aplicación usa la misma configuración de equipo que la red videotex belga. Es una red de datos de valor añadido que combina algunas propiedades de dicha red videotex y de la red de los Ferrocarriles Belgas. Al marcar el usuario un PA, se le presenta un índice de los servicios a los que el público puede acceder. Los datos de encaminamiento para estos servicios están almacenados en el PA, lo que permite establecer la conexión sin la intervención del NMC. Para los restantes servicios, la identificación y registro es igual que en la red de la RTT belga.

La red de conmutación de paquetes realiza una serie de comprobaciones de acceso. Los PA utilizan líneas X.25 de configuración especial; puede haber diferentes equipos ETD (equipo terminal de datos) llamantes. El ETD llamante define al expedidor de una llamada en la red X.25; el PA incluye el número de ese ETD en la petición de la llamada, y la red de datos X.25 com-

prueba que el usuario tiene autorización para acceder al ETD llamado (el destinatario de una llamada).

Otra diferencia con la red videotex de la RTT es que la transferencia de datos en X.25 se factura por la red de paquetes X.25, mientras que los costes de duración de la sesión se facturan por la red telefónica. La capacidad de facturación del NMC se puede extender para generar los informes detallados de facturación de un usuario o de un servicio básico.

Conclusiones

El sistema Syntex 7000 se diseñó para desempeñar las funciones de gestión de red en una red pública de videotex. Puede además utilizarse como elemento clave en una red de valor añadido, ofreciendo servicios tales como control de acceso y facturación. En consecuencia, el centro de gestión de red NMC ha encontrado otras aplicaciones, como las redes de datos de valor añadido y las de televisión por cable.

J. Pirot nació en Vilvoorde, Bélgica, en 1958. Se graduó ingeniero civil en mecánica y electrónica en 1981 en la Universidad Católica de Lovaina. Trabajó durante dos años como ingeniero de sistemas en redes de área local en Alcatel Bell, y luego entró en el equipo de videotex como miembro del grupo de desarrollo del Syntex 7000. Actualmente es ingeniero de proyecto y consultor para la red de videotex.

R. Vercammen nació en Amberes, Bélgica, en 1961. Se graduó en el Instituto Superior de Economía de aquella ciudad, y obtuvo una titulación en marketing en 1984. Se incorporó entonces a la división de sistemas de información de Alcatel Bell, donde trabajó en redes de área local y sistemas Unix. Desde 1985 trabaja con el equipo de videotex, en el que es responsable de los servicios de marketing y de clientes.

NOVELINK: pequeña centralita multiuso

NOVELINK es una pequeña PABX diseñada específicamente para prestar una amplia gama de facilidades útiles a las pequeñas empresas en una sola unidad de instalación, uso y mantenimiento sencillos. El diseño permite conseguir la mayoría de las facilidades mediante programación, asegurando una gran flexibilidad en atender las exigencias de diferentes usuarios.

R. A. Steinberg

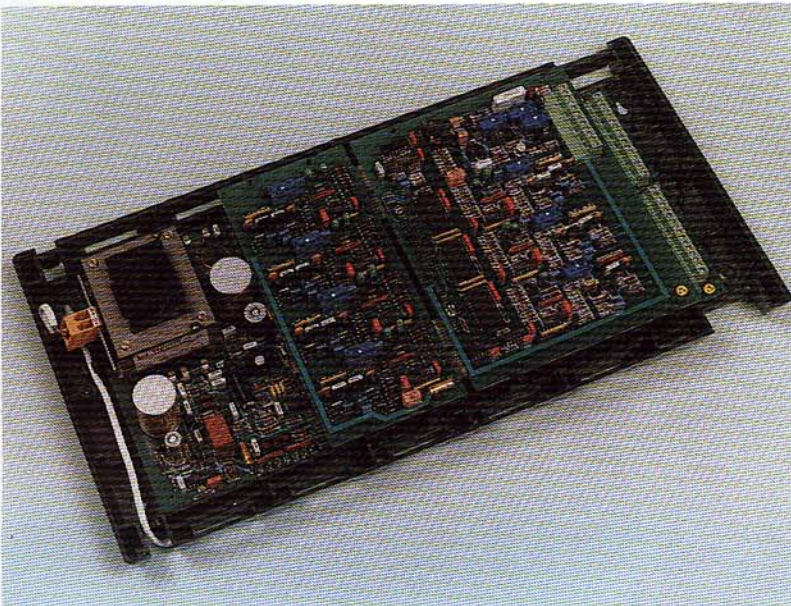
Alcatel Nederland BV, Gravenhage,
Países Bajos

Introducción

NOVELINK* es una pequeña PABX con capacidad máxima de nueve extensiones telefónicas, tres enlaces y cuatro circuitos de cordón. A pesar de su tamaño, ofrece una amplia gama de características y facilidades que suelen asociarse con sistemas mayores, incluyendo la repetición del último número marcado y la numeración abreviada. Otra importante ventaja unida a su poco volumen es la sencillez con que se instala, se configura según las necesidades del cliente y se mantiene, cualidades ideales para empresas pequeñas.

Al diseñar una PABX de este tipo es importante reconocer que las pequeñas empresas presentan características y exigencias de comunicaciones específicas a las que deben adaptarse los equipos. Además, el diseño debe ser adecuado para instalar en esta clase de dependencias.

NOVELINK, una PABX multiuso diseñada específicamente para satisfacer necesidades de pequeñas empresas y departamentos de empresas mayores.



El segmento de mercado para estos sistemas abarca desde compañías de una sola persona hasta las que poseen un elevado número de pequeñas oficinas. En principio, las necesidades de telecomunicaciones de ambos tipos de empresas son idénticas, aunque las mayores pueden tener exigencias adicionales.

Seguidamente se enumeran algunas de tales características y exigencias:

- presupuesto limitado para equipos de telecomunicación
- carencia de un lugar específico para albergar los equipos
- tiempo limitado disponible para capacitarse en operación y mantenimiento del sistema
- frecuente ubicación en pequeños edificios
- posibilidad de establecer contacto con el propietario fuera de horas de trabajo
- servicio de operadora demasiado costoso
- ausencia de personal de servicio o de mantenimiento.

Estos y otros muchos requisitos que el equipo ha de cumplir se estudiaron cuidadosamente antes de iniciar el desarrollo, a fin de determinar las exigencias que han de preverse en el diseño para poder ofrecer tales servicios. Se llegó a la conclusión de que:

- la mayoría de los teléfonos podrían conectarse por una línea de corta longitud
- sería deseable que al menos una línea se utilizara para una distancia mayor
- el equipo debería ser silencioso, compacto, discreto y sencillo de instalar

* Marca registrada de las compañías del Grupo Alcatel

- el equipo debería programarse fácilmente según las necesidades concretas del cliente
- los servicios habrían de ser de fácil utilización.

Aunque algunos de estos objetivos sean también aplicables a grandes sistemas, en el caso de pequeñas PABX debe cuidarse especialmente la realización, combinación y optimización de estas exigencias, pues en gran medida determinan si es preferible proporcionar ciertas facilidades mediante programación o mediante circuitos físicos, y también afectan a la elección de la práctica de equipos.

Por ejemplo, en el caso del equipo físico, una línea de corta longitud puede controlarse mediante un sencillo circuito de interfaz que no requiere mucha potencia y ocupa poco espacio en la placa de circuito impreso. Además, para que el equipo sea silencioso, deberá utilizar el menor número posible de relés. En cuanto a la programación, es esencial que las facilidades se establezcan de una manera cómoda. Cuando el equipo se ha de adaptar a muchos países diferentes, es importante minimizar los cambios en circuitos para aprovechar las economías de fabricar en grandes cantidades.

Unos circuitos flexibles pueden ayudar a resolver muchos de estos problemas. La flexibilidad requiere sobredimensionar la capacidad de conmutación del equipo de forma que, en un principio, la mayoría de adaptaciones de facilidades puedan realizarse por programación. También es muy importante la práctica de equipos en lo que respecta a la comodidad de instalación y a la apariencia física del sistema, que a menudo se instalará en la propia oficina.

Consideraciones generales de diseño

Antes de iniciar el diseño detallado había que tomar una decisión global respecto a la tecnología a utilizar. Se ofrecían tres posibilidades básicas: relés convencionales, conmutadores de semiconductores, y tecnología digital. La tecnología digital todavía es demasiado cara para sistemas pequeños, por lo que se optó por combinar conmutadores electrónicos con relés, sin olvidar que el uso de relés debería ser mínimo para asegurar un funcionamiento silencioso. Por su flexibilidad, pequeño tamaño y bajo consumo se eligieron puntos de cruce electrónicos de estado sólido, que además requieren menor número de salidas del microprocesador y trabajan en silencio.

Con el fin de limitar el número de códigos necesarios para iniciar las facilidades ofreci-

das por la PABX, debería poderse conectar aparatos telefónicos con o sin botón de tierra. No obstante, se aceptó que los teléfonos desprovistos de tal botón únicamente ofrecerían facilidades limitadas, salvo que el usuario eligiera la opción de utilizar las "ráfagas" de gancho conmutador en lugar del botón de puesta a tierra.

Una consideración adicional fue si debería admitirse la conexión de aparatos con señalización multifrecuencia (MF). Por varias razones, entre ellas la velocidad y la facilidad de uso, se decidió incluir medios

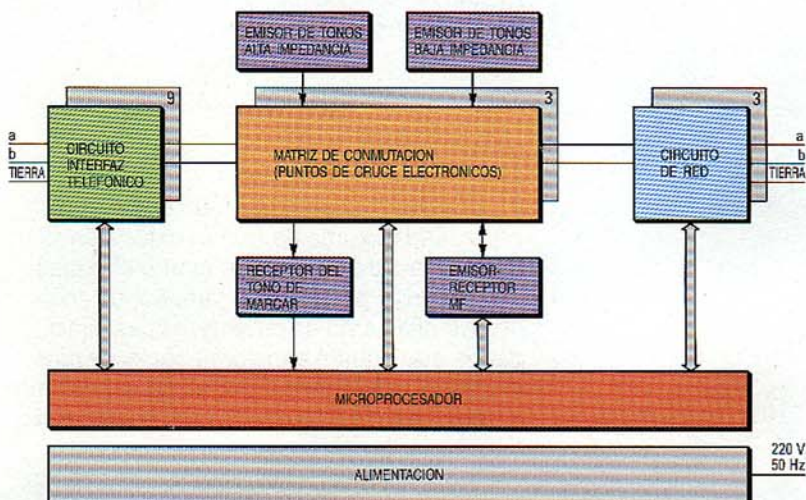


Figura 1
Diagrama de bloques
de la PABX multiuso
Novelink.

para conectar dicho tipo de aparatos. En un sistema totalmente equipado se dispone de hasta tres receptores MF, lo que ofrece la posibilidad de utilizar aparatos de esa señalización únicamente. En consecuencia, el sistema debe poder renovar y traducir a impulsos la información de marcación procedente de aparatos multifrecuencia.

Facilidades

El sistema NOVELINK ofrece una amplia gama de facilidades. Los aparatos telefónicos necesitan un botón de tierra para acceder a algunas de ellas, aunque la opción de señalar con "ráfagas del gancho" proporciona una alternativa al botón de tierra. Los servicios básicos a disposición del usuario son los de información, transferencia y conferencia.

Además de estos servicios básicos, dentro de la PABX se ha incorporado un elevado número de otras facilidades, las más importantes de las cuales son llamada automática, repetición del último número marcado, captación de llamada, conmutador día/noche, numeración abreviada, protección de las llamadas de datos, y servicio "sígame".

Rellamada automática: marcando el código 5, una extensión interna que está ocupada o no contesta, recibirá automáticamente nueva llamada cuando el usuario de la misma finalice su conversación o indique su regreso a la oficina levantando el micrófono. Esta facilidad puede utilizarse también cuando están ocupados todos los enlaces. Tan pronto como uno de ellos se libera, el sistema establece automáticamente una conexión entre ese enlace y la extensión que solicitó la facilidad.

Repetición del último número marcado: el sistema recuerda el último número marcado desde cada extensión. Marcando el 6, el sistema vuelve a llamar a ese número y supervisa automáticamente los tonos de marcar del propio sistema y de la red pública de conmutación.

Captación de llamada: toda llamada interna o externa que llega a un teléfono puede ser atendida desde cualquier otro teléfono conectado al sistema.

Conmutador día/noche: el sistema puede ser programado para servicio diurno y nocturno, con una sencilla conmutación entre las dos configuraciones.

Numeración abreviada: el sistema permite hasta 100 códigos de numeración abreviada a los que pueden acceder todas las extensiones. Además, cada extensión puede tener hasta 10 códigos abreviados personales.

Protección de una llamada de datos: puede establecerse una llamada de datos de tal manera que ningún tono de aviso la perturbe a lo largo del periodo de conexión.

Servicio "sígame": las llamadas entrantes pueden ser reencaminadas a cualquier otro teléfono conectado al sistema.

Además de estos servicios para el usuario, el sistema ofrece varias otras importantes facilidades. Así, puede configurarse mediante programación según las necesidades específicas de cada empresa, de modo que cada extensión tenga acceso a diferentes servicios de la red pública (p. ej., que una extensión sólo esté autorizada a realizar llamadas locales). Para impedir el acceso no autorizado a la programación del sistema puede introducirse una contraseña. Todas las llamadas internas y externas están a salvo de intrusiones.

Con el fin de facilitar todo lo posible el uso del sistema, se provee una serie de tonos internos: tono de marcar, tono de ocupado, tono de llamada, tono de congestión, tono de aviso de llamada entrante, señal de reconocimiento tras la programación del sistema, tono de llamada en conferencia, tono de no disponible si no tiene

aparato telefónico la extensión llamada, y tono especial de marcar si se ha solicitado la opción "sígame". Existen también tres cadencias de señal de llamada para llamadas externas, internas y rellamadas automáticas.

