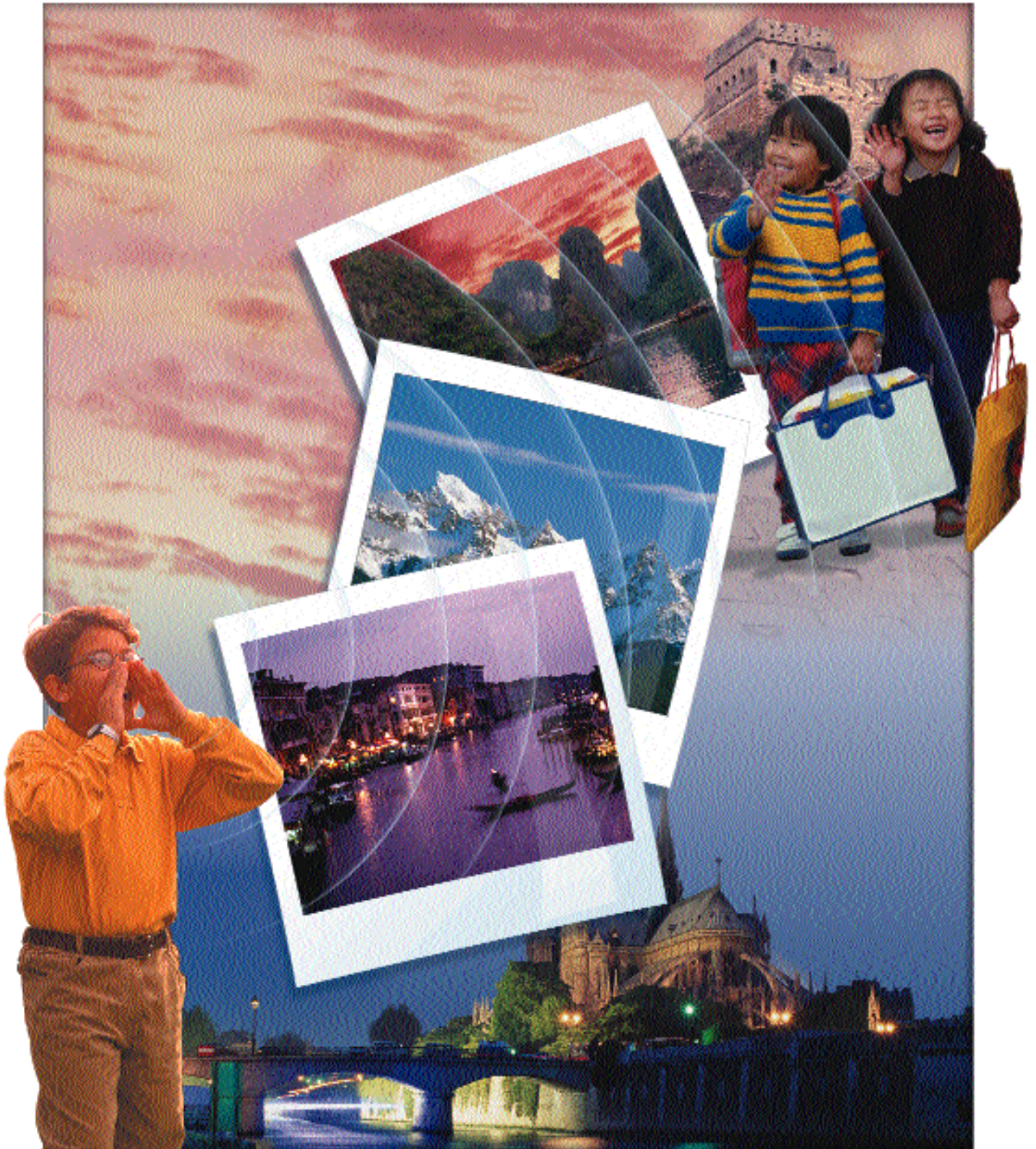


4° Trimestre de 1998

# REVISTA DE TELECOMUNICACIONES DE ALCATEL



REDES RADIO: EL ENLACE INVISIBLE





F.C. Farrill

## EDITORIAL

# IMT-2000: LA PRÓXIMA GENERACIÓN INALÁMBRICA

El crecimiento explosivo de las comunicaciones inalámbricas, durante la última parte del siglo veinte, es una historia de éxito que ha sorprendido, incluso, a muchos analistas de mercado. En AirTouch, pensamos que las sorpresas durante el próximo siglo vendrán de la mano de unas comunicaciones inalámbricas que serán capaces de llegar a más gente por diferentes caminos, los cuales, hoy día, no podemos incluso imaginar. Las mejoras en confort, seguridad y productividad facilitadas por la comunicación inalámbrica, la han convertido en una tecnología indispensable para mucha gente. Mientras imaginamos la multitud de nuevas aplicaciones previstas para la siguiente generación de servicios inalámbricos, parece inevitable pensar que los servicios y dispositivos inalámbricos se convertirán en algo tan habitual como lo son, actualmente, los televisores y los coches.

Una de las claves que fomentarán este brillante futuro de la industria inalámbrica es el continuo avance de la tecnología. La industria confía en introducir la Tercera Generación (3G) de sistemas como parte de la iniciativa IMT-2000 promovida por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). La primera generación se define, en general, como la de los sistemas celulares-analógicos que se desplegaron a mediados de los años ochenta. La segunda ge-

neración incluye los sistemas celulares-digitales y los PCS (Personal Communication Systems), que han eclipsado últimamente a los sistemas analógicos en términos del número total de abonados a los que sirven en todo el mundo. Los sistemas 3G, planificados para su introducción en el año 2002, se están diseñando para suministrar no sólo servicios de voz, sino también servicios de datos de alta velocidad que proporcionen nuevas aplicaciones tales como el acceso inalámbrico a Internet.

Un interesante resultado de los procesos de investigación, simulación y pruebas, que se han llevado a cabo para la presentación de las propuestas de normas para los sistemas 3G, es el hecho de que varias regiones geográficas del mundo hayan propuesto una tecnología de radio 3G muy similar. Seis iniciativas –con origen en Norteamérica, Europa y Asia– se han centrado en el acceso múltiple por división de código de banda ancha (CDMA) como base para el acceso radio 3G. La mayor parte de la industria ha convergido en el CDMA de banda ancha por su alta capacidad, robustez de prestaciones, flexibilidad para combinar la voz con los servicios de datos y escalabilidad desde servicios de voz a baja velocidad, a servicios de datos de hasta 2 Mbit/s.

Las ventajas de la tecnología CDMA han sido reconocidas ya por muchos ope-

radores y fabricantes, llevando a la definición de la norma cdmaOne en Norteamérica. Tras la demostración de la madurez alcanzada por las redes de segunda generación que ya utilizan CDMA, se ha reconocido que esta tecnología será la norma inalámbrica dominante para los servicios 3G.

La semejanza de las diferentes propuestas de CDMA de banda ancha ha mostrado también el hecho de que la globalización está teniendo un impacto creciente en la industria inalámbrica. Muchos fabricantes y operadores, AirTouch incluido, han llegado a la conclusión de que unas normas mundiales comunes podrían proporcionar, como resultado, enormes beneficios para la industria.

La unificación de estándares permitiría unas economías de escala sin precedentes, que disminuirían la estructura de costes de la industria. Unos menores costes traerían en consecuencia unos menores precios para los consumidores, lo que estimularía la demanda y, por tanto, el aumento del uso. Una normativa mundial generalizada también mejoraría la itinerancia. Una mayor globalidad fomentaría además el crecimiento de las inversiones en aplicaciones inalámbricas por parte de la industria de las Tecnologías de la Información (TI), lo que daría como resultado un nuevo crecimiento dirigido por los servicios de datos

y multimedia. Este modelo permitiría finalmente que la red inalámbrica se convirtiese en una extensión uniforme de Internet, la cual ha experimentado un explosivo crecimiento como resultado de su consistencia a escala mundial.

A pesar de las importantes ventajas que tendría una estandarización mundial común, está claro que para lograr un tipo de modelo Internet se requerirán, por parte de la industria, tanto acciones a corto como a largo plazo. A corto plazo, cualquier acción deberá buscar cómo maximizar la armonización y la conver-

gencia de las diferentes propuestas de CDMA de banda ancha, con el fin de alcanzar una familia de normas 3G que optimicen la generalidad de actuaciones.

A largo plazo, la industria tendrá que reconocer las importantes ventajas que tendrá dirigir los esfuerzos de la normalización inalámbrica en términos de una base global. Las actuales estructuras regionales y nacionales de normalización deben evolucionar hasta formar parte de un marco mundial. La emergencia de empresas globales y el creciente número de personas itinerantes

a lo largo del mundo requerirán de productos y servicios mundiales. La mayoría de los fabricantes de equipos inalámbricos ya operan a escala global. De forma creciente, los operadores se consolidarán y se alinearán en alianzas y acuerdos, por lo que requerirán soluciones mundiales. En vez de resistirnos a este inevitable cambio, deberíamos asumirlo e impulsarlo, ya que dará como resultado un mayor crecimiento global de la industria inalámbrica. Esto será bueno también para los operadores, fabricantes y consumidores.



**F. C. Farrill**

Vicepresidente,  
Strategic Technology  
AirTouch  
Walnut Creek, California, Estados Unidos

AirTouch Communications es la compañía inalámbrica más grande del mundo, con empresas que dan servicio a más de 31 millones de clientes. AirTouch ofrece una gama completa de servicios inalámbricos, incluyendo servicios de comunicaciones celulares, personales y de radiobúsqueda y, en el futuro, comunicaciones mundiales por satélite.

# SOLUCIÓN DE RADIO PMP DE BANDA ANCHA

M. PERUYERO

El Alcatel 9900 WW, de la familia de sistemas PMP, ofrece acceso de datos de alta capacidad para abonados residenciales y de negocios.



Alcatel 9900 WW, Sistema de Acceso Radio de Banda Ancha.

## ■ Introducción

La gran demanda de comunicaciones de voz y datos está proporcionando importantes oportunidades a los nuevos operadores. La demanda de servicios de banda ancha (acceso rápido a Internet, transmisión de datos a alta velocidad, vídeo, etc.) es inmensa desde la Pequeña y Mediana Empresa (Pymes), las Pequeñas Oficinas en Oficina/Hogar (SOHO) y desde los sectores residenciales, mientras el tráfico de voz continúa creciendo. El desafío al que tienen que enfrentarse muchos de los nuevos operadores en el mercado liberalizado de hoy en día, se deriva de tener que desplegar sus infraestructuras lo suficientemente rápido como para cumplir con esta inmensa demanda. Además, los operadores de redes de bucle local de radio de banda estrecha y celulares necesitan alimentadores de transmi-

sión rentables para conectar sus estaciones base.

La tecnología de radio fija ofrece una solución rentable para las áreas urbanas y suburbanas densamente pobladas. Los sistemas de radio de bucle local de alta capacidad permiten a los operadores el suministro de un rango de servicios de voz y datos a un gran número de clientes. Los sistemas de radio Punto-a-Multipunto (PMP) pueden también proporcionar una atractiva solución a los operadores de la red móvil, que buscan la manera de enlazar estaciones base móviles y controladores en áreas ocupadas del centro de las ciudades. Y lo que es todavía mejor, un operador de red fija y móvil puede interconectar sus insta-

laciones de abonados y sus estaciones base celulares, utilizando el mismo sistema de radio fija de banda ancha.

El rango de productos del Alcatel 9900 WW satisface esta necesidad proporcionando un sistema de radio PMP de banda ancha que puede ser usado de manera rentable, tanto por los operadores de telecomunicaciones tradicionales, como por los nuevos operadores de sistemas de TV por cable y otros suministradores de redes de radio. Debido a que pertenece a la amplia gama de productos de Alcatel, este sistema puede desplegarse como parte de una solución total de red integrada que incluye:

- Tecnologías de transmisión (fibra o radio) de la Jerarquía Digital Síncrona

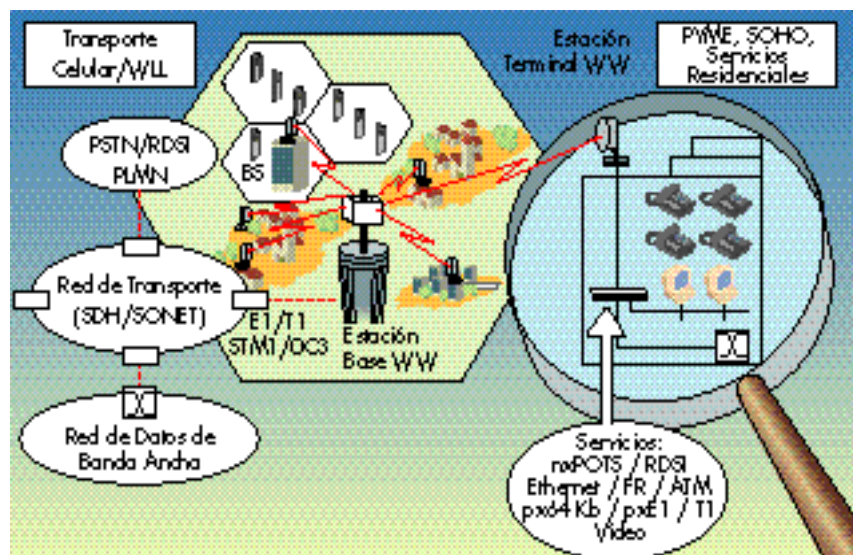


Figura 1 - Modelo de aplicación del Alcatel 9900 WW.

- cronograma (SDH)/Red Óptica Síncrona (SONET).
- Conmutadores de banda estrecha/banda ancha.
- Productos de bucle local celulares/radio.
- Gestión integrada de red.

## ■ Descripción General

El Alcatel 9900 WW (**Figura 1**) es un sistema punto-a-multipunto que ofrece soluciones económicas para proporcionar conexiones de banda ancha en un entorno urbano. Esencialmente, consta de Estaciones Base de Radio de Banda Ancha (WWBS) y varias Estaciones Terminales de Abonado WW distribuidas.

El WWBS está equipado con antenas de sector u omni-direccionales que proporcionan cobertura a través de toda la célula, mientras que el WWTS utiliza pequeñas antenas parabólicas para acceder al WWBS, que actúa como la parte centralizada transmitiendo los servicios telefónicos, de datos y de vídeo a los usuarios, a través de una línea de conexión radio de visión directa con un rango de hasta 4 km., dependiendo de la frecuencia del sistema.

Las principales características del sistema son las siguientes:

- La red celular, que puede estar interconectada con la Red Telefónica Conmutada Pública (PSTN), la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), la Red Móvil Terrestre Pública (PLMN), la Red de Líneas Alquiladas y las redes de banda ancha.
- Las estaciones base WW, con una arquitectura mixta de equipos de interior y de intemperie.
- La arquitectura de estaciones terminales WW, que consta de equipos interiores y de intemperie. Un número de terminaciones de red pueden conectarse a la misma terminación de radio.

Una red individual se compone de:

- Múltiples WWTS: cada abonado está equipado con una WWTS que proporciona acceso y adaptación al sistema.

- Una WWBS que sirve muchas WWTS desde una posición centralizada, a través de una línea de radio de visión directa. Proporciona las interfaces apropiadas entre el acceso radio y la red troncal, y con el centro de gestión.
- El Centro de Gestión –común para varias células–, que proporciona las interfaces para la gestión de servicio del operador.

## Aplicaciones

El Alcatel 9900 WW es muy apropiado para un amplio rango de aplicaciones, aunque sólo las principales son analizadas en este artículo. Por considerarlo conveniente, han sido separadas por distintos tipos de servicios:

- servicios de líneas alquiladas.
- servicios conmutados.
- servicios de datos.
- servicios de vídeo.

Esta división no implica que solamente un servicio pueda ser proporcionado al mismo tiempo. Como ejemplo, una instalación de abonado de interior puede equiparse para tratar servicios conmutados y de datos, tales como conexiones E1/T1 e interfaces Ethernet para interconexión a Centralitas Privadas (PBX) y a aplicaciones Internet/Intranet.

## Servicios de líneas alquiladas

Los servicios de líneas alquiladas proporcionan conexiones transparentes E1/T1 o fraccionadas E1/T1, entre las estaciones terminales WW y la estación base WW. En el caso de una interfaz fraccionada E1 ó T1, una función de ordenamiento se implanta en la estación base. Los recursos de radio se asignan estadísticamente por el sistema de gestión de la red.

La interfaz de red está basada en una conexión de nxE1 o T1 que está disponible en la WWBS.

Las aplicaciones típicas son:

- Interconexiones de Centralitas Privadas (PBXs).
- Servicios de datos o de líneas alquiladas para conexiones con una Red de Área Amplia (WAN), basadas en

líneas alquiladas a través de concentradores, Dispositivos de Acceso de Retransmisión de Tramas (FRAD), puentes o enrutadores.

- Transporte Celular, Sistema de Comunicación Personal (PCS) y de Bucle Local de Radio (WLL).

## Servicios conmutados

Los servicios conmutados proporcionan acceso a las comunicaciones tradicionales de voz y a la RDSI. En este caso, los recursos de radio se asignan dinámicamente (anchura de banda bajo demanda), de acuerdo con las condiciones de la red (cuelgue/descuelgue, petición de canal D de llamada, etc.), optimizando así el uso de la anchura de banda de radio disponible.

La interfaz de red es una interfaz concentrada (V.5.2 ó GR303) hacia la central local sobre conexiones directas nxE1/T1.

Las aplicaciones típicas son:

- Múltiples Líneas de Servicios Telefónicos Tradicionales (POTS).
- Múltiples accesos básicos (2B+D) RDSI, utilizando la interfaz U de línea para voz, datos, videoconferencia, etc.

## Servicio discontinuo de datos.

Para servir todas las necesidades de telecomunicaciones de los usuarios Pyme, SOHO y residenciales no basta con proporcionar exclusivamente comunicaciones de voz. En consecuencia, el Alcatel 9900 WW ha sido diseñado para tratar la transmisión de paquetes de alta capacidad para poder proporcionar servicios discontinuos de datos.

Las tecnologías de Acceso Múltiple por División Temporal (TDMA) y la de Modo de Transferencia Asíncrona (ATM), permiten que los recursos de radio puedan ser asignados dinámicamente y, de esta forma, incrementar el volumen de tráfico que puede ser enviado a través del espectro radio disponible.

Cada usuario recibe la anchura de banda requerida y solamente cuando la necesita, con tanta eficacia como sea posible. Existe disponibilidad instantánea por usuario de tasas de capacidad de hasta varios Mbit/s.

Las aplicaciones típicas son:



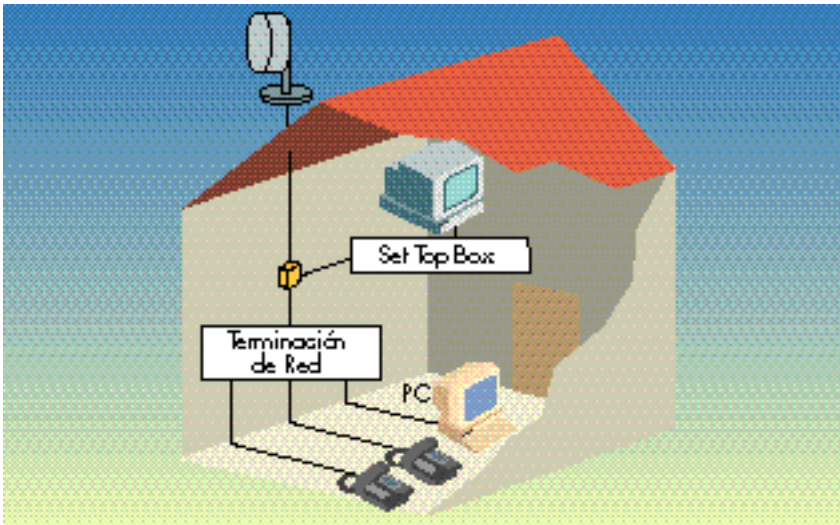


Figura 2 - Configuración del Alcatel 9900 WW para aplicaciones residenciales.

- Acceso a Internet.
- Intranet.
- Interconexión de Redes de área Local (LANs).

Estas aplicaciones son especialmente atractivas para los usuarios residenciales, SOHO y de empresas medianas y pequeñas.

### Servicios digitales de vídeo

El Alcatel 9900 WW es idóneo para las aplicaciones digitales de multidifusión de vídeo. Además, un canal de retorno puede ser añadido al sistema de multidifusión cuando tanto el controlador de recepción de vídeo (Set Top Box) estándar, como la unidad terminal del abonado de interior, pueden

compartir el mismo cable coaxial (a través de un separador) y la misma unidad exterior. Este camino de retorno puede utilizarse para servicios de pago por visión, información bajo demanda, supervisión de vídeo y aplicaciones generales de Internet. La **Figura 2** muestra una configuración para aplicaciones residenciales.

### Descripción de los componentes

La **Figura 3** muestra los principales componentes del sistema, los cuales se encuentran distribuidos en tres posiciones:

- La estación central, donde se encuentran todos los componentes comunes de la red.

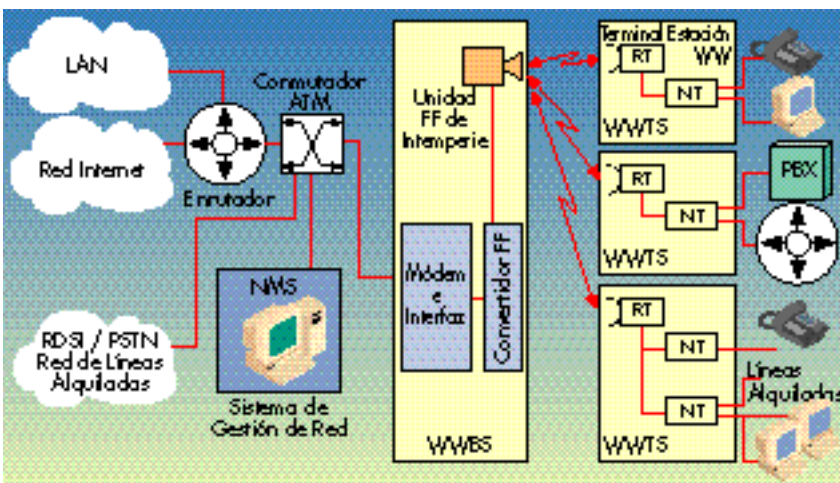


Figura 3 - Principales componentes del Alcatel 9900 WW.

- La estación base WW, que contiene el equipo central.
- La estación terminal WW, que contiene el equipo del usuario.

La estación terminal WW consta de:

- La terminación radio, incluyendo la antena direccional de transmisión/recepción y la unidad transceptora de Radio Frecuencia (RF). Una pequeña antena parabólica (menos de 30 cm. de diámetro) proporciona la ganancia y la direccionalidad al sistema. La unidad RF es bidireccional, lo que permite acceder a la WWBS.
- La terminación de red, que proporciona la alimentación y las interconexiones coaxiales a la terminación de radio. Actúa como una interfaz entre los datos modulados a través del canal radio y el equipo terminal del usuario final.

La estación base WW consta de:

- Un grupo de antenas omnidireccionales o de sector. En el segundo caso, el área que tiene que ser servida por la WWBS está cubierta por una antena con una anchura del rayo horizontal de 90°; se necesitan cuatro para proporcionar una cobertura total.
- El módem y la unidad de interfaces, que proporciona la interfaz entre los datos concentrados de banda base y la parte de radio. Proporciona acceso a los recursos radio a través del Control de Acceso Medio (MAC), así como también una interfaz de red y las funciones de módem.
- El convertidor RF, que suministra la conexión coaxial y la alimentación a las unidades transceptoras. Agrupa las frecuencias intermedias de transmisión y recepción, y multiplexa toda la información sobre un único cable.
- Una o más unidades RF de intemperie, que permiten la comunicación radio con las estaciones terminales.
- Un multiplexor opcional de adición/extracción o terminales radio SDH/SONET en la parte de transporte, para acceder a los principales anillos ópticos.

La estación central consta de:

- El Sistema de Gestión de Red (NMS), que proporciona toda la gestión de red del sistema.
- Terminales ADM o radio SDH/SONET para el transporte de datos a las estaciones base WW.
- Conmutador ATM, que agrupa varias estaciones base WW en el mismo enrutador o nodo de acceso remoto de banda ancha.
- Enrutador o nodo de acceso de banda ancha, que da acceso a una red de Protocolo Internet (IP).
- La misma Unidad de Gestión Aire (AMU).

La **Tabla 1** resume las principales características del Alcatel 9900 WW.

### ■ Dimensionamiento y Planificación del Sistema

Como regla general, los enlaces de radio tienen que estar en una línea de visión directa. Dependiendo de la disponibilidad requerida y del régimen de lluvias de la región de la Unión Internacional de Telecomunicaciones-Radio (UIT-R) en la que la radio es instalada, las longitudes de salto típicas, usando una banda de 28 GHz, se muestran en la **Tabla 2**.

Cuando se diseña un sistema, es necesario, primeramente, determinar (con los datos disponibles) si toda la zona puede cubrirse por una única estación base WW. Si no es así, el área que tiene que recibir cobertura se divide en cuadrantes, como se ilustra en la **Figura 4**; la capacidad de reutilización de frecuencias del sistema permite el uso de un conjunto limitado de frecuencias.

Se utilizan cuatro frecuencias, basándose en los siguientes supuestos:

- La utilización de antenas sectoriales en la WWBS.
- Utilización de antenas direccionales en la WWTS.
- Todos los terminales están en la línea de visión directa con la estación base.
- Propagación espacial libre.
- Interferencias despreciables con los canales adyacentes.
- Las señales útiles y las interferencias son atenuadas con la misma magnitud en el caso de lluvia.

En un determinado cuadrante, el número de canales radio está condicionado por el tráfico que tiene que tratarse. Es, por lo tanto, importante la obtención de una estimación precisa de dicho tráfico. El objetivo es determinar el número, distribución geográfica y perfil de cada tipo de tráfico de abonado (tráfico de voz, de líneas alquiladas y de datos).

Si, para un cuadrante básico, la capacidad calculada excede la capacidad de tratamiento del número máximo de radios utilizables, la célula es muy grande y tendrá que reducirse su tamaño para garantizar una buena cobertura. Esto se hace simplemente incrementando el número de estaciones base WW.

### ■ Servicios

#### Instalación

La planta típica de un sistema WWBS depende de la topología de la red, que podría incluir radio punto-a-multipunto SDH/SONET y/o multiplexores de adición/extracción, y la posibilidad de un conmutador ATM. Naturalmente, ello dependerá también de la capacidad requerida y del esquema de protección.

La estación terminal AWW consta de una unidad de radio de intemperie y varias unidades de interior, como se muestra en la **Figura 5**. En algunos

- Red de radio de banda ancha que utiliza internamente transporte ATM.
- Integración de voz, datos y vídeo a muy alta velocidad.
- Eficaz transporte de paquetes con mínimo retraso de retorno.
- Soporte de la clase Múltiple Calidad de Servicio (QoS).
- Arquitectura de distribución micro-celular Punto-a-Multipunto.
- Bandas de frecuencias múltiples.
- Antenas sectoriales u omnidireccionales en la WWBS.
- Reutilización de frecuencias entre células.
- Canalización hacia el acceso: 7/14/28 MHz ó 10/20/40 MHz.
- Canalización hacia el conmutador: 3,5/7 MHz ó 5/10 MHz.
- Cuatro sectores (90°), hasta 4x34 Mbit/s por sector, desde la WWBS hacia el usuario (de acuerdo con la canalización).
- Asignación dinámica de la frecuencia y anchura de banda bajo demanda desde el usuario hacia la estación WWBS.
- MAC que soporta la calidad de servicio ATM.
- Estaciones terminales WW que suministran: servicios conmutados POTS/RDSI, nx64 Kbit/s, líneas alquiladas nxE1/T1, y Ethernet estándar 10Base T o interfaces ATM capaces de tratar la transmisión discontinua de datos.
- Estaciones base WW, que proporcionan las interfaces de red, tales como ATM (OC3/ TM1) para transmisión discontinua de datos y nxE1/T1 para todos los otros servicios (telefonía, líneas alquiladas).
- Sistema de gestión de red basado en el Single Network Management Protocol (SNMP); utiliza HP OpenView y está integrado con la plataforma general de gestión de Alcatel.
- Estándares de Digital Audio Visual Council (DAVIC).