En el caso de fallo de la red de energía tres teléfonos se conectan directamente a los tres enlaces unidos a la central pública.

Un interfaz de extensión puede controlar conexiones de hasta 5 km de longitud, posibilitando la conexión de un teléfono distante, que no necesita estar ubicado en el mismo edificio que el sistema.

El sistema funciona tanto con señalización MF como por aperturas de bucle, y puede traducir señales MF a impulsos de marcación si la central telefónica así lo exige. Como cada enlace con la central se puede preparar para trabajar con señalización de uno u otro tipo, la PABX será utilizable con aparatos telefónicos convencionales junto con otros de multifrecuencia.

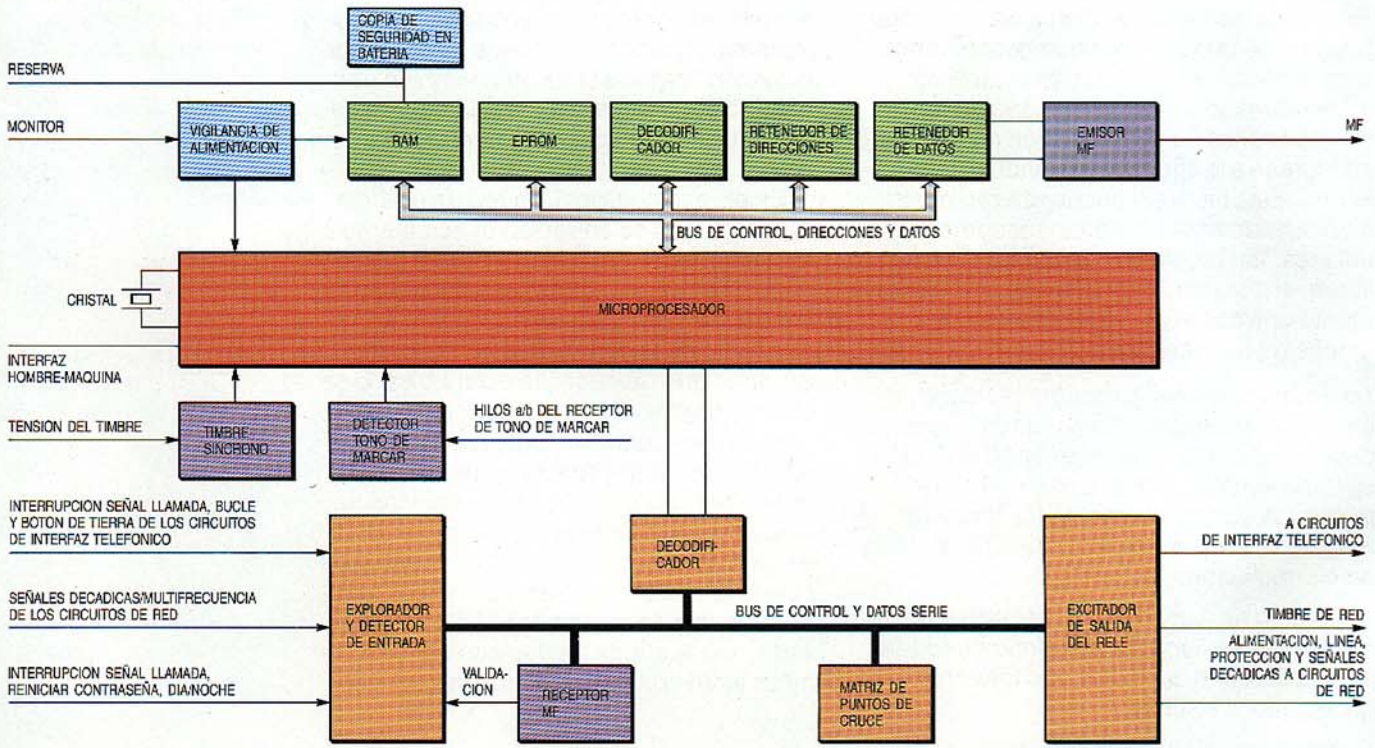
Diseño del equipo físico

Como se muestra en la figura 1, el NOVELINK está formado por nueve bloques funcionales básicos, realizados en cuatro placas de circuito impreso. Las dos placas de un sistema 2/6 (dos enlaces y seis extensiones) contienen el microprocesador, parte de la matriz de conmutación, los interfaces telefónicos, y los emisores/receptores MF. La placa para la ampliación 1/3 (un enlace y tres extensiones) incluye una ampliación de la matriz de conmutación y un receptor MF adicional. La cuarta placa es la unidad de alimentación.

Microprocesador

El microprocesador, un Intel 8052 (Fig. 2), está conectado a través de un bus de control serie a los receptores MF incluidas sus señales de validación, a los puntos de cruce electrónicos, al circuito de interrupción de la señal de llamada, a los circuitos de interfaz telefónico, al timbre de la red, al conmutador para reiniciar la contraseña, y al conmutador de estado día/noche. Se conecta también al mismo bus serie de control y de datos un circuito integrado excitador de relés.

Un bus paralelo de control, direcciones y datos se utiliza para las memorias RAM y ROM, y para el emisor MF. En la memoria RAM se almacenan los datos variables, y en el circuito retenedor de datos los números destinados al emisor MF. Los datos almacenados en la RAM quedan salvaguardados por medio de una copia de seguridad en batería. También se conectan directamente al microprocesador, como indica la figura 2,



un circuito de vigilancia, un circuito de detección del tono de marcar, y un circuito de sincronización de timbre.

Para la programación y mantenimiento del sistema se incluye un sencillo interfaz hombre-máquina. Se pueden intercambiar datos con el sistema mediante un ordenador personal.

Conmutador de punto de cruce electrónico
La PABX utiliza como puntos de cruce circuitos LSI a medida, diseñados originalmente para la familia de PABX UNIMAT*. Aunque la elección de puntos de cruce electrónicos complica los circuitos de interfaz, simplifica

* Marca registrada de las compañías del Grupo Alcatel

Figura 2
Diagrama de bloques del sistema de control por microprocesador de la PABX Novelink.

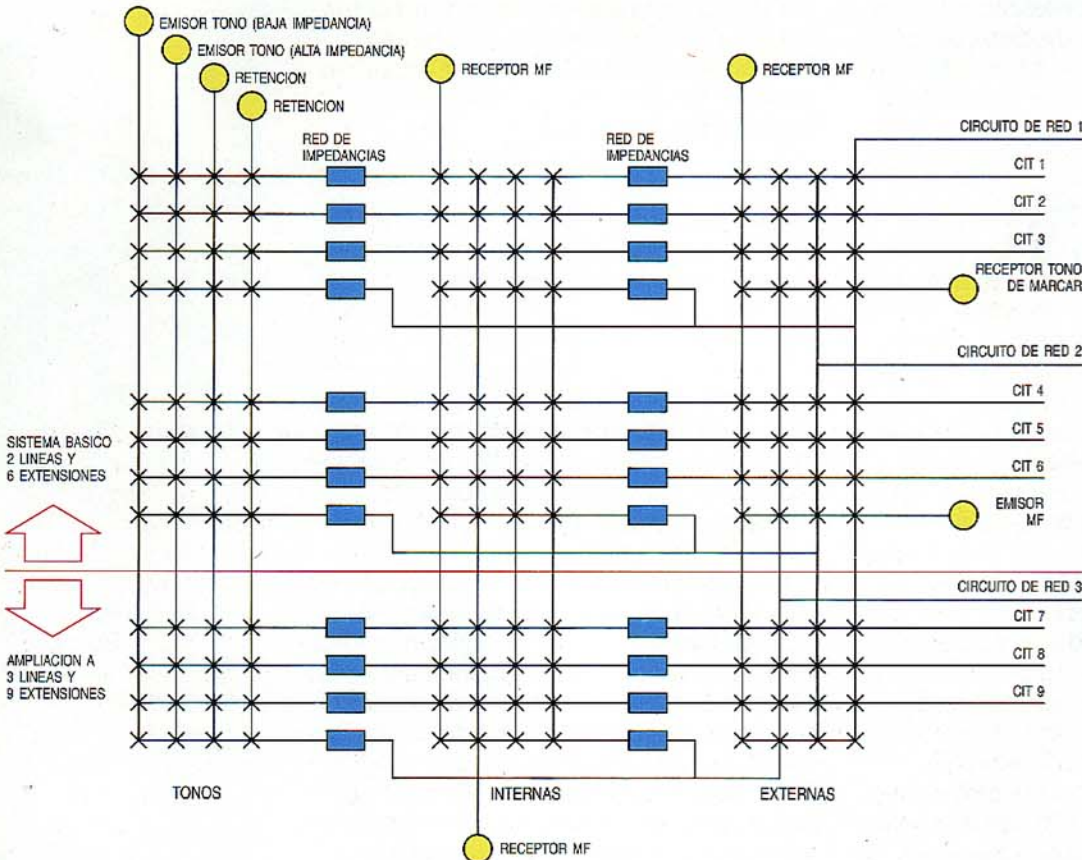


Figura 3
Diagrama de la matriz de conmutación de Novelink.
CIT - circuito de interfaz telefónico.

no obstante la realización de las facilidades del sistema mediante programación. El estado de los puntos de cruce lo controla el microprocesador. La utilización de un registro de desplazamiento en el que se escriben los datos en serie implica que sólo un número limitado de salidas controlan los circuitos de conmutación. En un sistema plenamente equipado existen nueve puntos de cruce electrónicos 4 x 4 (Fig. 3). La primera columna de tres conmutadores 4 x 4 se utiliza para los emisores de tonos y los circuitos de retención. Para asegurar el nivel correcto de señal, las horizontales de esta columna están conectadas a la segunda columna de conmutadores mediante sencillas redes de adaptación de impedancias. Esta columna de conmutado-

programa. En el caso de una llamada a información, el enlace se conecta al circuito de retención.

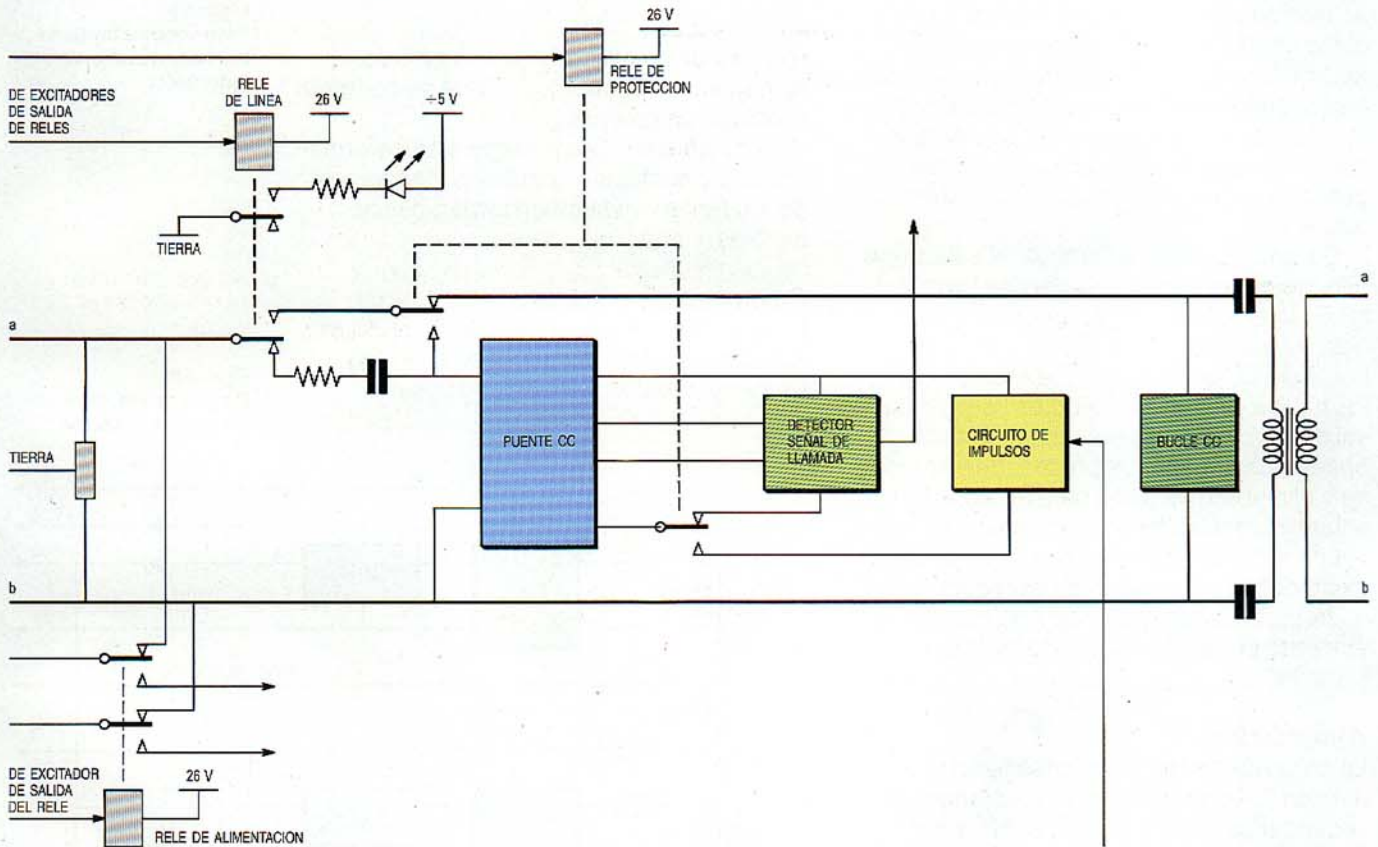
Puede establecerse una llamada en conferencia entre tres extensiones internas, o entre dos extensiones y un llamante externo.