**Tabla 1 - Principales características de sistema del Alcatel 9900 WW.**

Disponibilidad	Regiones lluviosas UIT			
	C	D	E	F
(28 GHz)				
99,9%	6,2	5,7	5,3	4,8
99,99%	4,0	3,5	3,2	2,7
99,995%	3,4	3,0	2,7	2,3

**Tabla 2 - Típicas longitudes de salto, utilizando la banda de 28 GHz.**

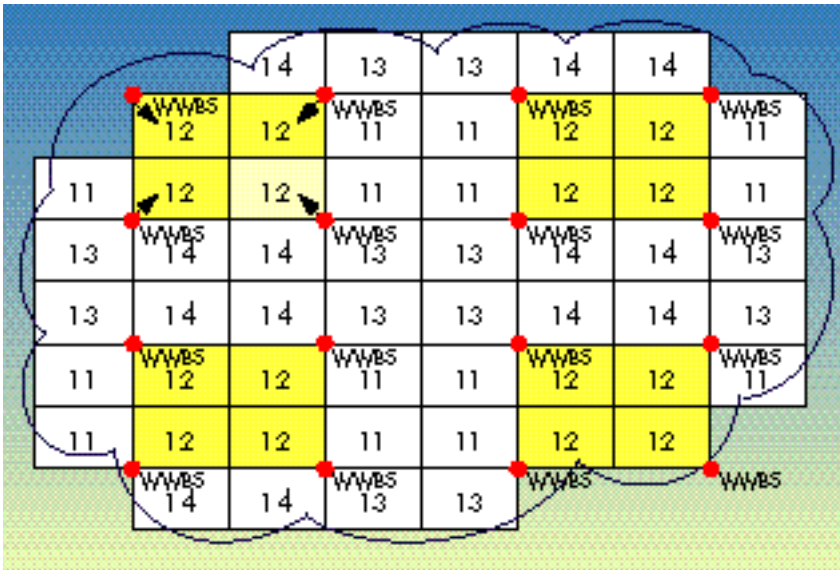


Figura 4 - Representación de las fuentes de interferencias de co-frecuencia para una determinada zona.

casos, los IDUs pueden situarse en las partes comunes del edificio en donde puedan ser compartidas por varios clientes. Una IDU puede instalarse en un bastidor estándar ETSI de 19 pulgadas, o como una única unidad de escritorio.

La unidad terminal se ha diseñado para permitir su rápida instalación y puesta en servicio. Una herramienta dedicada al servicio permite alinear la antena con facilidad.

### Planificación de la red

Es necesario planificar la red antes de que sea desplegada. La parte principal del estudio implica la obtención de los siguientes parámetros:

- Área a la que debe darse cobertura: mapa del área (mapa topográfico, si es posible) y de todas las subregiones, información sobre la cobertura terrestre (edificios, árboles, etc.), detalles sobre legislación referente a construcciones, y datos sobre las condiciones climáticas (clasificación de la UIT sobre regiones lluviosas).
- Definición del perfil de los usuarios, incluyendo densidad de población y variaciones anuales, clasificación de casas y pisos por edificio, tipos de abonados (residencial, SOHO, pequeña empresa, empresa mediana, gran corporación), si hay estaciones bases celulares/PCS/WLL para conectarse, y los servicios requeridos por cada tipo de usuario

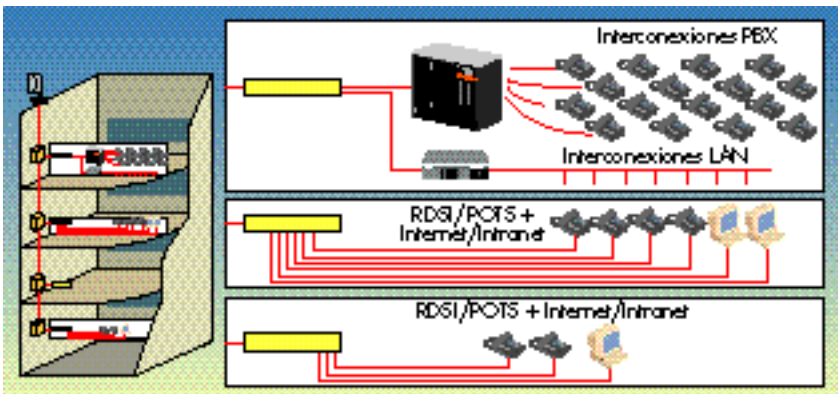


Figura 5 - Estación terminal WW compuesta de una unidad de radio de intemperie y varias unidades de interior.

(POTS, RDSI, nxE1/T1 o fraccional E1/T1, Ethernet, ATM).

- Otros datos, tales como tasas de penetración de abonados y temas legales (bandas de frecuencias disponibles, división de las bandas de frecuencias en canales), permisos administrativos para transmisión radio (límites reales de potencia isotrópica radiada, problemas de arquitectura, etc.).

La planificación de red debe basarse en una estrategia que minimice o bien la anchura de banda de radio, usando radios máximos de las celdas, o bien tomando los datos finales donde las limitaciones son principalmente el resultado de la densidad de tráfico, más que las condiciones de propagación. Naturalmente, cuando el mercado cambia es posible moverse de una estrategia a la otra.

Otros datos son también necesarios antes de que el sistema pueda desplegarse. Entre ellos se incluyen: el estudio de los mapas (bases de datos digitales) para señalar posibles ubicaciones de las estaciones base WW y detalles de la estructura de la red para identificar las ubicaciones de las centrales y las de los equipos de transmisión. Se hace necesario también un estudio que ayude a identificar las posiciones que son apropiadas para la cobertura de radio.

Alcatel utiliza una potente herramienta de planificación de la red de radio para posicionamiento de los caminos, análisis de caminos y cálculos del presupuesto de los enlaces, tomando en cuenta las fuentes locales de interferencias a lo largo de los enlaces. Esta herramienta toma los datos de entrada de la base de datos digital de los edificios, altitudes y cobertura terrestre (Figura 6).

### Conclusiones

Los sistemas de acceso radio punto-a-multipunto de banda ancha pueden ser utilizados para proporcionar la conexión de la última milla con los abonados. En muchas situaciones, ofrecen una solución de acceso que puede competir con soluciones cableadas (fibra,



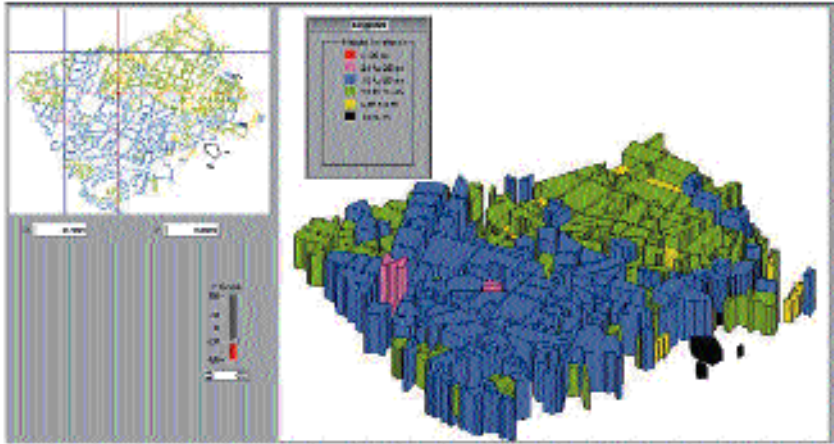


Figura 6 - Base de datos digital de edificios, altitud y cobertura terrestre.

cobre o híbridas), tanto en términos de servicio como de coste.

Los sistemas Alcatel 9900 WW PMP cumplen las necesidades de los operadores tradicionales y ofrecen una solución rentable a los nuevos operadores que intentan entrar en el mercado del bucle local.

La tecnología radio ofrece importantes ventajas derivadas de su rápido despliegue y limitados costes iniciales. Y todavía más, ofrece soluciones que pueden personalizarse para cumplir con las necesidades de los distintos tipos de aplicaciones.

- Una variedad de servicios que van desde servicios avanzados de telecomunicaciones (por ejemplo, telefonía RDSI), hasta servicios de banda ancha (líneas alquiladas, acceso rápido a Internet, transmisión de datos a alta velocidad, vídeo, etc.).
- Despliegue en áreas urbanas y suburbanas.
- Satisface las necesidades de los clientes residenciales, SOHO, Pymes y corporaciones.

También puede, por supuesto, satisfacer cualquier combinación de las necesidades anteriormente dichas.

**Michel Peruyero** es Director de la Línea de Producto para el Alcatel 9900 WW y Gestión de Red en el Grupo de Acceso Radio de Alcatel Access Systems Division, en Nanterre, Francia.

# ACCESO INTERNET CON TECNOLOGÍA DECT

J. NAVARRO VICEDO  
V. QUÍLEZ SÁNCHEZ

Alcatel esta desarrollando un sistema inalámbrico, basado en la tecnología DECT, capaz de ofrecer un acceso eficiente a Internet.

## ■ Introducción

¿Qué podemos añadir de novedoso respecto a Internet? Universalmente reconocida como la última revolución en el sector de las telecomunicaciones, Internet está cambiando nuestros hábitos de conducta de una forma espectacular. El ritmo de crecimiento de Internet es tal, que las previsiones apuntan a que, en pocos años, constituirá el segundo servicio más demandado (después de la voz) a escala mundial, incluso en los países en vías de desarrollo.

Un crecimiento tan explosivo requiere una respuesta adecuada por parte de los suministradores en todas sus gamas de productos.

Para satisfacer este objetivo, Alcatel está desarrollando una solución de bucle de abonado inalámbrico, basado en

	Mercado anual de acceso Internet (millones de líneas)				
	1998	1999	2000	2001	2002
Total negocio	10	17	24	30	33
Total residencial	21	35	48	60	67
Total urbano	24	40	56	69	76
Total rural	7	12	16	21	24
Total acceso a Internet	31	52	72	90	100

Tabla 1 - Crecimiento del mercado de Internet a nivel mundial hasta el año 2002 (cifras no acumuladas).

la tecnología DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication), que permitirá disponer de acceso eficiente a aplicaciones de Internet en sus productos de acceso radio.

## ■ Proyecciones del Mercado Internet Vía Radio

Al objeto de encontrar la demanda de mercado para acceso Internet en productos de acceso radio, examinaremos inicialmente las previsiones globales de acceso radio [1]. La **Figura 1** indica las predicciones del mercado de acceso radio a escala mundial, hasta el año 2002, en términos de líneas instaladas.

Por otro lado, la **Tabla 1** resume las cifras estimadas globales de acceso Internet, utilizando todas las tecnologías posibles.

Las previsiones de acceso Internet vía radio se han clasificado en dos segmentos dependiendo del modo utilizado: circuito o paquete. Las siguientes hipótesis se consideran relevantes para este análisis:

- Desde el punto de vista de los usuarios, los módems analógicos son actualmen-

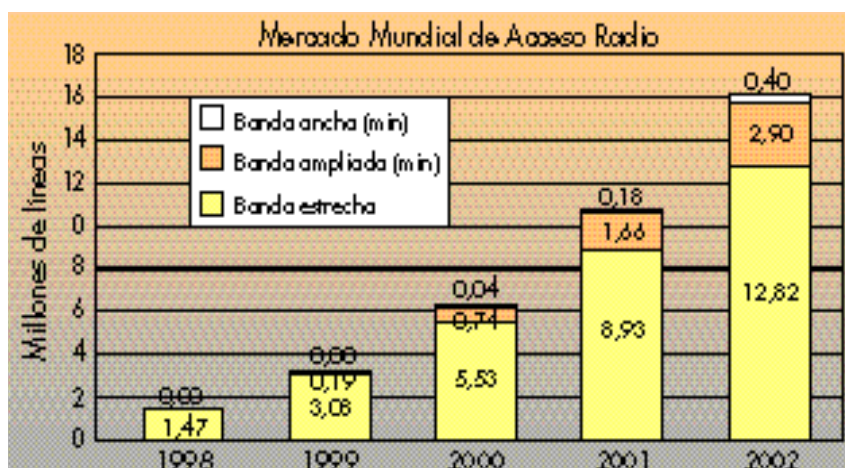


Figura 1 - Mercado mundial de sistemas de acceso radio.

te los dispositivos más ampliamente utilizados para acceder a las aplicaciones de Internet. Como consecuencia, el tipo de conexión más común, hoy en día, es en modo circuito de baja velocidad (acorde con la propia tecnología de los módems). Esta restricción en la velocidad de transmisión de los módems es el factor limitativo más importante para los usuarios. De acuerdo a muchas encuestas realizadas sobre el particular, la mayor parte

de estos usuarios estarían dispuestos a aceptar una cuota adicional, si ello les proporcionara un acceso a Internet más rápido.

- Los operadores dispuestos a proporcionar acceso inalámbrico (es decir vía radio) a Internet dan marcada importancia a los siguientes aspectos:
  - El servicio Internet tiene un enorme potencial para sus clientes.
  - Las sesiones típicas Internet pueden durar desde varios minutos hasta ho-

ras, sin embargo el tráfico promedio a lo largo de la sesión es bajo.

- Las sesiones de Internet son asimétricas por naturaleza e implican patrones de tráfico a ráfagas.
  - Un uso intensivo del servicio Internet requiere, necesariamente, un método de acceso eficiente que permita soportar el mayor número posible de sesiones simultáneas por Megahertzio de espectro de frecuencia disponible.
  - Una solución de acceso basada en modo paquete permite al operador compartir muy eficientemente los recursos de la red de acceso, haciendo posible que más usuarios tengan sesiones simultáneas activas. Ello permite al operador el poder reducir sus tarifas de acceso Internet y mantener, al mismo tiempo, márgenes comerciales razonables.
- Por todo lo anterior, la operación en modo paquete aporta al operador considerables ventajas respecto del modo circuito.

- Actualmente hay, y lo seguirá habiendo durante años, un mercado importante de acceso a Internet basado en modo circuito. Sin embargo, el porcentaje del modo circuito bajará en el futuro debido a la aparición progresiva de soluciones de acceso a Internet basadas en modo paquete, las cuales crearán por sí mismas un mercado adicional localizado predominantemente en los países desarrollados en los que, hasta el momento, no se han visto soluciones de acceso radio, debido fundamentalmente a su carencia de soporte de servicios de Internet y de datos en general.
- Alcatel tiene la intención de poner en el mercado soluciones de acceso radio para aplicaciones Internet, a partir de la segunda mitad de 1999.

Basado en las consideraciones anteriores, la **Tabla 2** indica el potencial del acceso radio como soporte de aplicaciones de Internet.

Es conveniente resaltar que el acceso a Internet y los servicios en modo paquete serán los factores que impulsarán la introducción de los sistemas de acceso radio en países desarrollados, pues darán a los nuevos operadores la capacidad de poder ofertar servicios competitivos a sus abonados, poniéndoles en

	Acceso Internet sobre radio (Millones de líneas por año)				
	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Sólo modo circuito</b>					
Países desarrollados	0,02	0,08	0,32	0,98	2,11
Países en desarrollo	0,03	0,09	0,25	0,60	1,04
<b>Total</b>	<b>0,05</b>	<b>0,17</b>	<b>0,57</b>	<b>1,58</b>	<b>3,15</b>
<b>Coexistencia de circuitos y paquetes</b>					
Países desarrollados	0,02	0,12	0,48	1,42	3,00
Países en desarrollo	0,03	0,09	0,25	0,60	1,04
<b>Total</b>	<b>0,05</b>	<b>0,21</b>	<b>0,73</b>	<b>2,02</b>	<b>4,04</b>
<b>Coexistencia de circuitos y paquetes</b>					
Circuitos	0,05	0,18	0,40	0,89	1,55
Paquetes	0,00	0,03	0,33	1,13	2,49
<b>Total</b>	<b>0,05</b>	<b>0,21</b>	<b>0,73</b>	<b>2,02</b>	<b>4,04</b>

Tabla 2 - Potencial del mercado de Internet sobre radio.