Circuito de red

El circuito de red (Fig. 4) consta fundamentalmente de un adaptador que iguala la impedancia con la de la línea externa, un detector de corriente de llamada, un circuito de impulsos, un bucle de CC y un transformador. Está también equipado con relés de fallo de alimentación, de línea y de protección.

En caso de fallo de los +20 V, +5 V, +24 V, -24 V, +26 V, -48 V, tensión de la

Figura 4
Diagrama del circuito de red para el enlace 1.



res sirve para establecer las llamadas internas. Dos de las verticales se utilizan para conectar el receptor MF.

La última columna de conmutadores se emplea para conectar los circuitos de interfaz telefónico, el emisor MF y el detector del tono de marcar. Las dos últimas columnas de conmutadores se interconectan por medio de una red de resistencias para proporcionar la impedancia correcta: por ejemplo, en el caso de una llamada en conferencia.

La exploración de las líneas telefónicas se consigue por conmutación a los correspondientes puntos de cruce bajo control del

señal de llamada, o del suministro de +220 V CA, las matrices de puntos de cruce se puentean mediante un enlace físico que automáticamente conecta los aparatos telefónicos asociados con los circuitos 11, 14 y 17 con los enlaces 1, 2 y 3 respectivamente.

Un acoplador óptico aísla la corriente de llamada del microprocesador. Además se equipan otros dos conmutadores; uno notifica al microprocesador si el enlace está preparado para señalización por impulsos o por MF, mientras que el otro indica si el enlace está conectado o no a la línea con la central pública.

Los tres relés tienen las siguientes funciones:

- los relés de línea se utilizan para conmutar desde la recepción de llamadas entrantes a la situación de conversación, y además como relés de impulsos
- los relés de protección cortocircuitan el circuito de conversación
- los relés de fallo de alimentación cortocircuitan la matriz de conmutación entera en el caso de fallo del suministro y conectan un teléfono directamente al enlace de la central pública.

Circuito de interfaz telefónico

El sistema está equipado con dos tipos de circuito telefónico (Fig. 5). El circuito básico 2/6 contiene un interfaz capaz de alimentar un teléfono a distancias de hasta 5 km, y cinco interfaces para distancias de hasta 250 m. En la placa de expansión se equipan tres circuitos telefónicos y un enlace suplementarios. Todos los circuitos de interfaz telefónico son simétricos y suministran potencia suficiente para cubrir la distancia requerida.

Durante la señal de llamada, el estado del gancho conmutador lo supervisa un detector de interrupción de la señal de llamada. El descuelgue del microteléfono cierra el bucle de CC en el aparato telefónico entre los hilos a y b, produciendo un cambio en la salida del circuito de detección de bucle, observada por el microprocesador. Además se vigila el hilo de tierra para detectar la actuación del botón correspondiente.

Los relés son accionados por un circuito excitador que está también bajo control del microprocesador, haciendo que sea fácil el suministrar las tres cadencias de la señal de llamada.

Alimentación

La alimentación (Fig. 6) consiste en una tensión CA primaria y cinco tensiones CA secundarias que se utilizan para formar cinco tensiones CC y una tensión CA de señal de llamada simétrica, superpuesta a la tensión CC para la línea de larga distancia:

- +5 V para los circuitos lógicos
- +20 V para los relés
- -24 V y -48 V para la alimentación de línea por los circuitos de conversación
- +24 V para los puntos de cruce.

El funcionamiento de la alimentación lo supervisan varios circuitos, y tres diodos LED indican la presencia o no de las tensiones. Si una de las tensiones falla, el microprocesador se desconecta automática-

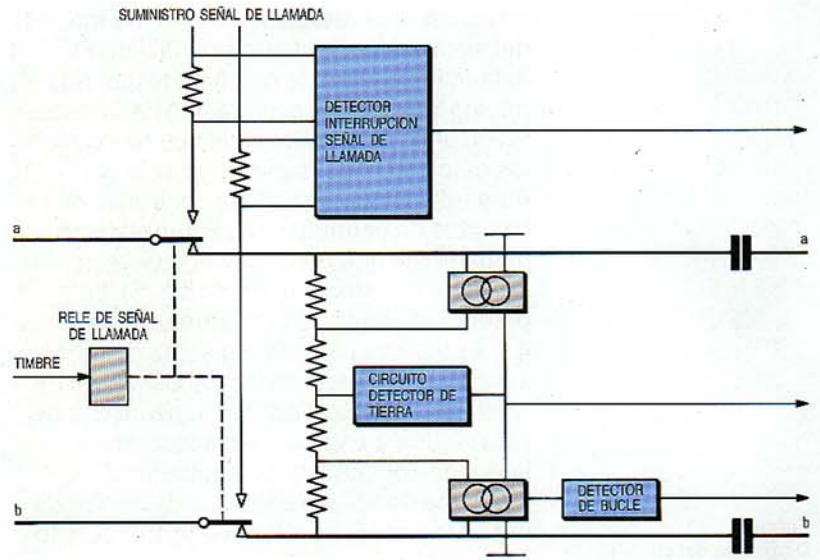


Figura 5
Diagrama de bloques del circuito de una extensión.

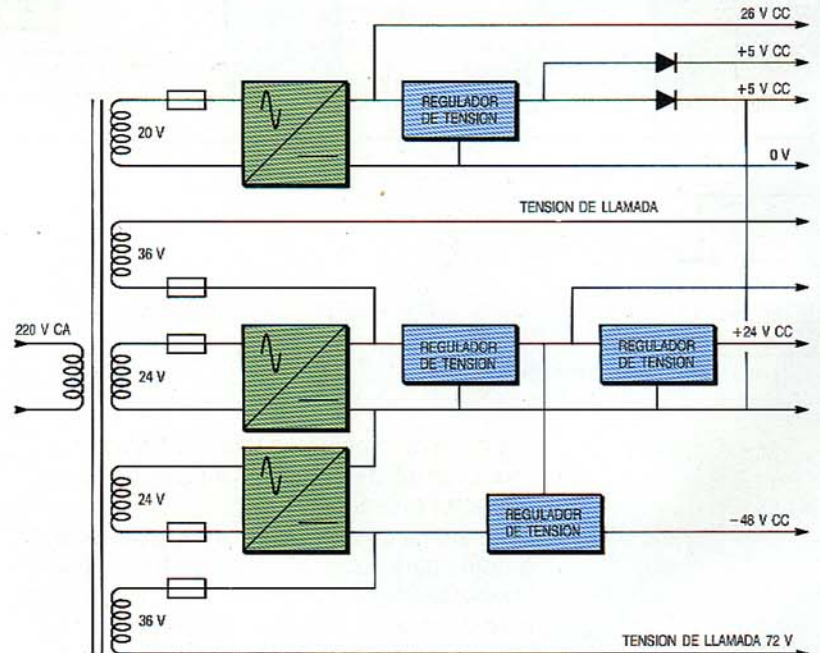
mente y desactiva los relés de fallo de alimentación. La memoria RAM se conmuta al estado de reserva.

Un fusible térmico protege el transformador de alimentación, y todas las tensiones secundarias van también protegidas por fusibles.

Programas del sistema

El conjunto de programas (Fig. 7) realizan varias tareas bajo el control de MIRTOS (*minimum real-time operating system*,

Figura 6
Diagrama del suministro de alimentación.



sistema operativo mínimo en tiempo real). Los módulos básicos de programación consisten en una rutina de tratamiento de interrupciones del temporizador que gobierna funciones dependientes del tiempo, y varias rutinas soporte que controlan funciones independientes del tiempo. Se invoca a las rutinas soporte en caso de necesitarse para la tarea; su activación obedece a la interrupción.

Se pueden tratar las siguientes funciones:

- La detección de bucle, la de interrupción de señal de llamada y la de tierra, controladas por una rutina que también trata la disponibilidad y la señalización de un enlace a central pública, así como los estados de la palabra de contraseña, del conmutador día/noche, y de la señal de validación del receptor MF.
- La detección de llamadas, que controla la recepción de llamadas entrantes en todos los enlaces conectados.
- La detección del tono de marcar, que trata la detección de tonos de marcar en los enlaces conectados.
- La función de receptor MF, que detecta los dígitos recibidos, activados por la señal de validación.
- Las cadencias de la señal de llamada, organizadas de acuerdo con el tipo de llamada.
- El control de la información de marcación, que atiende a los emisores MF, al envío de los impulsos de marcación y de línea ocupada, y a la actuación de los relés de protección.
- El control de los tonos, que proporciona el tono correcto accionando los puntos de cruce al ritmo exigido.
- El control de los puntos de cruce, que gobierna la actuación de los mismos para tonos, conexiones, receptores y emisores.
- El interfaz hombre-máquina, que controla la salida hacia un ordenador personal a través de un puerto serie.

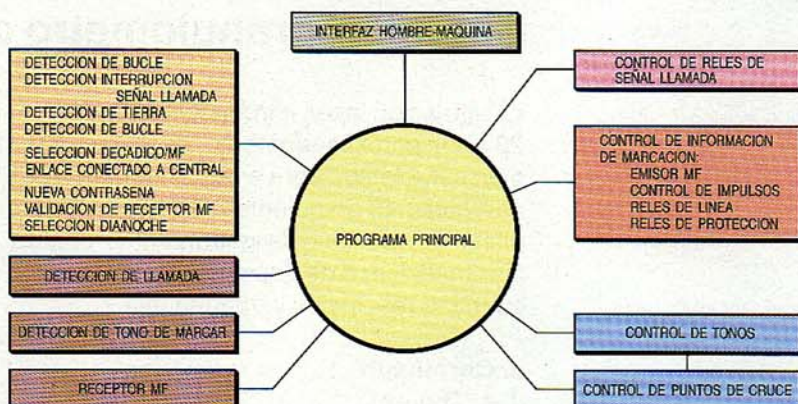


Figura 7
Estructura de los programas de la PABX multiuso Novelink.

Una parte de operación telefónica se ocupa de la detección y actuación de todos los interfaces, memorias, etc., en apoyo de las funciones telefónicas y las facilidades ofrecidas.

Conclusiones

El desarrollo del sistema NOVELINK ha dado lugar a una PABX multiuso compacta, que cumple perfectamente los requisitos de las pequeñas empresas. Ha superado ya prolongadas pruebas de campo y se encuentra ahora en la fase de producción. Tanto las pruebas como el servicio prestado en una serie de empresas desde su lanzamiento, han demostrado el logro de los objetivos de diseño y la importancia del sistema como elemento que satisface las necesidades de telecomunicación de dicho tipo de empresas.

P. A. Steinberg nació en Oisterwiger, Países Bajos, en 1946. Estudió en la Universidad de Tecnología de Eindhoven, graduándose en 1970. Tras completar su servicio militar ingresó en ITT, siendo entonces enviado por tres años a BTM, Amberes, para trabajar en el desarrollo de sistemas de conmutación. De nuevo en Países Bajos, continuó trabajando en el campo de la conmutación y participó también en cierto número de proyectos militares. En 1977 el Sr. Steinberg fue nombrado director de la línea de productos de equipos de voz de usuarios finales en Alcatel Nederland (entonces ITT Netherlands), donde es ahora también responsable de los equipos de conmutación pública.

Submicrogranulómetro de alta resolución

La difracción láser, introducida hace 20 años aproximadamente, es un método bien establecido para analizar tamaños de partículas. El granulómetro HR 850, el último de una serie de instrumentos, supera las limitaciones de equipos anteriores en cuanto a resolución y margen útil.

J. Cornillault

J.-L. Duvent

F. Pierré

CILAS Alcatel, Marcoussis, Francia

J.-C. de Miscal

Laboratoires de Marcoussis, Marcoussis, Francia

Introducción

La granulometría o técnica de medición del tamaño y distribución de las partículas de polvo, tiene importancia en procesos industriales como los del cemento, cerámicas, productos farmacéuticos y químicos, cosméticos, pinturas y pigmentos. Los métodos clásicos como la criba y la sedimentación son adecuados solamente para partículas grandes o bien consumen mucho tiempo. Los métodos más recientes incluyen el recuento por impulsos eléctricos o por medios ópticos y la sedimentación por rayos X, cada uno con sus particulares ventajas e inconvenientes.

El primer granulómetro industrial que utilizaba la difracción producida por láser fue presentado en 1972 por CILAS (Compagnie Industrielle des Lasers), aportando

notables mejoras en cuanto a rapidez y manejo, sin necesitar calibración alguna. El interés de la granulometría va en aumento y tiende a centrarse en el análisis de partículas muy finas, de dimensión inferior a una micra, para las cuales ninguno de los actuales métodos de medición, ni siquiera el equipo original de difracción por láser, es satisfactorio.

Para superar estas limitaciones, CILAS Alcatel ha introducido el HR 850, el cual presenta una serie de características mejoradas, entre ellas un amplio margen de medición que abarca desde 0,1 a 600 μm dividido en tres submárgenes (0,1 a 60, 1 a 200 y 50 a 600 μm), y una alta resolución (50 poblaciones medidas en el submargen 1, 40 en el submargen 2 y 20 en el submargen 3).

Para conseguir estas características, hubo que solucionar muchos problemas teóricos y tecnológicos, siendo los principales aquellos vinculados a la alta resolución requerida y a la factibilidad de hacer mediciones en partículas de dimensión inferior a la micra. En realidad, ambos problemas guardan estrecha relación pues los cálculos teóricos basados en la teoría de Mie no bastan para determinar el tamaño de partículas por debajo de 1 μm , sino que deben ser complementados por nuevos métodos matemáticos que permiten mayor resolución.