	Internet sobre radio cuando circuitos y paquetes coexisten (miles de líneas anuales)				
	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Países desarrollados</b>					
Residencial	19,9	100,7	400,7	1.187,3	2.507,7
Profesional (SOHO)	1,4	7,1	28,0	83,1	175,5
Pequeñas empresas	2,0	10,1	40,1	118,7	250,8
Medianas empresas	0,5	2,5	10,0	29,7	62,7
<b>Total</b>	<b>23,8</b>	<b>120,4</b>	<b>478,8</b>	<b>1.418,9</b>	<b>2.996,7</b>
<b>Países en desarrollo</b>					
Residencial	20,5	64,4	185,7	439,0	759,6
Profesional (SOHO)	2,5	7,7	22,3	52,7	91,2
Pequeñas empresas	3,5	11,0	31,8	75,3	130,2
Medianas empresas	0,9	2,8	8,0	18,8	32,6
<b>Total</b>	<b>27,4</b>	<b>86,0</b>	<b>247,8</b>	<b>585,7</b>	<b>1.013,5</b>

Tabla 3 - Potencial de usuarios de Internet con soluciones de acceso radio hasta el año 2002.



situación de competir con los operadores tradicionales o establecidos.

La **Tabla 3** indica el número potencial de usuarios Internet con soluciones de acceso radio. No se espera que las grandes empresas sean usuarias típicas de acceso radio, de modo que el abanico de usuarios potenciales comprende desde los abonados residenciales a las empresas de tamaño medio.

### ■ Características del Tráfico Internet [2]

Al objeto de intentar elaborar un modelo apropiado de tráfico Internet, se han

analizado en detalle las características correspondientes a los diversos protocolos utilizados en la amplia gama de las aplicaciones de Internet. La **Figura 2** muestra la evolución de los servicios mas importantes [3]. Existe una clara tendencia a potenciar la utilización del protocolo HTTP (Hyper Text Transfer Protocol), en estos momentos un elemento fundamental de la WWW (World Wide Web) con una contribución superior al 50% del tráfico de Internet.

### Perfiles de los usuarios

Para obtener información del perfil de los usuarios, se han realizado encues-

tas indicativas del comportamiento de los mismos, recopilando datos sobre parámetros tales como número de sesiones por hora, número de horas conectadas por semana, etc. Las tasas de penetración de Internet en Estados Unidos, en la actualidad, están en el entorno del 30%. De los usuarios estadounidenses habituales, mas del 80% de los consultados en las encuestas utilizan Internet diariamente, la mayor parte de ellos entre una y cuatro veces al día, dedicando entre 10 y 20 horas a la semana.

### Ficheros transmitidos

La mayoría del tráfico Internet corresponde a un patrón cliente-servidor, con ficheros transmitidos desde el servidor bajo petición del cliente. El análisis de estos ficheros y su evolución a lo largo del tiempo, es muy relevante para comprender las características del tráfico. La popularidad de la WWW y la proliferación de visualizadores y buscadores web, capaces de manejar una amplia variedad de formatos gráficos, han contribuido notablemente a aumentar el número de ficheros transferidos. Todos estos factores influyen en las características del tráfico. La **Figura 3** indica la distribución de los distintos tipos de ficheros transferidos sobre Internet. [4]

El análisis anterior sobre los tipos de ficheros debe complementarse con un estudio sobre los tamaños de los mismos para poder estimar la carga de tráfico. Muy frecuentemente, estos tamaños de ficheros se analizan sin considerar sus diferentes tipos. La **Tabla 4** muestra las estadísticas mas importantes de las páginas HTML. A partir de estas figuras, puede apreciarse que las páginas HTML siguen una distribución de probabilidad del tipo sub-exponencial.

Medidas efectuadas en la Universidad de Málaga y en el edificio de Alcatel en Madrid han dado resultados semejantes, con sesiones promedio de alrededor de 2.000 segundos e intervalos medios entre sesiones del orden de los 9.000 segundos. Para un sistema basado en conmutación de circuitos, esto implicaría una carga de tráfico media del

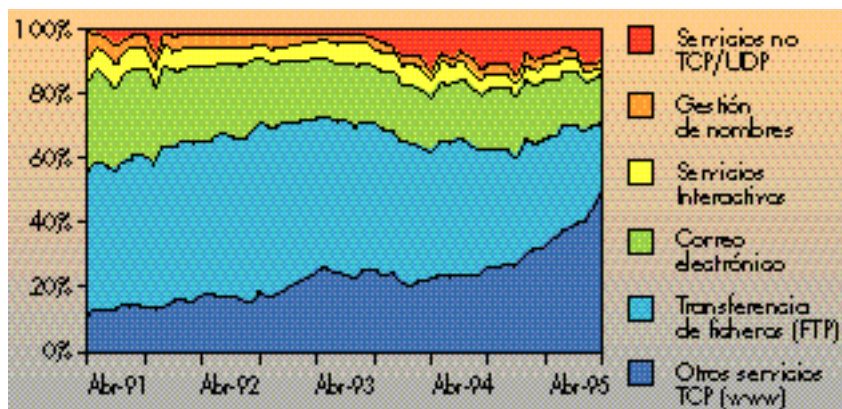


Figura 2 - Evolución de los servicios principales de Internet, entre 1991 y 1995.

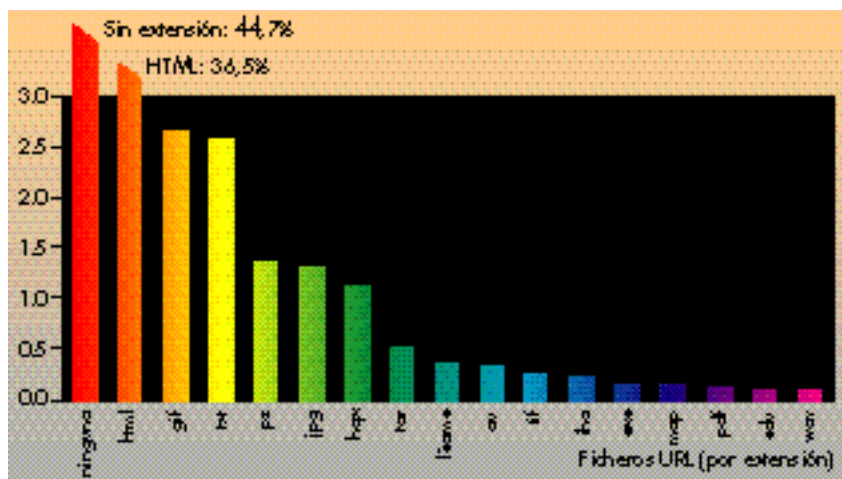


Figura 3 - Tipos principales de ficheros (por extensión).

Media	Mediana	Desviación típica	Fuente
4,4 Koctetos	2,0 Koctetos	--	[5]
6,5 Koctetos	2,0 Koctetos	31,7 Koctetos	[4]

Tabla 4 - Principales estadísticas de los tamaños de los ficheros HTML.

orden de los 200 mE, comparado con valores 30 veces menores si se utilizan conexiones en modo paquete.

### Características

Otra característica de Internet es la amplia variedad que presenta en modos de conexión, protocolos y aplicaciones. Todos estos factores dificultan el poder encontrar una descripción adecuada del tráfico. Un modelo universal debería de ser capaz de reflejar algunos factores comunes encontrados en la mayoría de las situaciones. Las propiedades mas importantes podrían resumirse en:

- Autosimilitud.
- Comportamiento sub-exponencial.
- Marcada asimetría.

### Autosimilitud

En contraste con el tráfico de voz, caracterizado por procesos de Poisson según los cuales la distribución estadística se aproxima asintóticamente a distribuciones normales, la distribución del tamaño en las ráfagas de información de Internet es virtualmente la misma, independientemente del tiempo de observación (decenas de milisegundos o decenas de minutos). A esta propiedad se le conoce como comportamiento fractal o autosimilitud (el comportamiento genérico es el mismo y no depende del tiempo de observación). Mas aún, cuanto mayor es el número de usuarios observados, mayor es el grado de autosimilitud.

### Comportamiento sub-exponencial

Al analizar el tráfico Internet, hay que hacer una distinción entre los procesos iniciados por los usuarios y los procesos iniciados por la red.

Las decisiones humanas se pueden asemejar a procesos, de manera que el tiempo transcurrido entre sesiones puede caracterizarse en términos de distribuciones exponenciales. Sin embargo, la actividad de la red responde a procesos más complejos. Algunos parámetros, tales como la duración o el tamaño de una transmisión dada o el intervalo entre dos paquetes consecutivos, siguen habitualmente distribuciones de tipo sub-exponencial, caracterizadas por tener varianza infinita y, por tanto, proba-

bilidades no nulas para cualquier valor, por muy grande que este sea.

Este comportamiento hace difícil el pretender encontrar generadores y modelos adecuados de tráfico. Alcatel está desarrollando actualmente un modelo de tráfico WWW estructuralista de 4 niveles, en el que cada uno de estos niveles se adecua a las especificidades de sesión, conversación, conexión y paquete respectivamente.

### Asimetría

A partir de medidas y observaciones, y teniendo en cuenta las aplicaciones Internet mas predominantes, se concluye claramente que el tráfico descendente es muy superior al tráfico ascendente. Se ha encontrado que el 99% de los paquetes ascendentes corresponden a paquetes de reconocimiento, con tamaños de tan sólo 40 bytes por paquete, mientras que, para el tráfico descendente, existen proporciones parecidas entre estos paquetes de reconocimiento y paquetes de otros tipos, generalmente de tamaños mucho mayores. Los tamaños de estos últimos dependen de los procesos de segmentación en las redes intermedias, siendo 1.500 bytes un valor típico.

### ■ Acceso Inalámbrico a Internet: Modelo Extremo-a-Extremo

Para comprender mejor el papel que puede jugar un sistema de acceso ra-

dio en la provisión de servicios de acceso a Internet, es útil tener una visión extremo-a-extremo de la arquitectura de red, tal como se muestra en la **Figura 4**. En ella distinguimos tres dominios, que se corresponden con las áreas donde típicamente operadores especializados pueden jugar un papel protagonista. Esto no impide, sin embargo, que una misma organización pueda actuar simultáneamente en más de un dominio (como, por ejemplo, operador de acceso y operador de red).

El dominio del proveedor de servicios de red puede considerarse como la entrada al mundo Internet. Es el punto final del acceso a Internet, aunque no lo sea de la comunicación Internet en sí, la cual va más allá de ese punto, pudiendo llegar a cualquier extremo del planeta.

Dentro de este dominio se encuentran los llamados ISPs (Internet Service Providers o Proveedores de Servicio Internet) que facilitan el acceso a la Internet global a sus abonados. Los ISPs necesitan no sólo de routers capaces de manejar el tráfico IP (Internet Protocol) desde y hacia los usuarios, sino también las bases de datos y entidades de gestión necesarias para dar soporte a la gestión de abonados, tarificación, atención al cliente, etc.

También se ha considerado dentro de este dominio a las redes privadas de grandes corporaciones (intranets), dada la tendencia, cada vez más extendida, de que sus empleados accedan a

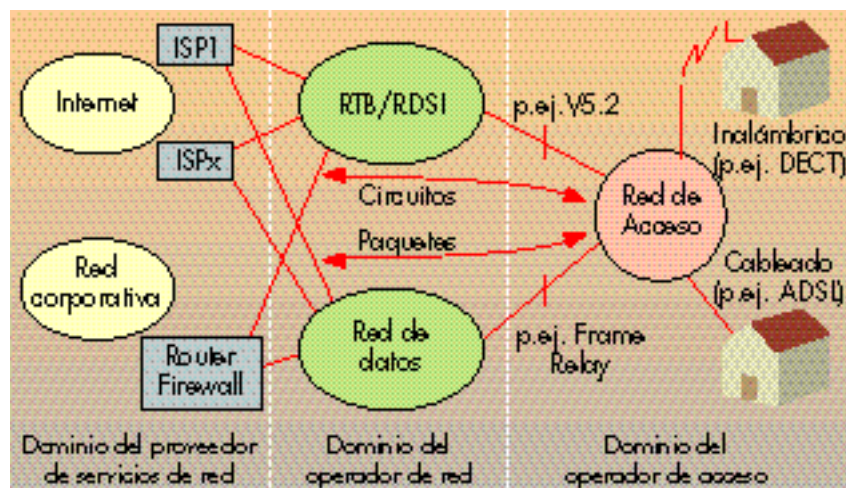


Figura 4 - Arquitectura de red extremo-a-extremo.

ellas de forma remota. Normalmente, el acceso a una Intranet corporativa está protegido mediante un elemento de seguridad (firewall) que impide a los intrusos acceder a los recursos de la compañía.

El dominio del operador de red comprende los servicios y redes de telecomunicación tradicionales. Su papel fundamental consiste en proporcionar servicios de transporte basados, bien en circuitos conmutados proporcionados por la Red Telefónica Básica (RTB) o Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), o bien mediante conmutación de paquetes (X.25, Frame Relay, etc.).

Finalmente, el dominio del operador de acceso proporciona los medios para conectar a los usuarios a las infraestructuras de transporte y conmutación. Para ello, existe una gran variedad de tecnologías disponibles entre las que se incluyen pares de cobre, fibra, cable y líneas digitales asimétricas (ADSL). Asimismo, la tecnología inalámbrica DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) constituye una alternativa atractiva en este ámbito. Desde la red de acceso pueden utilizarse dos tipos de interfaces para la conexión con las redes de la infraestructura de transmisión y transporte: basados en conmutación de circuitos RTB/RDSI (por ejemplo, V5.1/V5.2), o basados en conmutación de paquetes (por ejemplo, Frame Relay).

### ■ Capacidades para Datos en Modo Paquete en DECT

Los estándares DECT desarrollados por el Instituto Europeo de Normalización en Telecomunicaciones (ETSI), definen capacidades de comunicación inalámbrica de alta eficiencia, susceptibles de ser utilizadas en numerosas aplicaciones y entornos. En particular, el ETSI ha definido el perfil RAP (Radio in the local loop Access Profile) [6], para su uso en aplicaciones de acceso radio en el bucle local. Este perfil permite telefonía, datos en banda vocal (VBD), RDSI y servicios de datos en modo paquete. Una estación base DECT puede dar soporte a cualquier

mezcla de estos servicios dentro de la misma área de cobertura.