Principios básicos de los cálculos

En una muestra de polvo compuesto de partículas de diferentes tamaños, capaces de ser aisladas unas de otras dentro del

Granulómetro CILAS
HR 850.



medio que las envuelve, la luz sufre difracción en cada una de ellas. Los ángulos a los cuales la luz se difracta (es decir, la distribución angular de la luz) dependen solamente del grosor de la partícula. Por consiguiente, un análisis de la figura de difracción completa, suma de todas las contribuciones individuales, podrá dar la distribución de tamaños de las partículas. Por la teoría de Fraunhofer, utilizada en los analizadores granulométricos por láser, se obtiene la distribución angular de la luz difractada o su distribución espacial en el plano focal de una lente.

Si consideramos una partícula de diámetro d , la intensidad esparcida en la dirección angular u está dada por:

$$i_{d,u} = k_1 \left[\pi \frac{d^2}{4} \right]^2 \left[\frac{2J_1(k_2 d u)}{k_2 d u} \right]^2 \quad (1)$$

donde

k_1 — constante

$k_2 = \pi \lambda^{-1}$

λ — longitud de onda

$J_1(k_2 d u)$ es una función de Bessel.

Cuando las medidas se hacen en el plano focal, se verifica que $u = \text{sen arc tan } (r/f)$, donde r es la distancia desde el eje y f es la distancia focal.

La ecuación (1) se puede utilizar para calcular la cantidad de energía difractada contenida en un círculo de radio S_0 , que viene dada por

$$I_{d,S_0} = \int_0^{2\pi} \int_0^{S_0} i_{d,S} S dS d\theta \quad (2)$$

ó

$$I_{d,S_0} = \int_0^{2\pi} \int_0^{S_0} k_1 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^2 \left[\frac{2J_1(k_2 d S)}{k_2 d S} \right]^2 S dS d\theta$$

Si $I_{d,0}$ es el flujo total difractado por la partícula, la cantidad relativa de energía contenida en ese círculo S_0 será:

$$T_{d,S_0} = \frac{I_{d,S_0}}{I_{d,0}} \quad (3)$$

Como resultado de las propiedades de las funciones de Bessel, la ecuación (3) se puede expresar de forma muy simple por:

$$T_{d,S_0} = 1 - J_0^2(k_2 d S_0) - J_1^2(k_2 d S_0) \quad (4)$$

Aproximadamente el 84% de la energía está dentro del primer anillo de oscuridad obtenido para el primer cero de $J_1(k_2 d u)$ (es decir, para $k_2 d u = 3,83$).

Otro importante valor es el punto donde $T_{d,S_0} = 0,5$, el cual corresponde a $k_2 d u = 1,68$. Además, puede comprobarse que la energía relativa comprendida en el

círculo varía linealmente alrededor de ese punto. Por ejemplo, aproximadamente el 60% de esta energía se halla en la región anular comprendida entre los círculos correspondientes a: $k_2 d u = 0,88$ y $k_2 d u = 2,48$.

Para medir la distribución granulométrica de las partículas en una muestra de polvo (el número o peso de las partículas de cada tamaño), hay que tomar mediciones fotométricas en diferentes partes de la figura de difracción total. Si los diámetros medios de las diferentes clases de granos son $d_1, \dots, d_i, \dots, d_n, \dots$, las mediciones se realizarán en las direcciones u , siendo $u_i = 1,68/(k_2 d_i)$. El flujo total que recibe cada detector es la suma de las contribuciones elementales producidas por todas las partículas que difractan la luz láser.

Si $\mathbf{P}(\mathbf{J})$ son las poblaciones desconocidas de las diferentes clases granulométricas, $\mathbf{A}(\mathbf{I}, \mathbf{J})$ serán los coeficientes que determinan la contribución relativa de cada partícula en cada región anular, calculados como anteriormente.

Las medidas fotoeléctricas $\mathbf{E}(\mathbf{I})$ están relacionadas con las poblaciones mediante una ecuación matricial:

$$\mathbf{E} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{P} \quad (5)$$

Esta relación proporciona el valor de las poblaciones invirtiendo la matriz \mathbf{A} :

$$\mathbf{P} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{E} \quad (6)$$

La sencilla expresión anterior sólo es válida cuando el número de mediciones sea igual al número de clases granulométricas (en pequeños grosores es imposible determinar el tamaño preciso de las partículas). Su forma general es:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{E} \quad (7)$$

Medidas de partículas submicrométricas

La teoría de difracción de Fraunhofer, utilizada en los cálculos, solamente tiene en cuenta la distribución angular de luz. Todos estos cálculos parten del supuesto de que la luz incidente sobre las partículas constituye una onda plana susceptible de ser dividida en ondas individuales de acuerdo con el principio de Huygens*. Para que ello sea cierto, el tamaño de la partícula ha de ser claramente superior a la longitud de

* El principio de Huygens indica que cualquier punto del frente de onda se puede considerar como una nueva fuente puntual cuya amplitud y fase son las de la vibración producida en ese punto por la fuente original.

onda de la luz difractada, pues si fuera de similar magnitud la teoría de Fraunhofer no sería válida.

Mie ha realizado un completo y riguroso estudio del esparcimiento de la luz por una esfera de tamaño arbitrario basado en la teoría de Maxwell, fundamento de toda teoría en óptica^{1,2,3}. En el punto *P*, las intensidades de la luz esparcida $I(\theta)$ e $I(\phi)$ están relacionadas con dos componentes polarizados ortogonalmente de los campos, E_r y E_s , tales que:

$$E_s = H_r = \frac{\exp(-jkd)}{jkd} E_{os} S_1(\theta) \quad (8)$$

$$E_r = -H_s = \frac{\exp(-jkd)}{jkd} E_{or} S_2(\theta) \quad (9)$$

donde $k = \pi m \lambda^{-1}$;

m es el índice de refracción relativo de la esfera, que puede ser real o complejo. Las funciones amplitud $S_1(\theta)$ y $S_2(\theta)$ proporcionan la figura de esparcimiento. Sus expresiones son:

$$S_1(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n \pi_n(\cos \theta) + b_n \gamma_n(\cos \theta)] \quad (10)$$

$$S_2(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n \gamma_n(\cos \theta) + b_n \pi_n(\cos \theta)] \quad (11)$$

Los coeficientes de esparcimiento a y b vienen dados por:

$$a_n = \frac{\beta_n(\alpha) \beta'_n(\mu) - m \beta_n(\mu) \beta'_n(\alpha)}{\delta_n(\alpha) \beta'_n(\mu) - m \beta_n(\mu) \delta'_n(\alpha)} \quad (12)$$

$$b_n = \frac{m \beta_n(\alpha) \beta'_n(\mu) - \beta_n(\mu) \beta'_n(\alpha)}{m \delta_n(\alpha) \beta'_n(\mu) - \beta_n(\mu) \delta'_n(\alpha)} \quad (13)$$

con los dos parámetros de tamaño:

$$\alpha = \frac{\pi d}{\lambda} = k_2 d, \quad \mu = m \alpha$$

y las funciones de Ricatti-Bessel:

$$\beta_n(z) = \sqrt{\frac{\mu z}{2}} J_{n+1/2}(z)$$

$$\delta_n(z) = \beta_n(z) + i \sigma_n(z)$$

$$\sigma_n(z) = (-1)^n \sqrt{\frac{\pi z}{2}} J_{-n-1/2}(z)$$

Los coeficientes angulares π y γ , que son funciones de Legendre, se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$\pi_n(\cos \theta) = \frac{d P_n(\cos \theta)}{d \cos \theta} \quad (14)$$

$$\gamma_n(\cos \theta) = \cos \theta \pi_n(\cos \theta) - \sin \theta \frac{d \pi_n(\cos \theta)}{d \cos \theta} \quad (15)$$

Estos cálculos distan mucho de tener la sencillez de los de la teoría de Fraunhofer.

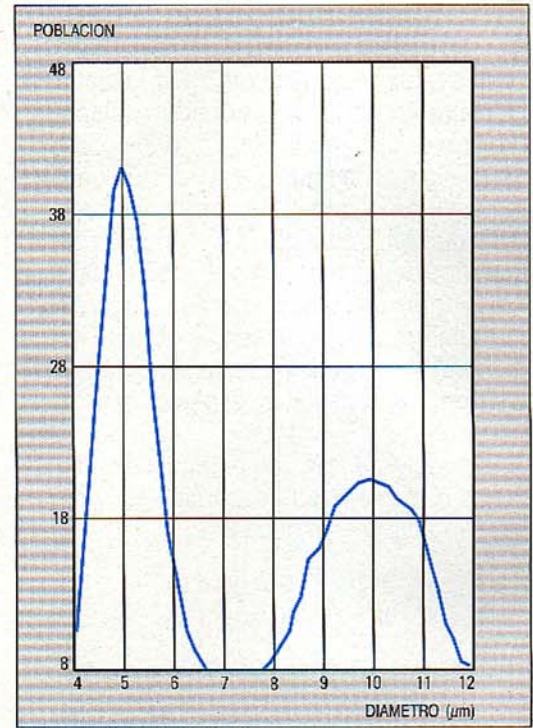


Figura 1
Medidas obtenidas en bolas de látex con diámetros entre 5,2 y 9,8 μm.

Se han propuesto ya algoritmos^{4,5,6} para computar las funciones de Legendre y los coeficientes de esparcimiento de las amplitudes $S_1(\theta)$ y $S_2(\theta)$, permitiendo que esta compleja teoría pueda aplicarse. Numerosos cálculos han demostrado que la figura de esparcimiento completa y la intensidad esparcida hacia adelante dependen fuertemente del índice de refracción de las partículas, y que una determinación granulométrica exacta por debajo de 1 μm requiere conocer el índice de refracción.

Para las partículas industriales, generalmente no esféricas, la teoría de Mie no debe considerarse enteramente rigurosa; se obtienen mejores resultados cuando se introduce un índice de absorción (parte imaginaria del índice de refracción), incluso para partículas no absorbentes.

Alta resolución

Con el tipo de algoritmos utilizados para los cálculos, la resolución no puede aumentar indefinidamente. Cuando el número de mediciones y el número de clases granulométricas son demasiado grandes, la matriz de coeficientes $A(I, J)$ llega a estar mal condicionada y se hace difícil de invertir a causa de las leyes de la difracción y de la

dimensión finita del campo observado. Esto es inevitable.

Se ha demostrado por abundantes cálculos que el método clásico de inversión pierde validez cuando la anchura de cada clase granulométrica es menor que el 67% del diámetro medio de la clase. Esto corresponde exactamente a una progresión geométrica de razón igual a 2. Por ese motivo, los cálculos realizados por el analizador granulométrico de mejor resolución CILAS 715, se han dividido en dos series que se combinan seguidamente.

Por ejemplo, al examinar la matriz correspondiente a clases granulométricas en progresión geométrica de razón $\sqrt{2}$ se aprecia que todavía es una matriz diagonal; la matriz inversa sin embargo ya no es diagonal. Aunque ésta constituya una buena solución matemática, no tiene sentido físico porque una misma medición no puede a la vez ser la más significativa para las partículas más pequeñas y para las más grandes.

En consecuencia, no puede utilizarse un método de inversión sencillo si se quiere aumentar el número de clases granulométricas; en su lugar hay que adoptar un método de resolución extrema con restricciones. Tal método suprime los efectos de los autovalores débiles de la matriz $\mathbf{A}^{7,8,9}$. La inversión matricial se reemplaza por un cálculo del mínimo de la expresión:

$$\mathbf{e} = |\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} - \mathbf{E}|^2 + |\mathbf{R} \cdot \mathbf{P}|^2 \quad (16)$$

El mínimo de $|\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} - \mathbf{E}|^2$ corresponde a resolver la ecuación (5) por el método de los mínimos cuadrados, mientras que reducir al mínimo $|\mathbf{R} \cdot \mathbf{P}|^2$ implica un alisamiento de los resultados. \mathbf{R} es un operador que da las derivadas segundas de \mathbf{P} .

Haciendo mínimo \mathbf{e} se obtiene la expresión:

$$(\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{A} + \mathbf{R}^t \cdot \mathbf{R}) \mathbf{P} - \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (17)$$

que también se puede expresar:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{A} + \mathbf{R}^t \cdot \mathbf{R})^{-1} \cdot \mathbf{A}^t \cdot \mathbf{E} \quad (18)$$

Asimismo se verifica que:

$$\mathbf{P} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{E} \quad (19)$$

donde \mathbf{F} es la matriz de filtrado. Comparando las ecuaciones (18) y (19) se tiene:

$$\mathbf{F} = (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{A} + \mathbf{R}^t \cdot \mathbf{R})^{-1} (\mathbf{A}^t \cdot \mathbf{A}) \quad (20)$$

Un análisis de la matriz \mathbf{F} revela que se ha modificado la fase del resultado \mathbf{P} , y ello es consecuencia del método de mínimos cuadrados.

Si \mathbf{R} es una matriz nula, no hay alisamiento. Además, si el valor de \mathbf{R} es alto, el resultado está totalmente alisado y ya no

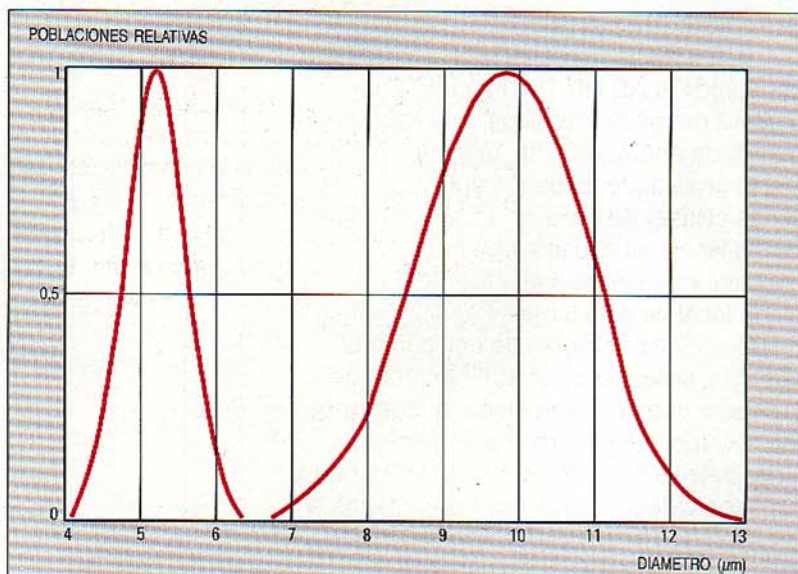


Figura 2
Distribuciones teóricas correspondientes a las bolas de látex.