En el caso particular de los servicios de datos, el perfil RAP define capacidades de transporte de hasta 552 Kbit/s en modo asimétrico, muy adecuado para las características del tráfico Internet. Al utilizar un transporte en modo paquete, los recursos radio son utilizados únicamente mientras se transmite cada paquete y no durante todo el tiempo de la llamada. Los tiempos de silencio, que pueden ser largos en una típica sesión Internet, no consumen ningún recurso radio.

### ■ Familia Alcatel 9800: Transporte de Paquetes Extremo-a-Extremo

La familia Alcatel 9800 proporciona servicios portadores en modo circuito para el acceso a redes de telecomunicación tradicionales (RTB, RDSI) y a redes de datos. Esto permite ofrecer una gran variedad de servicios al usuario final: telefonía, datos en banda vocal, RDSI, líneas alquiladas digitales, etc.

Las aplicaciones de datos en general, y el acceso a Internet en particular, están intrínsecamente orientados al funcionamiento en modo paquete, lo que hace que un transporte en modo circuito no sea el más eficiente en cuanto al aprovechamiento de los recursos. Este problema, que no es especialmente grave en las redes de acceso basadas en pares de cobre con un circuito físico dedicado a cada usuario, adquiere gran importancia en las redes de acceso inalámbricas, en las que los recursos radio son escasos y deben ser compartidos por numerosos usuarios.

La familia A9800 utiliza tecnología DECT para proporcionar acceso a los abonados en una configuración de acceso inalámbrico (WLL). Utilizando los perfiles de servicios de datos DECT normalizados por el ETSI [7], la familia Alcatel 9800 proporciona servicios portadores de paquetes para el soporte eficiente de aplicaciones de datos, tales como acceso a Internet e interconexión de LAN. Al mismo tiempo, los servicios en modo circuito (por ejemplo, telefonía y RDSI) pueden

compartir el espectro con los servicios en modo paquete.

Otros productos de acceso inalámbrico de Alcatel se describen en el artículo de J. García Sánchez, publicado en este mismo número.

### ■ Arquitectura Alcatel 9800

La **Figura 5** representa la arquitectura general de la familia Alcatel 9800 con abonados DECT y servicios en modo paquete.

En las dependencias del usuario, una terminación DECT (WNT, Wireless Network Termination) proporciona los interfaces de servicio. Para el modo paquete DECT se ha previsto un tipo de WNT que incluye dos puertos: uno telefónico analógico y otro de datos de tipo Ethernet, con lo que se permiten comunicaciones independientes y simultáneas de voz y datos.

Como terminal de usuario para acceso a Internet se ha supuesto un ordenador personal (PC) de tipo compatible con un software estándar (Windows 3.1 o posterior) y equipado con una tarjeta de comunicaciones Ethernet. Esto supone un cierto cambio de mentalidad respecto a los usos actuales en entornos residenciales, en los que la mayoría de usuarios utilizan módems conectados por puerto serie y, en menor medida, tarjetas de acceso básico RDSI.

El interfaz Ethernet se ha elegido porque es capaz de aprovechar al máximo los picos de tráfico de 552 Kbit/s ofrecidos por los servicios de datos de DECT y de permitir configuraciones de red local, una característica muy útil especialmente para entornos de pequeña empresa. Además, Ethernet es un estándar de amplia utilización para comunicaciones de datos y las tarjetas para PC de la variante 10Base T se pueden adquirir por el mismo o menor precio que las tarjetas de módem o RDSI.

Las WNT se comunican con las estaciones radio terminales (RST) mediante el interfaz aire que sigue la norma ETSI DECT RAP, permitiendo alcances de hasta 15 Km. desde la estación base. Las RST, que incluyen las



bases y controladores DECT, concentran el tráfico de los abonados inalámbricos hacia las autopistas digitales internas del sistema.

La Estación Base Central (XBS), realiza el control global del sistema y facilita los interfaces de red y de OAM (Operación, Administración y Mantenimiento).

En determinadas configuraciones de la familia Alcatel 9800, es posible extender la cobertura geográfica utilizando un interfaz radio adicional de microondas punto-a-multipunto (M-PMP) entre un punto central y diversas estaciones remotas (hasta 128). En ese caso, se utiliza un protocolo propietario TDM/TDMA (Time Division Multiplex/Time Division Multiple Access) capaz de transportar tráfico tanto en modo circuito, como en modo paquete. En el punto central, la unidad RSC (Radio Station Central) realiza la terminación del protocolo M-PMP.

La estación de OAM (OMS), conectada a la XBS, se utiliza para la configuración del sistema, pruebas y gestión de alarmas.

Los recursos del sistema se reparten entre los servicios en modo circuito y en modo paquete. Este reparto se gestiona de forma dinámica y sin necesidad de realizar ninguna pre-asignación fija a un tipo u otro de tráfico. En el lado de red, el sistema ofrece dos tipos de interfaz: V5.x hacia las redes RTB o RDSI, y un interfaz de datos tipo Frame Relay. Los dos tipos de tráfico mencionados se distribuyen hacia los dos tipos de interfaz, enviándose el tráfico de circuitos

hacia las redes RTB o RDSI, y el de paquetes hacia la red de datos.

Esta estrategia tiene dos ventajas para el operador. En primer lugar, se elimina el riesgo de bloqueo en la central local por el tráfico Internet y, en segundo término, se garantiza un transporte extremo-a-extremo en modo paquete, eliminando innecesarias conversiones circuito-paquete o viceversa.

### Tipos de servicio

La familia Alcatel 9800 ofrece los siguientes tipos de servicios de paquetes para abonados inalámbricos:

- LAN remota.
- LAN remota con emulación de sesión.
- PPP sobre LAN.

Estos tipos de servicio se describen brevemente a continuación.

#### LAN remota

El sistema Alcatel 9800 se comporta como un puente remoto entre dos LAN IEEE 802.3, una en las dependencias del usuario y otra en las dependencias centrales de la compañía. Se dispone de interfaces Ethernet tanto en la WNT (lado usuario) como en la XBS (lado red). El sistema Alcatel 9800 proporciona transporte transparente de tramas IEEE 802.3 entre, por ejemplo, un router conectado a la XBS y un PC conectado a la WNT. La **Figura 6** muestra la pila de protocolos correspondiente.

Para cada usuario del servicio, se establece una conexión virtual semi-permanente entre la WNT y la XBS. Esta conexión no consume recursos radio ni en el interfaz DECT ni en el M-PMP, cuando no hay tráfico a enviar. A cada conexión virtual interna se le asigna un identificador de conexión único.

Tanto en la WNT como en la XBS, el sistema realiza filtrado de tráfico para evitar ser cargado con el tráfico de la LAN local del usuario (por ejemplo, intercambios de PC a impresora). Dado que el sistema Alcatel 9800 trabaja en Capa 2 únicamente, puede aceptar cualquier protocolo de capas superiores.

#### LAN remota con emulación de sesión

Cuando se utilizan circuitos conmutados (módem o RDSI) para el acceso a Internet, se dispone de una serie de protocolos y procedimientos para facilitar el control y gestión de usuarios que no están conectados de forma permanente al servicio. Así, la señalización telefónica convencional se utiliza para el establecimiento y liberación de la llamada, y el PPP (Point to Point Protocol) y otros protocolos de control de red (NCP) relacionados, se utilizan para la autenticación, selección de servicio, asignación dinámica de direcciones IP, etc.

Los interfaces de datos de alta velocidad, como Ethernet, no suelen incorporar protocolos de señalización para control de llamadas. Además, el protocolo PPP no está soportado actualmente sobre interfaces Ethernet. Todo esto lleva a que las facilidades mencionadas en el párrafo anterior no puedan darse, en principio, a abonados que tengan Ethernet como su interfaz de acceso.

Este problema se resuelve introduciendo el concepto de sesión en el entorno LAN, mediante una aplicación cliente-servidor llamada Servicio de Acceso Remoto (RAS) que se carga en el router de acceso (parte servidor) y en el PC del usuario (parte cliente). Dicha aplicación emula las siguientes facilidades de los accesos conmutados:

- *Comienzo y terminación de sesión:* La aplicación cliente presenta un inter-

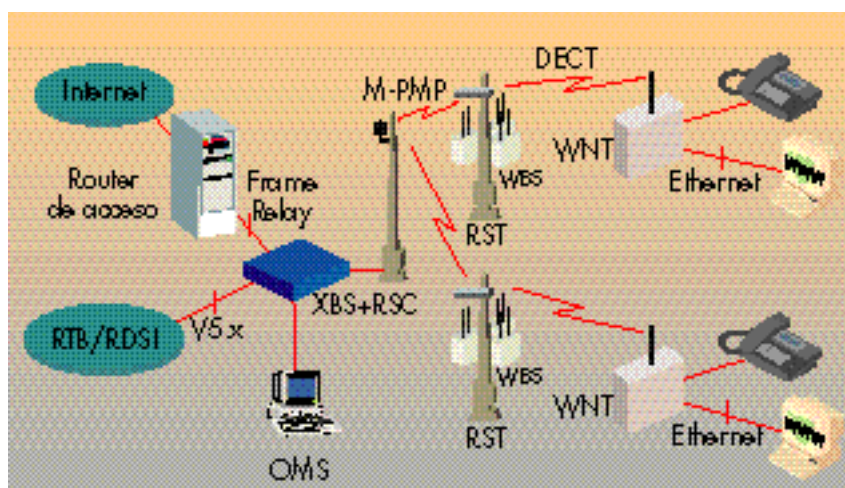


Figura 5 - Arquitectura del Alcatel 9800.

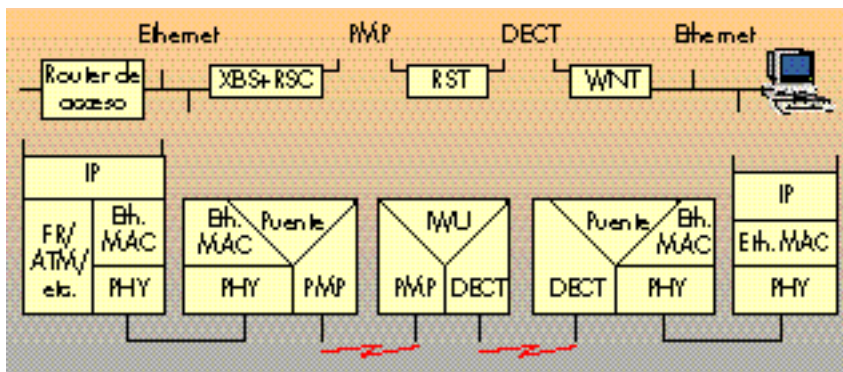


Figura 6 - Pilas de protocolos para el servicio LAN remota.

faz gráfico al usuario que le permite definir varias conexiones (por ejemplo, a diferentes ISPs), y comenzarlas o terminarlas pulsando sobre determinado icono en pantalla.

- **Autorización y selección del servicio:** El servidor determina si el usuario está autorizado o no al servicio solicitado en base a la información proporcionada por el mismo (por ejemplo, número marcado, identidad de usuario, palabra clave, etc.). En caso afirmativo, se selecciona la red y/o servicio correspondiente.
- **Asignación de dirección IP:** Se puede asignar una dirección IP temporal al usuario que se libera al final de la sesión, optimizando así el uso del rango de direcciones IP.

De esta forma, el escenario de acceso Internet usual en los abonados conmutados puede mantenerse cuando éstos disponen de interfaces de datos de alta velocidad, tal como el Ethernet.

### PPP sobre LAN

Este servicio proporciona un soporte completo del protocolo PPP para usuarios con interfaces Ethernet, de igual manera que con conexiones de acceso conmutado. Como se ha indicado anteriormente, el protocolo PPP no forma parte de los protocolos de comunicación en PCs provistos de interfaces Ethernet. Para resolver este problema se utilizan protocolos especiales, llamados túneles, para transportar las tramas PPP entre el PC del usuario y el router de acceso.

La **Figura 7** representa el diagrama de protocolos extremo-a-extremo; se uti-

lizan dos datagramas IP anidados (uno transportando al otro), en cada comunicación entre el PC y el router de acceso. El primero (IP<sup>1</sup>), que utiliza un rango privado de direcciones, es necesario para transportar el protocolo túnel y el PPP sobre él. El segundo (IP<sup>2</sup>), que es el verdadero datagrama de usuario, incluye la dirección asignada mediante el PPP para la sesión en curso.

En el mundo Internet se utilizan diversos protocolos túnel, tales como PPTP (Point to Point Tunneling Protocol) o L2TP (Layer 2 Tunneling Protocol). Algunos de ellos son propietarios, mientras que otros han sido normalizados por el IETF (Internet Engineering Task Force). El servicio PPP sobre LAN requiere armonización en los protocolos túnel utilizados en el PC y en el router de acceso. Actualmente, Microsoft soporta PPTP en Windows 95 y Windows 98 y se espera que soporte L2TP en el futuro.

### Escenarios de aplicación

Estos servicios representan una solución clara y sencilla que puede aplicarse en aquellas situaciones en las que un operador de telecomunicación quiera facilitar un acceso eficiente a diferentes centros de negocio o ISPs. Pueden utilizarse en áreas o países desarrollados por nuevos operadores que no dispongan de infraestructura de acceso, o en áreas nuevas para tener un desarrollo rápido de infraestructura de acceso para datos. La infraestructura inalámbrica del operador de la red se comparte entre los ISPs y las compañías que quieran facilitar de acceso remoto a los usuarios de la zona. De esta manera, se

benefician tanto el operador de la red, que obtiene un rápido retorno de la inversión, como las compañías o ISPs, que no necesitan desplegar o preocuparse de la infraestructura de acceso.

El servicio básico de LAN remota, dada su capacidad limitada en términos de gestión de usuarios y sesiones, es en principio más adecuado para redes corporativas, tal y como se ilustra en la **Figura 8**. El router de acceso puede dirigir los paquetes al destino correcto basándose en la dirección IP, pero todas las funciones de autenticación y seguridad deben ser realizadas por los sistemas propios de la corporación (por ejemplo, firewalls). Es posible realizar asignación dinámica de direcciones IP desde el router de acceso, mediante el protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), habitual en el mundo IP.

El servicio de LAN remota con emulación de sesión puede tener un uso más general, dado que las funciones que realiza el router de acceso se asemejan más a las que se encuentran en aplicaciones de acceso público a Internet. Un escenario típico se ilustra en la **Figura 9**, en la que un operador de red proporciona concentración de tráfico para ISP's o empresas.

El router de acceso termina los protocolos de Capa 2 y concentra el tráfico de abonados inalámbricos dispersos. A partir de ahí, presenta transportes de datos concentrados e individualizados a cada uno de los ISPs o corporaciones a los que atiende. Además de ello, el router de acceso puede realizar las funciones básicas de autenticación, autorización y tarificación en representación de cada ISP. Esto se hace en el llamado modo "proxy" o delegado. El router de acceso recibe los parámetros básicos del usuario y los encamina a su unidad de gestión (MU, Management Unit). La unidad de gestión (MU), a su vez, retransmite los parámetros al centro de gestión del servicio (SMC, Service Management Centre) del correspondiente ISP mediante un protocolo estándar (por ejemplo, Radius). Tras consultar su base de datos interna, el SMC confirma o rechaza la petición del usuario.

Finalmente, los escenarios de aplicación basados en el servicio PPP sobre LAN son muy parecidos al anterior con la

principal diferencia de que las funciones de autenticación, autorización, tarificación y asignación de direcciones IP se realizan mediante el uso del protocolo estándar PPP, en lugar de mediante una aplicación dedicada.

### ■ Posibles mejoras del DECT

La División de Sistemas de Acceso de Alcatel, en estrecha colaboración con

el Centro de Investigación Corporativo, ha iniciado un programa de mejoras del DECT (llamado DECT+), con los siguientes objetivos:

- Reducir el coste por usuario.
- Incrementar la capacidad de tráfico (para voz y datos).
- Mejorar la fiabilidad y calidad de servicio.
- Incrementar las capacidades de datos: 64 Kbit/s en un intervalo de tiempo DECT.

- Mantener compatibilidad hacia atrás.

Estos objetivos deben ser satisfechos a la vez que se minimizan tanto los costes de desarrollo, como el impacto de los cambios en los elementos hardware o software existentes.

El DECT+ con modulación /4 DQPSK, ofrece unas mejores prestaciones para aplicaciones de datos, en general, y para esquemas basados en paquetes, en particular. Esto es así al ser posible transmitir 64 Kbit/s protegidos por un intervalo de tiempo DECT, en lugar de los 24 Kbit/s actuales (32 Kbit/s sin protección). Esto permite un pico de 1.472 Mbit/s en modo paquete, frente a los 552 Kbit/s actuales, lo que representa un factor de mejora de 2,66.

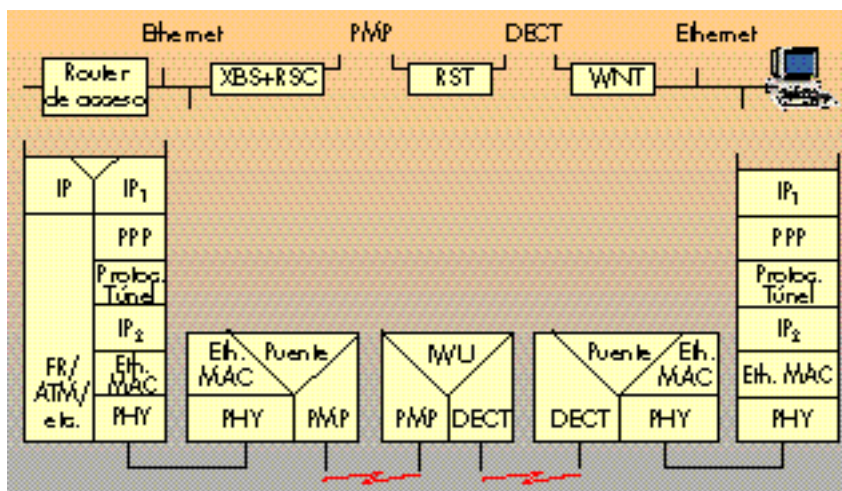


Figura 7 - Pilas de protocolos para el servicio PPP sobre LAN.

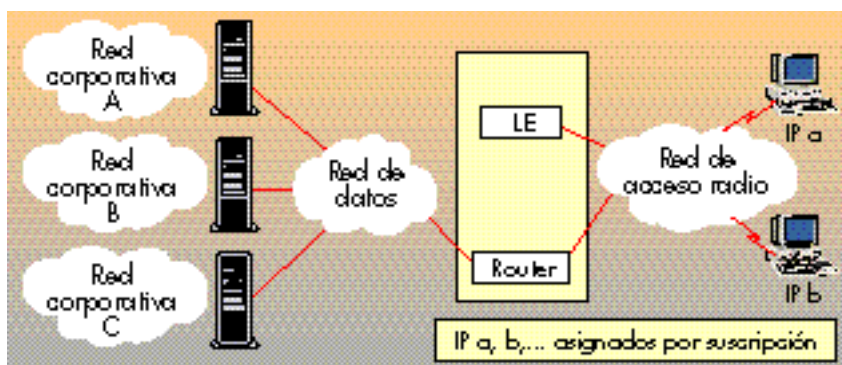


Figura 8 - Escenario del servicio LAN remota.

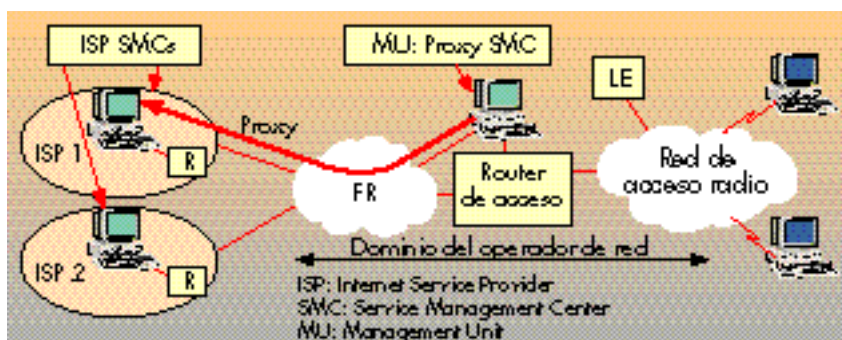


Figura 9 - Concentración de tráfico IP.

### ■ Conclusiones

El estándar DECT ofrece capacidades suficientes para poder desarrollar e implementar soluciones eficientes para aplicaciones Internet en sistemas de acceso radio. Alcatel está actualmente desarrollando un producto de estas características al objeto de satisfacer dos objetivos: por un lado, poder proveer de mejores servicios a los abonados y, por otro, proporcionar una mejor utilización al operador de los recursos del sistema. Las soluciones para proveer datos en modo paquete representarán, por otra parte, la oportunidad de poder desarrollar el mercado de los productos de acceso radio en los países desarrollados.

### ■ Referencias

- 1 ASD-MBD and Competition Analysis: "Internet over WLL: Market Figures", Abril, 1998.
- 2 Alcatel Corporate Research Center Radiocommunications, Madrid: "Internet Traffic Trends", Mayo 1998 (en español).
- 3 NSFNET: "History of Usage by Service". Statistics found at <ftp://nic.merit.edu/nsfnet/statistics/history.ports>, 1995.
- 4 T. Bray: "Measuring the Web", Fifth International World Wide Web Confe-



---

rence, found at [http://www5conf.inria.fr/fich\\_html/papers/P7/Overview.html](http://www5conf.inria.fr/fich_html/papers/P7/Overview.html), París, Mayo 1996.

- 5 A. Woodruff y otros: "An investigation of Documents from the World Wide Web", Fifth International World Wide Web Conference, found at [http://www5conf.inria.fr/fich\\_html/papers/P7/Overview.html](http://www5conf.inria.fr/fich_html/papers/P7/Overview.html), París, Mayo 1996.
- 6 ETSI: "ETS 300 765 Radio local loop Access Profile", 1998.
- 7 ETSI: "ETS 300 701 Data Services Profile, generic frame relay service with mobility" (Service Types A and B, Class 2), 1996.

**J. Navarro Vicedo** es ingeniero de sistemas senior en la organización de Ingeniería del Centro de Competencia de Acceso Radio de Alcatel ASD en Madrid. Actualmente, es jefe de proyecto para el desarrollo de nuevas plataformas en los productos de acceso radio.

**V. Quílez Sánchez** es responsable del Departamento de Sistemas en la organización de Ingeniería del Centro de Competencia de Acceso Radio de Alcatel ASD en Madrid. Asimismo, es el responsable de coordinar la participación de Alcatel en tareas de estandarización de acceso radio.

# EFICACES SOLUCIONES DE ACCESO CON TECNOLOGÍA INALÁMBRICA

J. GARCÍA SÁNCHEZ

Los productos de acceso inalámbrico de Alcatel se pueden usar en la creación de una amplia gama de soluciones que satisfagan las necesidades de operadores y clientes.

## ■ Introducción

Hoy en día, el mercado de las telecomunicaciones está sufriendo cambios con una velocidad tan vertiginosa, que hace difícil prever cuál será su futuro en los próximos años.

Por una parte, la mayor competitividad generada en los servicios, dentro de un mercado cada vez más global y liberalizado, está ofreciendo oportunidades a nuevos operadores, no pertenecientes al club de los tradicionales, para entrar en la batalla de los servicios de telefonía básica y datos, dado que se sienten atraídos por los buenos márgenes de negocio existentes. Este es el caso, por ejemplo, de los operadores de cable, tradicionalmente involucrados en el negocio de la difusión TV, o de los proveedores de servicio Internet que ven el servicio telefónico como uno más a añadir a las posibilidades que ya proporcionan a través de e-mail o de los navegadores de la WWW.

El desarrollo de la microelectrónica, por otro lado, ha permitido desarrollar chips VLSI de altas prestaciones a costes reducidos y ha estimulado la caída de precios en todas las aplicaciones basadas en ellos como, por ejemplo, los Ordenadores Personales y la telefonía celular.

Un tercer factor a considerar, es la progresiva integración entre informática y telecomunicaciones. Es raro el día en que no tenemos noticias de acuerdos entre grandes fabricantes de ambos sectores para desarrollar programas conjuntos. Un reflejo de

esta situación es el programa WAP (Wireless Application Protocol) que pretende definir un estándar abierto para desarrollar aplicaciones, especialmente móviles, sobre redes de comunicaciones inalámbricas. En este programa, además de Alcatel, figuran otros grandes y conocidos suministradores de informática y telecomunicaciones e importantes operadores tales como Unwired Planet, AT&T Wireless Services, BellSouth, DDI, Ericsson, Nokia, Fujitsu, Hong Kong Telecom, IBM, Motorola, Sansung, SBC y Telecom Italia, los cuales son, entre otros, miembros del WAP Forum.

Sin embargo, todo lo anterior no es más que una cara de la moneda. La otra resulta algo más inquietante. Es la de aquellos países en vías de desarrollo donde, para muchos de sus habitantes, Internet o los servicios multimedia suenan a ciencia ficción, y donde algunos de ellos no han realizado en su vida una llamada telefónica.

Según un informe reciente de la UIT [1], de los 1.500 millones de hogares que existen en el mundo sólo un 35% disponen de servicio telefónico (94% en el mundo desarrollado, 16% en los países emergentes, y 8,5% en países con ingresos más bajos). Este porcentaje podría aumentar al 55% si el servicio estuviese disponible en un modo uniforme y el precio fuera asequible. Las tecnologías de acceso inalámbrico son vistas, en el mismo informe, como el medio para conseguir un objetivo ambicioso: el de crecer en teledensidad en más de un 50% para

finales del 2010 en los países en vías de desarrollo y en más del 20% en los países con ingresos más bajos.

## ■ Evolución de los Servicios en las Redes de Acceso Inalámbricas

La tecnología analógica MPMP (Punto-a-Multipunto por Microondas) se empezó a emplear desde los principios de los años ochenta; más tarde, a finales de la década, se introdujo la tecnología digital, que fue diseñada para proporcionar servicios de telefonía a usuarios de zonas aisladas o remotas (baja densidad) y proporcionar los mismos servicios que los teléfonos convencionales de conexión por cable (transparencia y calidad de voz).

Sin embargo, ha sido la movilidad de los usuarios el factor impulsor en el desarrollo de las tecnologías inalámbricas. Múltiples tecnologías de acceso inalámbrico se han desarrollado como un medio eficaz para proporcionar movilidad a los usuarios. Con este objetivo, las tecnologías celulares bajo distintos estándares analógicos (NMT, TACS, AMPS, etc.) y digitales (D-AMPS, IS-136, GSM, DCS, IS-95, PCS/PCN, etc.) se han ido sucediendo con el objetivo de garantizar el servicio móvil compartido por un número cada vez mayor de usuarios en escenarios típicamente urbanos y con recursos de espectro limitados.

Aunque en un principio estos estándares estaban focalizados en pro-

porcionar voz y fax con calidad inferior a los niveles requeridos para aplicaciones fijas, hoy están evolucionando para acceder al enorme mercado de las aplicaciones fijas con bucle inalámbrico (WLL), y ello con dos objetivos prioritarios:

- En los países emergentes se necesita incrementar la teledensidad.
- En los países desarrollados el acceso a Internet, la transmisión de mensajes, la telecompra y el teletrabajo son los servicios móviles más demandados.

Como un ejemplo relevante del primer caso podemos citar Filipinas, donde la teledensidad era, a finales de 1996, de alrededor del 2%. Un 35% de las líneas instaladas se habían obtenido empleando tecnologías celulares. Otros países como China, Colombia, Tailandia, Malasia o Sudáfrica, todos ellos con teledensidad inferior al 20%, han proporcionado acceso a los usuarios empleando estas mismas tecnologías en porcentajes variables que van desde un 10% (China, Colombia), a un 35% (Filipinas, Líbano, Tailandia, Malasia) [1].

A estas tecnologías, y desde el inicio de los años noventa, se han ido añadiendo otras denominadas "cordless" bajo distintos estándares (CT-2, Digital Enhanced Cordless Telecommunication, o Personal Handyphone System). El objetivo inicial de estas tecnologías consistía en ofrecer soluciones de bajo coste de acceso inalámbrico de calidad equivalente a la planta exterior, con baja movilidad de usuario y cobertura restringida (hogares, oficinas). Desde entonces, esas tecnologías han probado su enorme capacidad para aplicaciones públicas fijas y de movilidad limitada. En Japón, PHS está proporcionando un servicio de movilidad limitada para más de siete millones de usuarios; en 1997, DECT era la tecnología líder mundial para líneas inalámbricas fijas, con un 31% del mercado. La característica común de esas tecnologías es que ofrecen una alta capacidad de tráfico, basada sobre un concepto pico-celular (celdas con un radio de

unos pocos cientos de metros). No se hace necesaria la planificación de frecuencias gracias a mecanismos de asignación dinámica de canales disponibles.