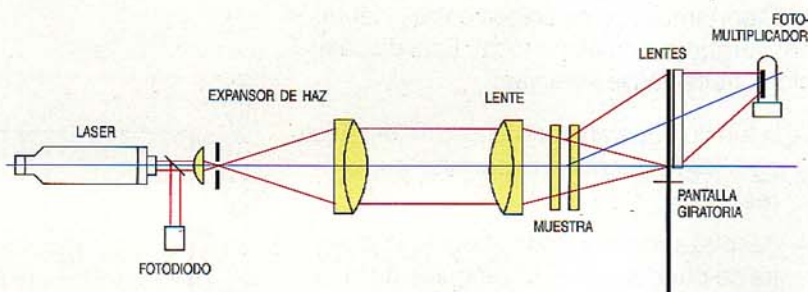


Figura 3
Banco óptico.

depende del valor medido \mathbf{E} . Debe pues elegirse bien el valor de \mathbf{R} , que ha de ser el mínimo posible para obtener buenos resultados, en función de la relación señal-ruido de la medida \mathbf{E} .

Se puede conseguir una elevada resolución optimizando la relación señal-ruido, los ángulos elegidos para las mediciones y la elección de la matriz \mathbf{R} . En CILAS se ha dedicado a estos problemas la parte esencial del trabajo. Se ha demostrado teóricamente que puede obtenerse una resolución del 1% del diámetro medio, y que este límite sólo depende de la relación señal-ruido.

Se hicieron numerosas mediciones en un prototipo que sólo difería del modelo 715 en la parte de detección, donde el prototipo utiliza un fotomultiplicador de mando mecánico en lugar de una red de fotodiodos.

La figura 1 muestra las medidas tomadas en bolas de látex, y éstas se comparan con la distribución teórica dada por el fabricante (Fig. 2). Se comprueba así que la desviación típica medida en cada curva es debida a las muestras y no a una falta de resolución.

Granulómetro HR 850

El equipo CILAS HR 850 incorpora una pantalla de rayos catódicos, una impresora gráfica de chorro de tinta, una cuba ultrasónica y un teclado. El banco óptico (Fig. 3) alinea el láser de helio-neon, el fotodiodo de vigilancia, el expansor de haz con filtro espacial y una lente convergente. En el plano focal de esta lente se analiza la figura de difracción por medio de una pantalla giratoria, la cual contiene un conjunto de ventanas que permiten efectuar mediciones fotoeléctricas en diferentes ángulos a lo largo del mismo sector de aquella figura. La luz esparcida que atraviesa las ventanas la recogen dos lentes y la concentran en el fotocátodo del tubo fotomultiplicador. El valor de cada impulso fotoeléctrico se digitaliza mediante un conversor analógico/digital y después se almacena en la memoria del ordenador.

El portamuestra se coloca entre la lente convergente y su plano focal. Esta disposición ofrece varias ventajas:

- la función de transferencia no se modifica para las frecuencias espaciales superiores
- desplazando longitudinalmente la muestra se pueden variar los ángulos de la medición fotométrica de modo que alcancen el valor óptimo para cada clase granulométrica.

La elección de uno de los submárgenes (0,1 a 60, 1 a 200 ó 50 a 600 μm) posiciona automáticamente el portamuestra.

Los dispositivos para la preparación de las muestras por dispersión dentro de un baño separado y en continua circulación son exactamente los mismos que en el modelo 715. Sin embargo, merced a ciertos perfeccionamientos el usuario puede realizar automáticamente un ciclo completo o bien dividirlo en varias etapas:

- llenado
- desagüe
- ciclos de lavado (de 1 a 7)
- medición del fondo
- preparación de la muestra
- medición de la muestra
- impresión.

Un controlador programable descarga al microordenador de todas estas tareas y permite operaciones simultáneas, tales como la impresión de los resultados en el

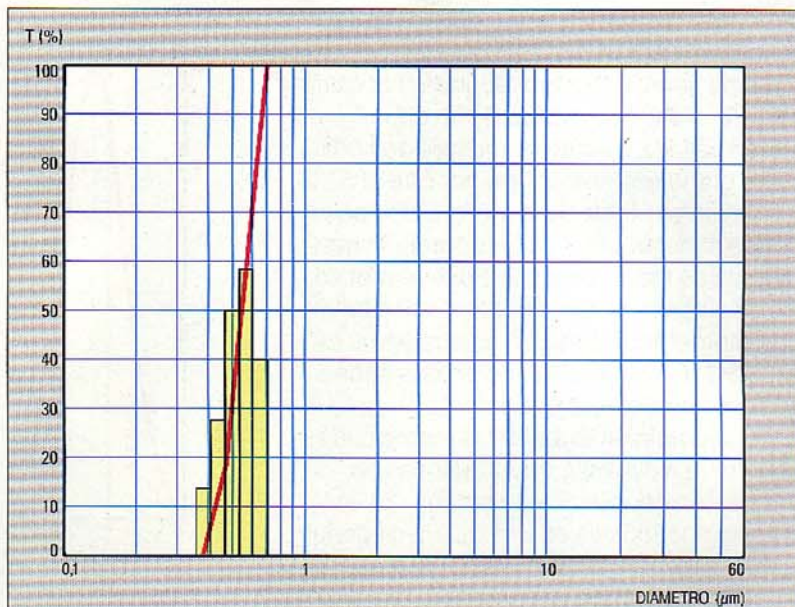


Figura 4
Medidas en bolas de látex usando la opción homogénea.

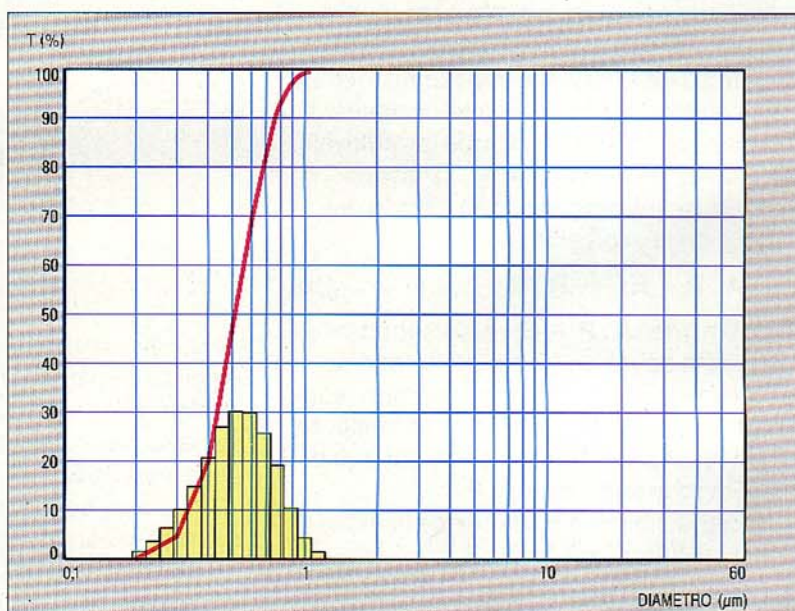


Figura 5
Medidas en bolas de látex usando la opción estándar.

transcurso del desagüe, lavado del portamuestra y llenado con líquido limpio.

Cálculos

Los cálculos de alta resolución en el margen de las submicras requieren ordenadores potentes. El microordenador utiliza un procesador 68010 y un coprocesador 68881. La mayor parte del soporte lógico está en lenguaje Pascal, y en lenguaje ensamblador las rutinas de tiempo real. Los cálculos de la distribución granulométrica duran sólo unos pocos segundos.

Hay dos opciones para el cálculo de los resultados: muestra homogénea y muestra general. Si se sabe que la muestra es homogénea, se puede lograr una precisión mayor en el diámetro medio. Esta opción permite igualmente verificar la calibración del HR 850 con muestras calibradas como las bolas de látex. En los demás casos se utiliza la muestra general (opción estándar).

Los índices de refracción y de absorción de la muestra tienen gran influencia en los resultados, lo que hace particularmente importante el cálculo de la matriz de referencia exacta en el margen de las submicras. Los valores actuales de dichos índices se almacenan en una memoria provista de batería de socorro.

Si el usuario tiene cualquier duda sobre el índice de refracción o el de absorción de la muestra, puede rehacer el cálculo con otros índices para determinar en qué grado afecta el índice a los resultados. En el caso de ignorar la composición de la muestra, o de que la muestra no consista en partículas esféricas, será preferible elegir la opción de "cuerpo negro" que no requiere introducir índice alguno.

El HR 850 puede calcular una matriz de referencia **A** basada en la teoría de Mie en aproximadamente treinta segundos.

Limitaciones

En el margen de las submicras, la teoría de Mie muestra que la señal es muy débil para partículas de diámetro inferior a $0,3 \mu\text{m}$ cuando su índice de refracción es próximo al del líquido. Además, cuanto más lejos del eje se realice el análisis, mayor será la influencia de la forma y del índice de refracción de las partículas. Por consiguiente, la precisión disminuye con el diámetro, incluso si la reproductibilidad se mantiene elevada.

Todo método tiene sus límites: en el caso de mediciones realizadas por esparcimiento de la luz láser en partículas de tamaño inferior a la micra, dichas limitaciones se deben al bajo nivel de señal óptica. No obstante, subsisten las principales ventajas de este método (facilidad de uso y buena reproductibilidad).

Resultados

Las figuras 4 a 6 muestran algunos resultados obtenidos con aparatos HR 850. Las figuras 4 y 5 corresponden al análisis granulométrico de bolas de látex de $0,55 \mu\text{m}$ de

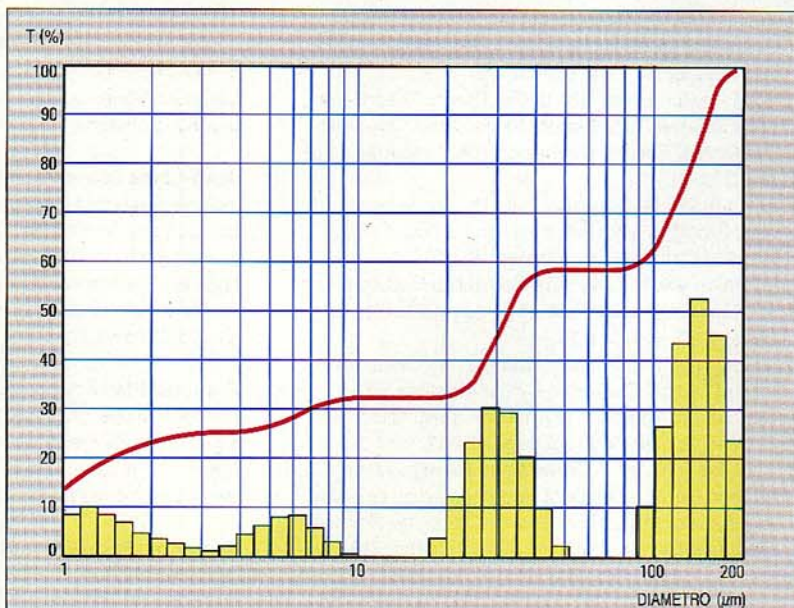


Figura 6
Medidas en una mezcla de bolas de látex ($1,1, 6,4$ y $30 \mu\text{m}$) y bolas de vidrio (100 a $200 \mu\text{m}$).

diámetro adoptando una u otra opción (homogéneas o no) para los cálculos. La figura 6 expone los resultados de una mezcla de bolas de látex de diámetros $1,1, 6,4$ y $30 \mu\text{m}$, y de bolas de vidrio comprendidas entre 100 y $200 \mu\text{m}$ de diámetro.

Como se desprende de estas curvas, la opción de tamaño homogéneo da una precisión mejor que la del cálculo estándar, y se pueden medir muestras polimodales (es decir, muestras que presentan varios máximos en su granulometría).

Conclusiones

El HR 850 es el primero de una nueva generación de analizadores de tamaños de partículas por láser que suprimen muchas de las anteriores limitaciones en cuanto al número de clases granulométricas y partículas submicrométricas, reduciendo en gran manera las restricciones restantes. La introducción de un ordenador potente hace posible realizar extensos cálculos en tiempo real. Ninguno de estos desarrollos ha afectado a las principales ventajas de este tipo de aparatos, a saber: facilidad de manejo, objetividad de los resultados, no necesitar calibración, una buena precisión, reproductibilidad y rapidez.

Referencias

- 1 G. Mie Ann: Physik, 1908, volumen 25, pág. 377.
- 2 H.C. Van de Hulst: Light Scattering by Small Particles: Dover Publications, 1957 a 1981.
- 3 A. Ungunt, G. Grehan y G. Gouesbet: Comparisons between Geometrical Optics and Lorenz-Mie Theory: Applied Optics, 1981, volumen 20, n° 17.