Estas tecnologías proporcionan una alta calidad de voz equivalente a la obtenida con la planta exterior y la capacidad de proporcionar servicios RDSI, así como transmisión de datos de alta velocidad, tanto en modo circuito como en modo paquete, lo que las hace muy convenientes en las aplicaciones de acceso a Internet. Aunque estas tecnologías tienen un rango de cobertura limitado en la distancia, la combinación de estas con otras tecnologías como las Punto-Multipunto (PMP), extiende su nivel de competitividad con otras tecnologías inalámbricas en todos los escenarios posibles, desde el rural hasta el urbano con alta densidad de usuarios.

Existen, además, otras tecnologías denominadas propietarias cuyo objetivo es el de proporcionar servicio fijo en entornos bien definidos, optimizando los recursos para obtener costes competitivos en los mismos. Estas tecnologías no se basan en estándares, así que no pueden disfrutar de las economías de escala y, además, no tienen suministradores alternativos lo que las hace poco atractivas para los operadores. Sin embargo, resuelven de una manera rápida y puntual determinadas exigencias de despliegue rápido, sobre todo en los entornos rurales y suburbanos, proporcionando servicio básico, datos y hasta RDSI. En la **Tabla 1** y en el cuadro de la **Figura 1** se dan los datos de mercado de WLL en los años 1996 y 1997, así como la distribución de las líneas contratadas por tecnología en dichos ejercicios.

Mercado WLL	1996	1997
Contratos (líneas)	1.245.627	2.659.478
Instaladas a fin de año	628.829	1.045.908
Pendientes de instalación a fin de año	879.386	2.492.956
Total de líneas instaladas	1.069.897	2.115.805

Tabla 1 - Datos de mercado WLL en 1996 y 1997.

(\*) Otros Cordless = PHS y CT2; Propietarios = Ionica, Multigain, Airspan; Celular Analógico = TACS, NMT, AMPS; Celular Digital = GSM, E-TDMA, DAMPS, etc.

Es importante resaltar el liderazgo de DECT en 1997 y el fuerte incremento de líneas contratadas con el estándar IS-95 (CDMA, Acceso Múltiple por División de Código).

Otras tecnologías de acceso con gran proyección de futuro son las basadas en satélite, las cuales ya fueron extensamente tratadas en la Revista de Telecomunicaciones de Alcatel correspondiente al segundo trimestre de 1997.

Todas las tecnologías citadas hasta ahora se pueden agrupar, desde el punto de vista de los servicios, bajo la denominación de tecnologías para servicios en banda estrecha, es decir, telefonía, fax, acceso a datos e Internet a 64kbit/s y, excepcionalmente, acceso básico a RDSI para un número limitado de usuarios.

Durante los últimos años, muchas empresas de telecomunicaciones han realizado numerosas pruebas de campo para verificar que estas tecnologías cumplían los requisitos WLL, en términos de calidad de servicio y transparencia. El resultado ha sido un importante crecimiento de los conocimientos de los operadores, estando ya en posición de elegir las más adecuadas para sus necesidades.

Para un operador, la capacidad de elección entre una tecnología u otra está condicionada por múltiples factores, siendo los más relevantes:

- Naturaleza del operador (tradicional, nuevo, celular, cable, proveedor de servicios).
- Estrategia a corto o largo plazo del operador.
- Regulación del país (licencias por tipo de servicio, bandas de frecuencias asignadas a los servicios, obliga-



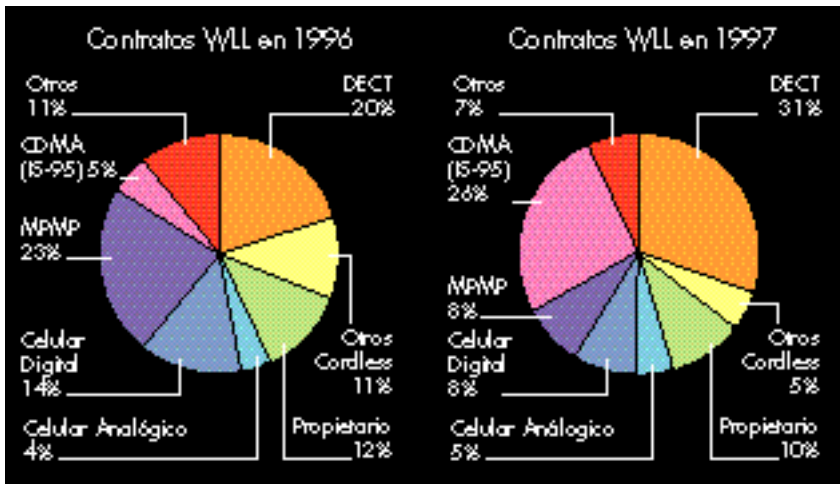


Figura 1 - Mercado WLL en 1996 y 1997.

ción de servicio universal, desempaquetado), etc.

- Existencia o no de infraestructura de red del operador.
- Tipo de escenario (rango de cobertura, tráfico por usuario, distribución de los usuarios, etc.).
- Clases de servicios para los usuarios finales (telefonía, Voice Band Data, datos digitales, acceso a Internet, RDSI, etc.).
- Movilidad sin restricciones, baja movilidad, acceso fijo o combinación fijo/móvil para usuarios/servicios/terminales.
- Seguridad de las comunicaciones (autenticación, cifrado, habilitación/inhibición de los servicios, etc.).
- Inversiones, gastos de operación y precio por línea.

Con frecuencia, la decisión del operador a la hora de desplegar una tecnología específica el resultado de un compromiso entre todos estos factores.

El posicionamiento en el mercado de las tecnologías inalámbricas de banda estrecha se puede ver en la **Figura 2**.

El crecimiento e integración de los nuevos servicios con los existentes en un único Punto de Presencia (POPs), requiere mayores anchos de banda y capacidades de los sistemas basados en las tecnologías disponibles. Se abre así un reto en la evolución de las tecnologías inalámbricas para competir en el mercado de los servicios de banda ancha. El objetivo consiste en

poder ofrecer nuevas capacidades para el usuario final, proponiéndose  $nx64$  kbit/s (donde  $8 < n < 30$ ) y  $mx2$  Mbit/s. Aumentando el ancho de banda del usuario final, las tecnologías inalámbricas extienden su campo de acción a los usuarios de negocios y pequeñas y medianas empresas que requieren una mezcla de servicios básicos y avanzados (telefonía, fax, datos, vídeo, videoconferencia, Internet/intranet/extranet, e-mail, etc.). Existen distintas opciones basadas en técnicas de acceso punto-a-punto o punto-a-multipunto y en diferentes bandas de frecuencia para cubrir estas necesidades de los operadores.

### ■ Tecnologías de Acceso Inalámbrico en Alcatel

Alcatel posee un amplio catálogo de productos de acceso inalámbrico que permite cubrir una vasta gama de aplicaciones. En la **Figura 3** se ofrece, a título orientativo, el posicionamiento de los productos en función del coste por usuario, su distribución espacial y el tipo de los servicios ofrecidos.

### ■ La Familia Alcatel 9800

La familia de productos de acceso inalámbrico Alcatel 9800 proporciona completas soluciones de acceso a medida, que soportan servicios on-line y de telecomunicaciones de alta calidad. Esta avanzada familia de productos satisface tanto las necesidades de los usuarios de negocio, como las de los domésticos en áreas poco pobladas, urbanas y suburbanas. Emplea tecnología PMP en la red de retroceso, a la vez que ofrece flexibilidad en el último punto al usuario con:

- usuarios inalámbricos (DECT).
- usuarios cableados.

Gracias al concepto de bloques modulares, la familia Alcatel 9800 puede configurarse para proporcionar una solución eficaz para cualquier esce-

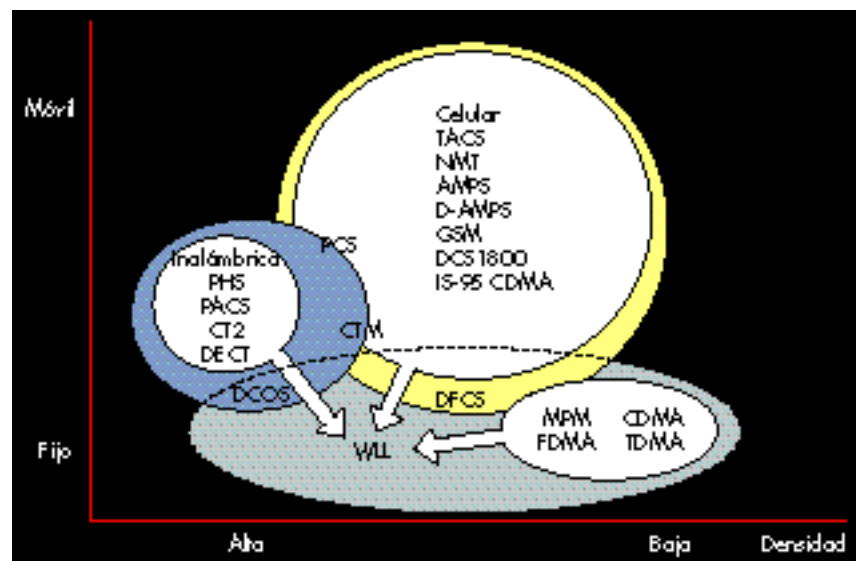


Figura 2 - Posicionamiento de las tecnologías inalámbricas de banda ancha en el mercado.

nario, como se muestra en la **Figura 4**. Se pueden encontrar más detalles en el artículo de J. Navarro Vicedo y V. Quílez Sánchez que aparece en este mismo número.

### Aplicaciones

Las aplicaciones para la familia Alcatel 9800 incluyen:

- Telefonía y servicios RDSI para usuarios domésticos en áreas urbanas, suburbanas y rurales.

- Servicios telefónicos de hasta 2Mbit/s para usuarios de negocios en áreas urbanas y suburbanas.
- Tráfico punto-a-multipunto desde una central urbana local a pequeñas ciudades, comunidades o plantas industriales, granjas o centros de vacaciones, distribuidos por una área amplia.
- Despliegue rápido de soluciones interinas para cumplir demandas de usuario de servicios. Este método es también la mejor forma de proporcionar un servicio temporal durante una semana o un mes.

- Red de retroceso dinámicamente configurable para redes especiales, como las inalámbricas o las micro-celulares.
- Operación en paralelo con una red existente, por ejemplo, una red especial para voz y/o comunicación de datos o como una ampliación para eliminar la sobrecarga de la red.

### Evolución de la familia Alcatel 9800

La evolución de la familia Alcatel 9800 incluye nuevos desarrollos sobre DECT y la integración en la misma plataforma de la tecnología B-CDMA (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha) como solución alternativa al DECT en la última milla. Estos nuevos desarrollos son:

- Terminación multilínea de usuario con alto nivel de integración VLSI.
- Datos de alta velocidad, permitiendo el acceso rápido Internet.
- Mejora de la eficiencia espectral con nuevos esquemas de modulación.

La introducción de la tecnología B-CDMA constituye una apuesta de futuro para Alcatel y permitirá optimizar y extender, de una manera gradual y competitiva, su presencia en el mercado del acceso inalámbrico con un pro-

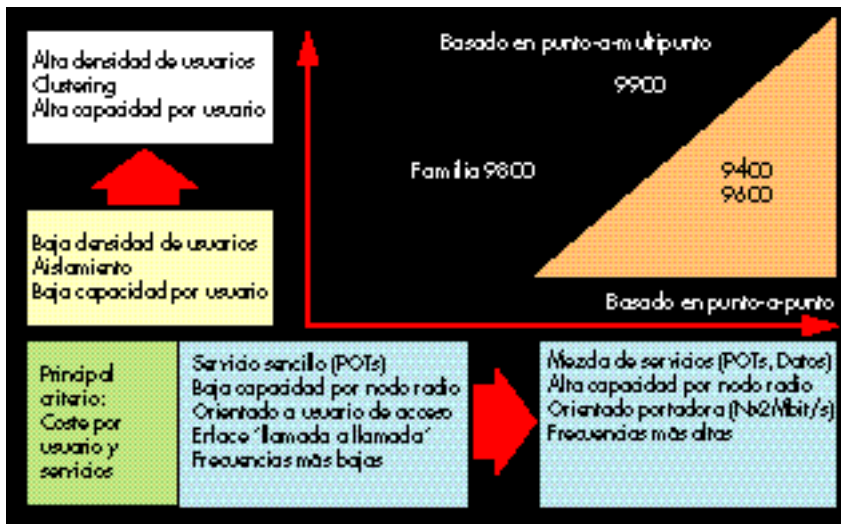


Figura 3 - Visión general de los productos de acceso inalámbrico de Alcatel.

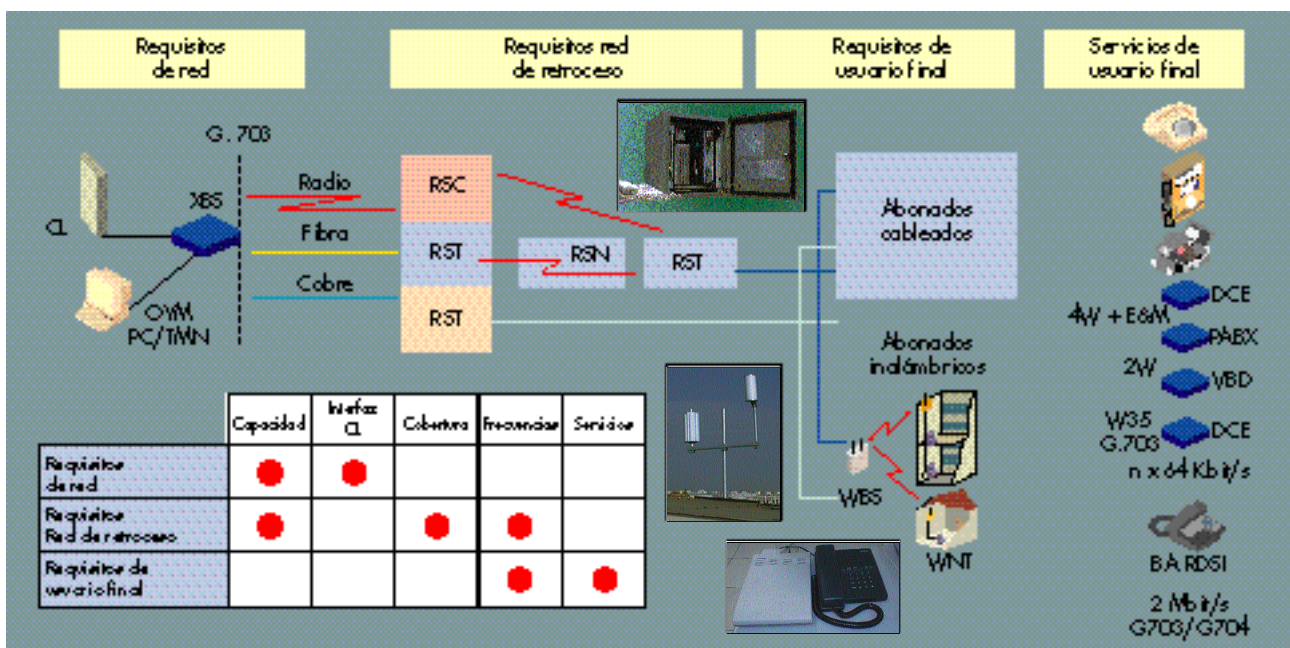


Figura 4 - Escenarios de aplicaciones para la familia Alcatel 9800.

ducto más flexible y completo. Sus principales facilidades son:

- Factor de reutilización de frecuencias de una célula por cluster.
- Flexibilidad en el ancho de banda del canal.
- Células de gran rango de cobertura.
- Ancho de banda bajo demanda.