- 4 W. J. Lentz: Generating Bessel Functions in Mie Scattering Calculations Using Continued Fractions: *Applied Optics*, 1976, volumen 15, n° 3.
- 5 B. W. Fowler: Expansion of Mie Theory Phase Functions in Series of Legendre Polynomials: *Journal of the Optical Society of America*, 1983, volumen 73, n° 1.
- 6 G. Grehan y G. Gouesbet: Mie Theory Calculations: New Progress, with Emphasis on Particle Sizing: *Applied Optics*, 1979, volumen 18, n° 20.
- 7 H. Maitre y A. H. Lévy: The Use of Normal Equations for Super-resolution Problems: *Journal of Optics*, París, 1983, volumen 14, n° 4.
- 8 N. T. O'Neill y J. R. Miller: Constrained Linear Inversion of Optical Scattering Data for Particle Size Spectra: an Approach to Angular Optimization: *Applied Optics*, 1982, volumen 21, n° 7.
- 9 S. W. Provencher: A Constrained Regularization Method for Inverting Data Represented by Linear Algebraic or Integral Equations: *Computer Physics Communications*, 1982, volumen 27, págs. 213-227.

Jean Cornillault nació en 1932. Se graduó en ingeniería óptica en el Institut d'Optique de París en 1957, después trabajó en el Laboratoire d' Electronique et de Physique Appliquée y en el Laboratoire Central des Télécommuni-

cations. Entró a trabajar en CILAS Alcatel en 1969, donde es ahora ingeniero jefe. Las principales contribuciones del Sr. Cornillault se refieren a imágenes térmicas, mediciones ópticas, láseres, aplicaciones láser y análisis granulométricos.

Jean-Louis Duvent nació en 1952. Se graduó en ingeniería electrónica en el Institut Supérieur d'Electronique de París en 1977, después trabajó en Télécommunications Radio-électriques et Téléphoniques durante tres años en proceso de señal digital y de imágenes. El Sr. Duvent entró luego en CILAS-Alcatel, donde ahora es jefe de proyecto.

François Pierré nació en 1957. Se graduó en la Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers en 1981. Al año siguiente el Sr. Pierré entró en CILAS-Alcatel para trabajar en el desarrollo electrónico y de programación del microprocesador de 16/32 bits.

Jean-Claude de Miscault nació en 1946. Se graduó en la Ecole Polytechnique de París en 1966, y en la Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de la misma ciudad en 1969. El Sr. de Miscault entró en Laboratoires de Marcoussis en 1979, siendo sus principales contribuciones relativas a dispositivos y sistemas electroópticos.

Ingeniería de programación/máquina virtual

Los métodos tradicionales de desarrollo de programación utilizan numerosas herramientas que a menudo son incompatibles, y no incluyen facilidades para la gestión del proyecto. La VM/SE supera estos inconvenientes al proporcionar un entorno de gestión y control de programación que es independiente de las herramientas individuales, y ofrece flexibilidad para futuras mejoras.

B. Nicolas

A. Veillon

Alcatel CIT, Lannion, Francia

Introducción

Los grandes volúmenes, largos tiempos de vida y la necesidad de ajustarse a unos requisitos específicos del usuario limitan todos ellos la utilidad de los entornos estándar de desarrollo de programación cuando se aplican a la programación de las centrales telefónicas digitales. Estos entornos, que suelen basarse en un procesador de bibliotecas, regulan ante todo la fase de desarrollo del ciclo vital de la programación. Proporcionan un almacenamiento homogéneo e incorporan controles de acceso, pero no tienen en cuenta la gestión y la documentación de los productos.

Más aún, a menudo no son independientes de las herramientas de programación y no permiten gestionar varias versiones del soporte lógico a medida que evoluciona el producto.

La VM/SE* (ingeniería de programación/máquina virtual) se desarrolló tanto para superar estas limitaciones como para favorecer la integración progresiva de las herramientas que se van utilizando a lo largo de

toda la vida de los productos. Además pretende facilitar un desarrollo metódico y supervisado del soporte lógico y la integración de herramientas microinformáticas. Así, la VM/SE es parte esencial de una arquitectura general que comprende un ordenador principal enlazado con cierto número de microordenadores dedicados a funciones específicas.

Para satisfacer estos objetivos, el diseño de la VM/SE está *orientado al objeto*, y se basa en un sistema DBMS de gestión de bases de datos relacionales, SQL/DS, que almacena los datos utilizados para gestionar los objetos y se asocia a un servidor de fichero que almacena los objetos mismos.

La VM/SE es un sistema abierto, tanto en arquitectura como en funciones. No sólo incrementa apreciablemente la productividad de la programación, sino además mejora la calidad del producto al ofrecer un entorno de producción controlado y un método de gestión de la programación.

Alcatel desarrolló inicialmente el sistema, entonces denominado SDL, para sus propias necesidades de preparación de programas, y desde 1985 lo utiliza ampliamente el departamento de conmutación de Alcatel. Sin embargo, el sistema lo está comercializando ahora IBM Corporation.

Principales objetivos de la VM/SE

La finalidad primordial de la VM/SE es minimizar las limitaciones de los sistemas tradicionales de desarrollo de programación. Al mismo tiempo, sin embargo, se han descubierto necesidades nuevas que obligaron a ofrecer funciones adicionales. Así, la VM/SE se diseñó para ofrecer una estructura básica

Menú principal para desarrollo utilizado en la VM/SE.

```
PROJECT : DEMO          SUBPROJECT :          VERSION : 1          SDL
                               //// VM / Software Engineering ////
                               1. Administration
                               2. Project management
                               3. Integration
                               4. Development
                               5. Query
                               9. Miscellaneous
SELECTION > 6           (1--9 or function name SDLxxx)

PF 1=HELP  2=CMS  3=RETURN  4=DOMAIN  5=CP DISC  6=END
SDLER002 : Invalid selection.
```

* VM/SE es marca registrada de IBM Corporation, como lo son otros términos que figuran en este artículo referidos al entorno IBM 3270.

abierta y homogénea capaz de sustentar todas las herramientas utilizadas durante el ciclo vital entero de un producto, disponiendo al mismo tiempo de un entorno de producción controlado, con facilidades para la gestión del proyecto. Otra característica de la VM/SE es la de integrar los microordenadores y sus herramientas asociadas en el referido entorno.

Estructura básica

La estructura básica, capaz de integrar progresivamente las herramientas utilizadas durante el ciclo de vida del producto de programación, se basa en una arquitectura y un lenguaje de órdenes que son independientes de las herramientas y del sistema operativo del ordenador.

La VM/SE es un sistema orientado al objeto. Un objeto se compone de dos partes: un descriptor y un cuerpo (por ejemplo, programa fuente, código binario y listado). Agrega, pues, la gestión de la base de datos a la función homogénea de almacenamiento del procesador estándar de biblioteca. Las operaciones del lenguaje de órdenes se utilizan para manipulación de objetos, y las operaciones normales que procesan el descriptor del objeto son *create* (crear), *update* (actualizar), *delete* (anular) y *query* (preguntar). El cuerpo del objeto lo tratan las operaciones complementarias, siendo las principales *generate* (generar) para rellenar y actualizar dicho cuerpo, y *query* (preguntar) para imprimirlo y visualizarlo. Por ejemplo, la compilación de un programa fuente se ejecuta en la VM/SE utilizando *generate*, que produce el programa en binario, y un listado, correspondientes ambos al programa fuente inicial.

La VM/SE tiene un interfaz estándar con las distintas herramientas basado en la clase del objeto, que es la asociación de un tipo (ej., programa fuente, documento) con un procedimiento de generación, interfaz estándar mediante el cual se llama a las herramientas requeridas para generar el objeto. Por ejemplo, GENERATE PROG1.PL1, en la que PROG1 es el nombre del programa y PL1 su clase, produce el programa binario PROG1 por compilación del programa fuente PROG1 que está escrito en lenguaje PL/1. Esto asegura que las herramientas son independientes de la VM/SE, ya que solamente trabajan con el sistema operativo del ordenador principal.

Este método no distingue entre programas y documentos. El componedor de texto funciona sencillamente como un compilador. Es posible introducir un texto de un programa fuente en un documento, y viceversa.

Estructura del desarrollo y de la gestión

Proyecto, subproyecto y dominio

Un sistema VM/SE se divide en proyectos, cada uno de los cuales, a su vez, se divide en subproyectos. Puede haber más de una versión de un subproyecto, correspondiendo a varios dominios de producción; el dominio se define por el subproyecto y su versión. Cada identificación de objeto indica la versión del dominio bajo la que se produjo ese objeto. En cualquier momento, un usuario se enlaza con un dominio específico, en cuyo interior se le permite crear, actualizar o generar objetos, así como utilizar – pero no modificar – los objetos de otros dominios que le sean accesibles desde el suyo actual.

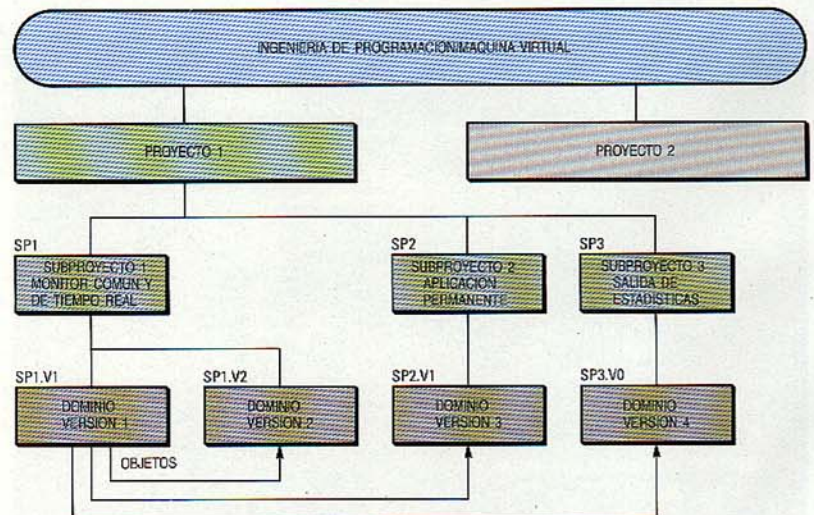
Esta división en proyectos, subproyectos y dominios hace muy adecuada la VM/SE para proyectos que requieran compartir objetos entre varios grupos, y en los que puedan coexistir varias versiones de los productos, cual sucede en la programación de los sistemas de telecomunicación.

Como ejemplo, la figura 1 muestra el desarrollo de un sistema de control de procesos: el proyecto se divide en tres subproyectos que corresponden a la programación del monitor común y de tiempo real (SP1), de la aplicación permanente (SP2), y de salida de estadísticas (SP3). Los dominios SP1.V2, SP2.V1 y SP3.V0 utilizan objetos pertenecientes a SP1.V1. Este último corresponde a la versión operativa de SP1 utilizada por SP2.V1 y SP3.V0; la versión V2 de SP1 se desarrolla en otro dominio al que no se puede acceder desde los dominios SP2.V1 y SP3.V0.

Clases de usuario

La VM/SE distingue cinco clases de usuarios, que pueden realizar sobre un objeto

Figura 1
Desarrollo de un sistema para control de procesos que utiliza la VM/SE. El objeto se divide en tres subproyectos.



las operaciones estándar de *create*, *modify* (un descriptor), *consult*, y *delete*.

Administrador: puede ejecutar operaciones comunes sobre los objetos básicos. Siendo el usuario de más alto rango, le incumbe designar los jefes de proyecto, asignar a los usuarios uno o más proyectos, y crear los procedimientos de generación.

Jefe de proyecto: ejecuta operaciones estándar sobre los subproyectos y sobre las clases en el interior de su proyecto. Más aún, asigna los usuarios del proyecto a los distintos dominios (subproyecto + versión), y define las reglas de acceso a los mismos mediante el establecimiento de la lista de dominios accesibles desde cada uno de ellos.

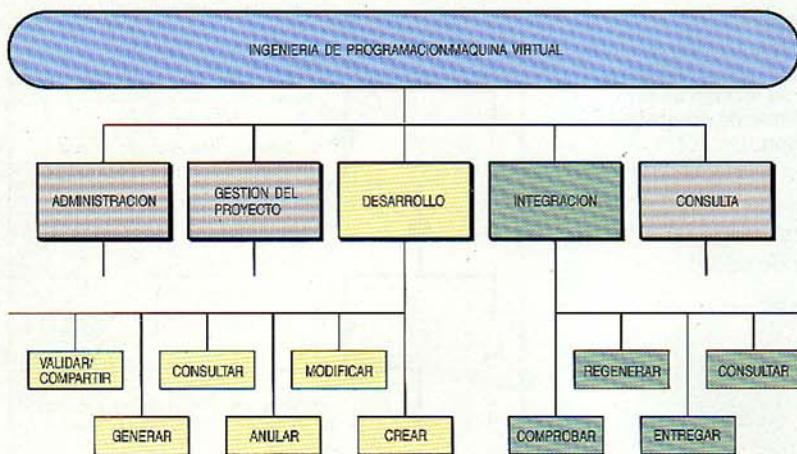
Realizador: puede ejecutar operaciones estándar sobre los objetos generados, y utiliza las operaciones *generate* y *share* (compartir). Un objeto compartido se hace disponible a los demás dominios. No obstante, esta compartición sólo será posible cuando todos los componentes del objeto tengan ese atributo.

Integrador: posee una gama de funciones:

- Controlar la coherencia de un producto asegurando que no hay distintas versiones y ediciones de un componente determinado.
- Consultar las dependencias entre productos para determinar qué productos utilizan un componente dado.
- Regenerar un producto o todos los productos que empleen un componente que se haya modificado. La relación de composición de los productos se utiliza entonces para conocer todos los usuarios de un componente determinado.
- Salvar (archivar) un producto en un medio externo y reclamarlo.
- Entregar (es decir, generar una cinta de entrega) un producto que se ha comprobado.

Consultor: hace uso de las operaciones de consulta, esto es, *display* (visualización) o *printout* (impresión), aplicadas a un objeto y a sus relaciones. Puede consultar entonces la lista de componentes que constituyen un objeto o la lista de usuarios de un componente específico.

Estas cinco clases de usuario (Fig. 2) definen una jerarquía en la que un nivel superior tiene también los derechos propios de cada uno de los niveles que le siguen. Por ejemplo, el jefe del proyecto posee además los derechos de integrador, realizador y consultor.



Integración en el desarrollo de la gestión de un producto de programación

Un producto de programación es una organización arborescente de objetos (Fig. 3), en la que tales objetos o componentes son mutuamente dependientes. Por ejemplo, un módulo fuente puede formar parte de varios objetos binarios, los cuales a su vez pueden ser componentes de varios módulos de carga, y así sucesivamente.

Además de almacenar los objetos en cualquiera de sus distintas formas (fuente, binario, listado, referencias cruzadas, etc.) de manera similar a los procesadores estándar de biblioteca, la VM/SE integra la función de gestión en el desarrollo de productos de programación. Esta función abarca:

- composición del producto
- otras formas de relación entre sus componentes
- estado y protección de acceso de los distintos componentes
- procedimientos de entrega, archivo y carga de determinados productos de programación.

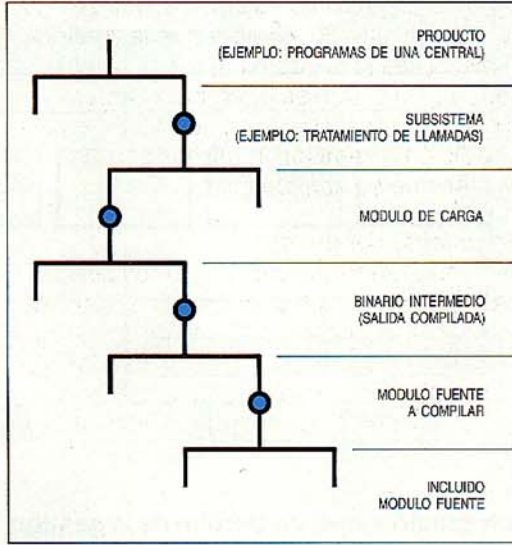
La VM/SE actualiza la composición de un producto de acuerdo con la estructura en árbol, comenzando por el nivel más bajo (módulo fuente incluido o sustituido) y terminando por el más alto, que corresponde a un producto entregado. Un producto puede a su vez comprender una serie de productos, y ciertamente puede considerarse producto a todo objeto generado por la VM/SE.

Esta afinidad de composición trabaja en los dos sentidos: un objeto se asocia con una lista de sus componentes y con una lista de objetos que le incluye como componente. Esto aclara cómo la modificación de un objeto puede acarrear otras.

Además de la afinidad de composición, la VM/SE gestiona también las afinidades de descripción, uso y control de calidad. La

Figura 2
Estructura jerárquica de las cinco clases de usuario de la VM/SE. Los niveles superiores tienen también los derechos de los niveles inferiores a ellos.

Figura 3
Organización arborescente de los objetos que forman un producto de programación.



afinidad de descripción establece un enlace entre un objeto programa y su documento de especificación; la de uso es similar a la de composición pero solamente se aplica a una referencia, no a una inclusión. Estas afinidades se mantienen automáticamente por la VM/SE. El procesador de fuentes actualiza los enlaces entre los objetos tipo fuente cuando encuentra directivas de inclusión, sustitución o uso. Otras afinidades se actualizan a partir de los parámetros especificados en las operaciones utilizadas para crear y generar los objetos; nunca se actualizan manualmente sobre la base de datos. De este modo, la función de gestión se integra completamente con la de desarrollo.

Un producto de programación pasa por varios estados:

- En desarrollo actual: se permiten generaciones del producto.
- Validado y compatible: cualquier modificación requiere crear una nueva edición del objeto. Como mínimo todos los componentes del objeto deben ser validados.
- Comprobado: ha sido sometido con éxito a las pruebas de coherencia tras haber revisado todos sus propios componentes. Un objeto debe alcanzar este estado para ser entregado.

La entrega del objeto transfiere sobre medio magnético todos los componentes de un producto, incluyendo el nivel de fuente, y toda la información necesaria para introducir el objeto en otro entorno VM/SE. Solamente se requiere una orden para ello.

Automatización de la producción de programación

Un producto de programación se construye nivel por nivel; consiste en una organiza-

ción en forma de árbol de los objetos que lo componen. La VM/SE permite asociar un procedimiento de generación con cada clase de objeto, y así generar cada nivel del árbol a partir del nivel inmediatamente inferior a él. Conociendo este tipo de organización, la VM/SE puede regenerar un producto entero mediante una orden única de regenerar después de haber modificado un componente (p. ej., un módulo fuente). Todos los componentes intermedios modificados se regeneran automáticamente.

La composición de un producto incluye su documentación, pues la VM/SE no hace distinción entre programas y documentos. La facilidad de insertar un módulo de programa en un documento, y a la inversa, es útil para la producción y actualización.

Cuando se crea un objeto tipo fuente la VM/SE genera automáticamente el esqueleto estándar del cuerpo del objeto, en concreto las partes de cabecera y final y los bloques de comentarios estándar, eximiendo al programador de una tarea tediosa.

Integración de microordenadores

La VM/SE integra varias categorías de microordenadores conectados al ordenador principal:

- Estaciones de trabajo para el desarrollo: terminales inteligentes capaces de realizar operaciones locales (desarrollo y prueba de programas). Los gráficos constituyen una de las aplicaciones posibles; las especificaciones se escriben en lenguaje SDL (lenguaje de descripción de especificación CCITT) y se comprueban, generando después las plantillas para las fuentes de los programas en CHILL.
- Estaciones remotas de generación por lotes, que producen y prueban la programación de los microprocesadores. Trabajan como sistema por lotes y se utilizan cuando no existen compiladores cruzados en el ordenador principal.

Conceptos principales

Un objeto de la VM/SE se compone de:

- Descriptor, que contiene los atributos del objeto (características individuales) y sus enlaces (afinidades) con otros objetos. La VM/SE procesa distintos tipos de objetos; dentro de cada tipo los objetos tienen idéntica estructura del descriptor, es decir, los mismos atributos y afinidades.
- Cuerpo, que puede estar ausente o ser múltiple. Por ejemplo, un objeto de tipo binario (resultante de una compilación)

tiene un cuerpo principal que es el código objeto, y dos cuerpos secundarios (el listado y la tabla con los símbolos o las referencias cruzadas).

El descriptor se almacena en la base de datos mientras que su cuerpo se almacena en un fichero secuencial simple después de la compresión de datos realizada por la VM/SE. El usuario desconoce la existencia de esta pareja (descriptor, fichero) ya que solamente puede acceder a los ficheros a través de la VM/SE. La identidad del fichero que almacena el cuerpo del objeto es un atributo del descriptor.

La VM/SE distingue entre objetos generados y objetos básicos (desprovistos de cuerpo), que normalmente sólo son tratados por el administrador o jefe del proyecto y no se generan. Los objetos básicos principales son: proyecto, subproyecto, usuario, procedimiento de generación, clase y dominio.

Los tipos fundamentales de objetos generados son: módulo fuente, módulo binario (en cualquier formato binario), y módulo documento. Todos los objetos generados tienen los mismos atributos comunes (autor, lenguaje, fecha de creación, etc.), además de los atributos peculiares del tipo. Así, el tipo *documento*, que corresponde al resultado de una composición, difiere del tipo *binario* en cuanto a los atributos específicos, algunos de los cuales son palabras clave que optimizan la búsqueda de documentación.

Denominación del objeto

Un objeto se identifica por la secuencia siguiente (los términos entre paréntesis son opcionales):

(:*proyecto*.) *nombre* .*clase* (.*versión*)
(.*edición*) (.*iteración*).

Proyecto: identifica el proyecto en el que se creó el objeto.

Nombre: especifica un objeto dentro de un proyecto determinado.

Clase: una extensión del tipo que se asocia con el procedimiento de generación.

Versión: define el estado funcional de un objeto. Dos objetos con la misma versión son compatibles. La versión de un objeto es la del dominio bajo el que se creó.

Edición: define el nivel de implantación. Después de una corrección, la edición solamente evoluciona si el objeto se designó como validado y compartible.

Iteración: representa el índice de generación; se incrementa una unidad después de cada nueva generación.

La identificación más breve es:
nombre.clase.

Proyecto implícito es aquél al que se conecta el usuario siempre que la versión implícita sea la del dominio actual o la del dominio en el que se encontró el objeto a partir de una lista de dominios accesibles. La edición e iteración implícitas son las últimas que se han creado.

Preprocesador fuente

Para independizar las operaciones con textos fuente de los traductores (ensambladores, compiladores, editores de documentos), la VM/SE utiliza un preprocesador fuente que realiza tres operaciones: inclusión de un objeto fuente, directiva de uso y sustitución de símbolos.

Inclusión de un objeto fuente: el cuerpo del objeto referenciado por la directiva de inclusión se inserta en el cuerpo del objeto llamante, y sustituye a dicha directiva. El objeto incluido se identifica normalmente por "nombre.clase" solamente. Esta directiva es útil para evitar múltiples ocurrencias de un objeto.

Directiva de uso: esta es similar a la directiva de inclusión. Sin embargo, crea un enlace entre usuario y objetos usados más bien que incluir un objeto en el otro.

Sustitución de símbolos: esta capacidad de sustitución permite que una cadena de caracteres sustituya a un nombre simbólico en el cuerpo de un producto fuente.

Posibilidad de extensión

La división de un objeto en descriptor y cuerpo convierte a la VM/SE en un sistema muy abierto, utilizable no sólo con las nuevas herramientas de producción de programación (compilador, editor de sintaxis, herramientas para especificación), sino también para nuevas aplicaciones como búsqueda de errores y control de calidad.

Por ser totalmente relacional el DBMS SQL/DS, puede evolucionar sin modificarse los programas existentes. Por ejemplo, es posible añadir nuevos atributos a un tipo de objeto (es decir, añadir nuevas columnas a una tabla SQL/DS) sin alterar los programas existentes, aunque hayan de recompilarse. La introducción de nuevas herramientas requiere solamente que el administrador del sistema cree un procedimiento de generación y que el jefe del proyecto declare una clase correspondiente.

Diálogo del usuario

Existen dos modos de diálogo del usuario: el modo menú y el modo de órdenes directas. En el modo menú, el usuario puede seleccionar una acción bien escogiendo un número en el menú, o bien introduciendo

directamente el nombre del panel. Esto último conduce directamente al usuario al panel de entrada de órdenes, saltándose la jerarquía de menús.

En el modo de órdenes, el usuario activa las operaciones de la VM/SE como si fueran órdenes CMS (sistema monitor de conversación). En particular, puede utilizar una orden SLIST que hace visualizar una lista de objetos seleccionados, a los que podrá aplicar una orden VM/SE directamente en la pantalla.

Arquitectura general del entorno VM/SE

La VM/SE se inscribe en una arquitectura general concebida para la producción de programación, y que se compone de:

- ordenador principal al que se conectan los usuarios
- distintos terminales o estaciones de trabajo (ordenadores personales estándar), conectados al ordenador principal mediante el SML (comunicaciones de ordenador) o el protocolo 3270 (conexión terminal-ordenador principal).

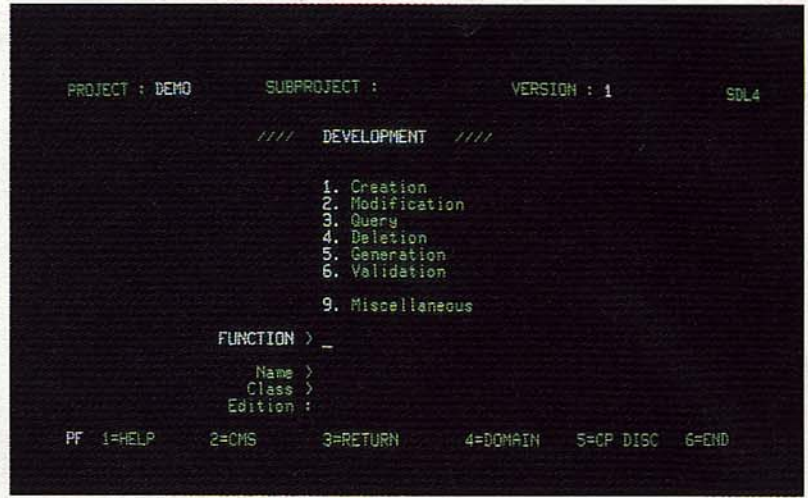
La VM/SE se ejecuta en los procesadores IBM 9370, 43XX, y 30XX con el sistema operativo VM/CMS. Utiliza un catálogo de programas limitado, constituido por el sistema de gestión de bases de datos relacionales SQL/DS que funciona sobre una máquina dedicada, un servidor de fichero con un conjunto de discos CMS en los que asegura un almacenamiento de datos compactado, y una facilidad de máquina virtual (VM) por lotes para realizar tareas de este tipo. Cada usuario opera la VM/SE a través de su máquina CMS, que es su identificación dentro del sistema.

La programación de la VM/SE, común a los diferentes usuarios, se sitúa en los segmentos compartidos de la VM. Los usuarios se comunican con el sistema a través de órdenes directas y de menús, y acceden a las máquinas de la base de datos y de los ficheros mediante los procedimientos que emplean el mecanismo de comunicaciones VM IUCV (del inglés inter-user communication vehicle).

El esquema general de la arquitectura del sistema se muestra en la figura 4.

Implantación actual

Desde el tercer trimestre de 1985, la programación de las unidades de abonados analógicos y digitales (CSN) de la central digital Alcatel E10 y de las herramientas generales se ha producido con la VM/SE. El soporte lógico del E10-B se produce totalmente con VM/SE desde fines de 1986.



Menú en pantalla para un realizador VM/SE.

En total, más de 500 usuarios se conectan a la VM/SE para el desarrollo de programación en los dos centros de Alcatel-CIT en Lannion y Vélizy.

Se están desarrollando o van a desarrollarse nuevos productos de telecomunicación utilizando la VM/SE, y actualmente se está generalizando su uso a todos los productos existentes.

B. Nicolas nació en Francia, en 1952. Después de estudiar proceso de datos, ingresó en Alcatel-CIT en 1974 donde participó en el desarrollo de sistemas de programación para telefonía y en tiempo real. En 1982 se le encomendaron los estudios en el campo de la ingeniería de programación, y en tal calidad fue el diseñador y el jefe de proyecto de la VM/SE.

A. Veillon nació en 1946, en Francia. Después de estudiar la tecnología del proceso de datos en Lyon, en 1969 obtuvo el título de ingeniería INSA. Inicialmente trabajó en desarrollo y posteriormente en diseño de programación en sistemas de tiempo real, antes de ingresar en el centro técnico de Alcatel-CIT en 1973. Fue responsable del desarrollo del soporte lógico del centro de operaciones y mantenimiento del sistema E-10. Desde 1982, el Sr. Veillon trabaja en ingeniería de programación y actualmente dirige el grupo de desarrollo de herramientas de programación que diseñó y preparó la VM/SE.

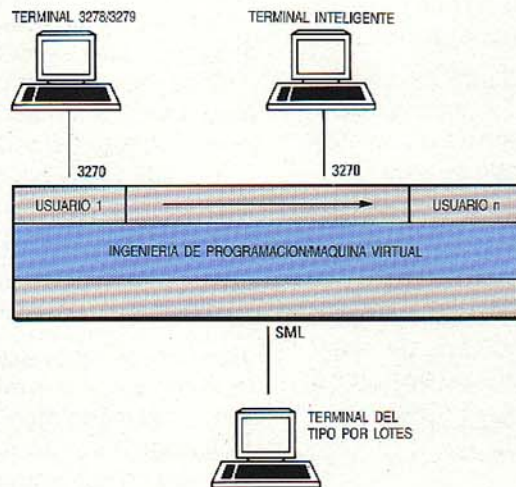


Figura 4
Arquitectura del entorno de desarrollo de programación de la VM/SE.

En este número

Auch, W.; Schlemper, E.; Wenzel, W.

El giróscopo de fibra óptica, sensor de rotación avanzado

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 372-378

El desarrollo de un giróscopo de fibra óptica pertenece al campo de sensores y sistemas para la navegación inercial, en rápida expansión. La realización de dichos sensores se basa en la utilización de componentes y tecnologías desarrolladas para los sistemas de comunicaciones ópticas. Para competir con éxito con los giróscopos inerciales, los de fibras ópticas tienen que ofrecer unas propiedades muy especiales a los diseñadores de sistemas. Tales propiedades hay que encontrarlas en sus principios físicos y en las tecnologías aplicadas. La medida de la rotación por medio de la luz que se propaga en una fibra óptica carece de las limitaciones inherentes a los giróscopos convencionales. Los autores se concentran en la realización de circuitos integrados optoelectrónicos, necesarios para que el giróscopo de fibra sea una opción viable económicamente para la navegación inercial y otras aplicaciones.

Bernard, J.-J.; Bastide, C.; Coutty, B.

Reflectómetros para cables ópticos submarinos

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 379-383

La reflectometría óptica en el dominio del tiempo se utiliza durante la producción e instalación de cables ópticos submarinos para determinar el alcance y ubicación de fallos (roturas, esfuerzos localizados), a partir de los cambios observados en los niveles de energía luminosa de retrodispersión. Se han desarrollado tres reflectómetros complementarios para utilizarse en los cables ópticos submarinos durante la producción de la fibra y el cable, la instalación y la reparación del cable. Los autores describen las principales características de estos tres reflectómetros.

Carratt, M.; Reinaudo, C.; Jocteur, R.; Trezeguet, J.-P.

Fibras de característica de dispersión desplazada para sistemas submarinos sin repetidores

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 384-388

Se ha diseñado, desarrollado y probado, un nuevo tipo de fibra para utilizarla en sistemas de telecomunicación submarinos de alta velocidad binaria. Esta fibra, que opera a 1,55 μm , tiene un perfil de índice de refracción triangular en el núcleo y una envoltura de índice adaptado. Al permitir unas bajas pérdidas, de sólo 0,2 dB/km, con el cero de dispersión cromática en 1,56 μm , puede utilizarse para transmisión en distancias de hasta 150 km sin repetidores. Se han desarrollado equipos de empalme especiales con atenuación menor de 0,1 dB y más de 15 N de carga de rotura. Su gran resistencia mecánica y el comportamiento en cable, la hacen muy adecuada para aplicaciones submarinas.

Morris, D. J.; Quigley, M. P.

Sistemas ópticos para zonas remotas

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 389-395

Los estudios de planificación de redes demuestran que los sistemas de fibra óptica monomodo funcionando a 2, 8, y 34 Mbit/s ofrecen una alternativa económica frente a los cables de pares metálicos o a los sistemas de radioenlaces entre centrales en zonas remotas. Alcatel STC ha desarrollado una gama de equipos de transmisión por fibra monomodo con capacidades de 30, 120 y 480 canales de voz que proporcionan las facilidades esenciales para operar en zonas alejadas. Los autores describen el equipo y algunas de las características y prestaciones que son específicas de estos sistemas ópticos monomodo de baja capacidad.

Brierre, J.; Cadène, J.-C.; Fourrier, J.-Y.; Thilliez, J.-M.; Tribet, D. Circuitos integrados bipolares fiables de alta velocidad para transmisión a larga distancia

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 396-403

Las modernas redes, terrestres y submarinas, de transmisión a altas velocidades por fibras ópticas, requieren el uso de componentes optimizados. Los autores pasan revista a las tecnologías ECL disponibles, o en fase avanzada de desarrollo, en Alcatel Transmission Sur Câbles para la producción de los estratégicos circuitos integrados necesarios para funcionar a velocidades comprendidas entre 34 Mbit/s y 2,8 Gbit/s.

Dujardin, R.; Lebret, Y.-Y.

Nueva generación de radioenlaces digitales con demodulación directa en radiofrecuencia

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 404-409

La digitalización de la red telefónica y la introducción de la RDSI (red digital de servicios integrados) conducen a una creciente demanda de radioenlaces digitales. Los autores describen el primer equipo dentro de la familia AFH 150 de radioenlaces, que combina una estructura optimizada para la transmisión digital con el uso de los componentes más recientes. Esta familia, para velocidades de transmisión de hasta 34 Mbit/s, ha sido concebida para optimizar el diseño del enlace y proporcionar facilidades de supervisión simples y seguras al personal de operación y mantenimiento.

Kjeldsen, M.

El transductor dinámico T800

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 410-416

El diseño, desarrollo y comprobación de un transductor electrodinámico de alta calidad es caro y consume tiempo, exigiendo un trabajo intenso y minucioso para determinar los elementos acústicos correctos, que por los métodos de diseño tradicionales podrían sufrir muchos cambios antes de llegar a los resultados deseados. Por ello es preferible simular el funcionamiento del transductor mediante un ordenador, eliminando así mucho trabajo especulativo. El autor expone cómo se ha deducido un diagrama equivalente completo de un transductor, merced al cual se han podido aplicar técnicas informáticas para optimizar el diseño del transductor dinámico T800.

Flamant, B.; Girard, G.

Intelligence Service: herramienta para construir sistemas expertos

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 417-421

La inteligencia artificial surgió de los laboratorios de investigación en los primeros años 70, y hoy en día es la base de una serie cada vez mayor de herramientas profesionales de programación. Los autores describen "Intelligence Service", envoltura de sistema experto que combina una poderosa máquina de inferencia con un agradable interfaz de usuario. Una de las características más importantes de esta envoltura consiste en su posible utilización por personas sin la clásica experiencia en programación. En prueba de ello, los autores esbozan algunas de las muchas aplicaciones que se han desarrollado mediante el citado Intelligence Service.

Lecomte, J.; Seguin, M.

Red óptica de televigilancia y transmisión para grandes sistemas de transporte

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4 págs. 422-427

La explotación de una gran autopista, metro u oleoducto requiere supervisión y control centralizado con transmisión de gran cantidad de datos e imágenes a largas distancias, siendo la fibra óptica muy adecuada a este tipo de estructura. Los autores describen una arquitectura mixta de estrella óptica para imágenes y bus para datos, realizada en un sistema instalado en la autopista A 40 entre Lyon y Ginebra.

Boettle, D.; Dripke, T.; Eilenberg, G.

Realización de una central de banda ancha

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, n° 4, págs. 428-432

En el Centro de Investigación de Standard Elektrik Lorenz se está desarrollando una central de banda ancha, basada en el Sistema 12, que ofrece una capacidad de conmutación de hasta 140 Mbit/s por canal. El elemento de conmutación principal de tecnología CMOS permite realizar una central de coste razonable, capaz de ofrecer servicios de banda ancha en un próximo futuro. Los autores describen los principales subsistemas (unidades de conmutación, de distribución y generación de señales de reloj) y las modificaciones en práctica de equipos debidas a las señales de alta velocidad. Se bosqueja también, para realizaciones a más largo plazo, una técnica híbrida que utiliza ambos tipos de conmutación, circuitos y paquetes, como posible ampliación al concepto de sistema.

Pirot, J.; Vercammen, R.

Sistema videotex Syntex 7000

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, nº 4, págs. 433-438

Los sistemas de videotex han recorrido un largo camino desde la primera generación de equipos, que apenas eran algo más que una base de datos con posibilidad de acceso público. Los sistemas de la tercera generación de hoy, como el Syntex 7000, ofrecen una gama mucho más amplia de servicios de valor añadido, y son por lo tanto apropiados para utilizar en sistemas de TV por cable y en redes de conmutación de paquetes. Los autores exponen las principales características del Syntex 7000, subrayando el enfoque sobre accesos distribuidos y el centro de gestión de red, con varias de sus aplicaciones actuales.

Steinberg, R.A.

NOVELINK: pequeña centralita multiuso

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, nº 4, págs. 439-445

Las pequeñas empresas y los departamentos de compañías mayores no necesitan las facilidades ni pueden permitirse el coste de una PABX digital grande y versátil. Requieren por el contrario, un sistema pequeño, con un número limitado de líneas y fácil de instalar, utilizar y mantener. El autor describe la centralita NOVELINK* que se ha diseñado para satisfacer estas necesidades, proporcionando a la vez una impresionante gama de útiles características y facilidades. Una estructura modular, con muchas de las facilidades obtenidas mediante programación, asegura la fácil adaptación del sistema NOVELINK a las necesidades de usuarios específicos y a las normas de las Administraciones de muchos países.

* Marca registrada de las compañías del Grupo Alcatel

Cornillault, J.; Duvent, J.-L.; Pierré, F.; de Miscault, J.-C.

Submicrogranulómetro de alta resolución

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, nº 4, págs. 446-452

Los analizadores de tamaños de partículas por difracción láser, de gran utilización actual, tienen muchas características útiles, como la autocalibración y la buena reproducibilidad. Sin embargo, están limitados en resolución y margen útil como consecuencia de la longitud de onda de la luz láser. El granulómetro CILAS HR 850 supera estas limitaciones de dos maneras: mediante nuevos algoritmos de la teoría de Mie y por su extremada resolución. Los autores exponen los principios básicos del nuevo granulómetro y describen el instrumento y los principios físicos y matemáticos en los que se basan los cálculos.

Nicolas, B.; Veillon, A.

Ingeniería de programación/máquina virtual

Comunicaciones Eléctricas (1987), volumen 61, nº 4, págs. 453-458

La ingeniería de programación integra disciplinas implicadas en la producción de un soporte lógico de calidad, que a menudo forma parte de un producto industrial. Su objetivo es producir un código de alta fiabilidad cuyo mantenimiento pueda realizarse a un costo razonable. El sistema de ingeniería de programación/máquina virtual VM/SE ofrece un entorno sencillo y potente como ayuda al desarrollo, gestión y control de las aplicaciones de telecomunicación.

Cambio de editor en Revue des Télécommunications

Tras haber desempeñado durante cuatro años el puesto de editor de *Revue des Télécommunications*, edición francesa de esta Revista técnica de Alcatel, Jean-Pierre Dartois se concentrará a partir de ahora en actividades de carácter técnico dentro del departamento de Investigación y Tecnología de la Compañía. El Sr. Dartois, que había contribuido ya con diversos artículos a esta publicación antes de ser nombrado editor de ella, aportó su notable capacidad técnica y acertada expresión lingüística, por lo que debemos agradecerle su participación en la Revista, y particularmente en su edición francesa.

Al mismo tiempo saludamos a Bernard Canceill, nuevo editor de *Revue des Télécommunications*. El Sr. Canceill, que había trabajado anteriormente en ITT, aporta una base sólida y amplia en comunicaciones internacionales al equipo editorial de la Revista. Su experiencia cubre varios países, diversos organismos de normalización internacionales, y se refleja en los artículos técnicos que ha escrito y publicado.

Oficinas Editoriales

La correspondencia relacionada con las diferentes versiones de Electrical Communication debe dirigirse al editor correspondiente:

Rod Hazell
Electrical Communication
Great Eastern House
Edinburgh Way
Harlow, Essex
England

Wolfgang Schmid
Elektrisches Nachrichtenwesen
Lorenzstrasse 10
7000 Stuttgart 40
Bundesrepublik Deutschland

Antonio Soto
Comunicaciones Eléctricas
Ramírez de Prado, 5
28045 Madrid
España

Bernard Canceill
Revue des Télécommunications
ALCATEL N.V.
33 rue Émeriau
75725 Paris CEDEX 15
France