Estas facilidades están en línea con los requisitos exigidos a las tecnologías de acceso inalámbrico de tercera generación, tal y como han sido contemplados por el ETSI (Instituto Europeo de Normalización de Telecomunicaciones) en el marco UMTS/IMT2000.

El producto Alcatel, basado en el B-CDMA, permitirá ofrecer los siguientes servicios:

- Telefonía a 32/64 kbit/s.
- VBD (Voice Band Data) hasta 28,8 kbit/s con módem; fax de Grupo 3.
- Acceso Básico RDSI (BRA).
- nx64 kbit/s para líneas alquiladas.
- Servicios de transmisión de datos en modo paquete. Acceso a Internet.
- V5.1, V5.2 o conexión a dos hilos con la central local
- Frecuencias de trabajo en las bandas de 1,8, 1,9 ó 3,5 GHz.

### ■ Alcatel 9900 WW

El Alcatel 9900 WW es un sistema radio punto-a-multipunto de banda ancha concebido para proporcionar acceso a clientes de tipo empresarial, así como a clientes residenciales de alto consumo de servicios de telecomunicaciones. Se pueden encontrar más detalles en el artículo de M. Peruyero incluido en este número.

### ■ Alcatel 9400 LX/UX

El Alcatel 9400 es una familia de radioenlaces digitales punto-a-punto de baja y media capacidad para redes PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona). Consta de dos subfamilias (LX y UX), según la longitud del vano y la banda de frecuencias.

La familia Alcatel 9400 LX trabaja en las bandas de 2, 7 y 8 GHz y cubre

eficientemente zonas suburbanas y rurales, proporcionando capacidades de transmisión desde 2x2 Mbit/s, hasta un máximo de 34 Mbit/s.

En contraste, la familia Alcatel 9400 UX trabaja en las bandas de 13, 15, 18, 23, 25 y 38 GHz y cubre eficientemente zonas urbanas y suburbanas, proporcionando las mismas capacidades de transmisión que el Alcatel 9400 LX.

### Aplicaciones

Las principales aplicaciones del Alcatel 9400 son:

- Enlaces entre controladores de estaciones base (BSC) y estaciones receptoras base (BTS) en sistemas celulares y microcelulares.
- Acceso a redes corporativas con gran concentración de tráfico y servicios en un punto.
- Tráfico local y regional (transmisión).

### ■ Alcatel 9600 LX/UX

El Alcatel 9600 es una familia de radioenlaces digitales para redes SDH (Jerarquía Digital Síncrona). Los equipos de radio trabajan en las bandas de 7, 8, 13, 15, 18, 23, 25 y 38 GHz y son idénticos a los usados en la familia Alcatel 9400.

Estos sistemas se pueden usar para transmitir desde 1x2 hasta 12x2 Mbit/s, en distancias comprendidas entre 7 y 40 km., dependiendo de la banda de frecuencias utilizada, de las condiciones de propagación y del objetivo de disponibilidad del enlace.

### Aplicaciones

Esta familia se ha diseñado para la transmisión de la señal sub STM-1 (nx2 Mbit/s) desde un multiplexor de inserción/extracción (ADM) del anillo SDH vía radio, hasta el usuario final (hogar, empresa, corporación) dotado de un equipo terminal FOX (Extensor de Fibra Óptica). El resultado es la extensión vía radio de la red SDH hasta el extremo de la comunicación, proporcionando importantes ventajas en la gestión de la red.

En la **Figura 5** se muestra un escenario global de aplicaciones en las que

el Alcatel 9900 se utiliza para satisfacer las necesidades de los usuarios SOHO (Small Office/Home Office) y de negocios que requieren diferentes anchuras de banda.

### ■ Conclusiones

La situación actual de las telecomunicaciones en el mundo muestra una fuerte dicotomía entre las necesidades de incrementar rápidamente la teledensidad a bajo coste en los países emergentes, y las necesidades de proporcionar servicios avanzados (RDSI, Internet, Multimedia) en los países desarrollados. La progresiva liberalización de los servicios está abriendo el mercado a nuevos operadores o a operadores hasta ahora centrados en otros nichos de mercado, para competir en un mercado cada vez más abierto y globalizado. Las tecnologías inalámbricas permiten, en ambos casos, cubrir las distintas necesidades de los operadores.

La familia Alcatel 9800 está a la cabeza en las tecnologías inalámbricas de banda estrecha. Merced a una arquitectura basada en bloques modulares sobre una única plataforma, se asegura su uso en soluciones de acceso inalámbrico altamente competitivas en una combinación de escenarios, que van desde el rural hasta el urbano con alta densidad de usuarios, y con una calidad equivalente a la de la planta externa de cobre. El empleo combinado de las tecnologías punto-a-multipunto y DECT ha llevado a Alcatel al liderazgo en las líneas contratadas de acceso inalámbrico en 1997. La integración en la misma plataforma de la tecnología B-CDMA, como alternativa de la última milla al DECT, permitirá extender la gama de aplicaciones de la familia en breve plazo, con una mayor flexibilidad en el uso de los recursos radioeléctricos y alcance de las células WLL.

El fuerte incremento de las necesidades de servicios en banda ancha en los países desarrollados, así como la progresiva apertura a la competitividad en estos mercados, representa un reto para el acceso inalámbrico en Alcatel. Las familias Alcatel 9400 y Alcatel 9600 de radio enlaces punto-a-punto para

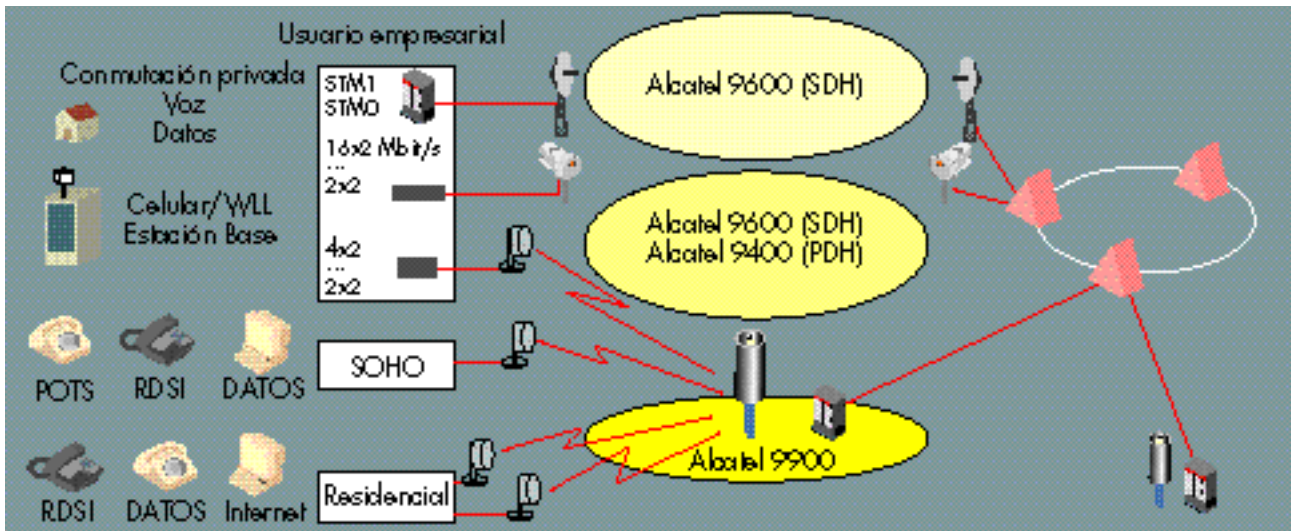


Figura 5 - Escenario global de aplicaciones del Alcatel 9900.

redes PDH y SDH, junto al Alcatel 9900, representan soluciones de acceso modernas, flexibles y eficaces para cubrir las necesidades actuales, tanto de pequeñas y medianas empresas como de grandes corporaciones.

#### ■ Referencias

- 1 World Telecommunication Development Report 1998: Universal Access. International Telecommunication Union.

J. García Sánchez trabaja en Comunicación y Análisis de Mercado en Access Systems Division del Centro de Competencia de Acceso Radio de Alcatel en Madrid, España.



# NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA SISTEMAS TERRESTRES DE COMUNICACIONES POR SATÉLITE

E. DENOYER  
R. VOURC'H

El crecimiento de las grandes redes de comunicaciones por satélite requiere de nuevas tecnologías para los servicios de banda estrecha y banda ancha.

## ■ Introducción

Los sistemas terrestres de comunicaciones por satélite constituyen un mercado fuerte y creciente y se encuentra dirigido, hábilmente, por importantes proyectos para el despliegue de vastas redes regionales o mundiales.

Estos programas constituyen un significativo avance respecto a los tradicionales sistemas de redes VSAT (Very Small Aperture Terminals), ya que el nuevo mercado no se limita a empresas e instituciones, sino que se dirige también a los usuarios domésticos. Este cambio dirigido al mercado de masas,

ya aparente en el campo de los sistemas de difusión directa vía satélite, se está convirtiendo en una norma para muchos tipos de redes que proporcionan servicios que van desde la radiobúsqueda, hasta los más complejos accesos multimedia (**Tabla 1**).

## ■ Nuevas Tecnologías de Sistemas

### *Telefonía rural*

Los sistemas de telefonía rural basados en satélites usan arquitecturas

muy parecidas a las de los sistemas convencionales de bucle local inalámbrico de banda estrecha. Casi todos esos sistemas son redes celulares que conectan terminales de usuario a puntos de conmutación. En las redes más sofisticadas, unos servidores adicionales ofrecen servicios de valor añadido tales como correo vocal, tarjetas telefónicas de previo pago, y la opción de comprobar la cuenta telefónica en tiempo real.

Sin embargo, los enlaces por satélite geoestacionario tienen una serie de características que hacen imposible el uso de tecnologías de radio te-

Sistemas de comunicaciones por satélite	Aplicación	Equivalente terrestre
Pequeños LEO (órbita baja): Orbcomm, LEO-one, E-sat, ...	Radiobúsqueda, e.mail, etc.	Redes de radiobúsqueda
Servicios de grandes satélites móviles LEO: Globalstar, Iridium, ICO, ...	Telefonía móvil	Redes celulares
Servicios de satélites regionales fijos geoestacionarios: X-Press, M <sup>2</sup> A	Telefonía rural	Líneas cableadas Bucle local inalámbrico
Servicios de satélites regionales móviles geoestacionarios: ACeS, Thuraya, APMT, ...	Telefonía móvil	Redes celulares
Supersistemas mundiales de satélites geoestacionarios: Cyberstar, Expressway, Astrolink ...	Comunicaciones de datos a gran velocidad; vídeo bajo demanda.	Fibra óptica, ADSL (línea de abonado digital asimétrica), LMDS (servicios de distribución local multipunto), etc.
LEO de banda ancha: SkyBridge, Teledesic, ...	Internet de alta velocidad: datos a alta velocidad, etc.	Fibra óptica, ADSL, LMDS, etc.

Tabla 1 - Aplicaciones proporcionadas por los sistemas de satélites.

restres en dichos sistemas. Estas características son básicamente el retardo en la transmisión y el coste de la banda utilizada.

### **Retardo en la transmisión**

La transmisión a través de un satélite geostacionario añade un retardo de unos 300 milisegundos al tiempo total empleado en todo el sistema; esto es dos veces más que en un enlace terrestre. Con estas condiciones, al haber muchos saltos dentro del sistema de acceso, hay una gran penalización (la señal de voz debe pasar por el satélite sólo una vez, independientemente de la llamada solicitada).

Esto es un problema obvio para llamadas entre dos abonados de una misma red rural, estén en la misma celda de radio o no. En este caso, el propio sistema de acceso debe intervenir en el proceso de conmutación para establecer un enlace de radio directo entre dos terminales de usuario, al tiempo que permanece bajo control del punto de conmutación. En el caso de grandes redes internacionales, esto significa evitar a los tradicionales enlaces terrestres. Desde el punto de vista técnico, este tipo de operación se logra asignando áreas de cobertura mundial en toda la red y diseñando los elementos de radio para que cada terminal pueda establecer un enlace directo con cualquier otro terminal. También se requieren sofisticadas técnicas para el interfuncionamiento entre los puntos de conmutación y los subsistemas de radio.

Alcatel ha desarrollado una versión modificada de la interfaz V5.2 del ETSI (Instituto Europeo de Normalización de Telecomunicaciones) que permite dicho interfuncionamiento sin una significativa pérdida de servicio suplementario (llamadas de conferencia a tres, extensión de llamadas, correo de voz, acceso a servidores, etc.).

Usando estas funciones, algunos operadores también pueden pedir un mecanismo de enrutamiento al menor coste para permitir el establecimiento automático de un enlace de radio entre un terminal de usuario y el punto de conmutación más cerca-

no al destino de la llamada. El objetivo es reducir los costes de interconexión, pero esto puede dar como resultado, en algunas grandes redes rurales, el estar a medio camino entre una transmisión local y una de largo alcance.

Existen muchas implicaciones técnicas, en particular:

- La presencia de una subred de señalización entre las celdas (similar a la de una red telefónica móvil).
- La necesidad de funciones de tránsito en los puntos de conmutación.
- Un grado de complejidad en las estaciones de conexión, ya que debe existir un número limitado en la red; las estaciones deben ser por ello de muy alta capacidad, sirviendo normalmente a más de 50.000 usuarios.

### **Coste de la banda usada**

Si se compara con los sistemas de radio terrestres, la banda usada por llamada en un sistema de satélites es muy costosa (menor reutilización de frecuencias, la carga del diseño de la estación de radio, las limitadas tecnologías de satélite, etc.). Por ello, minimizar la velocidad utilizada para transportar los diferentes servicios es un factor clave para la competitividad de los sistemas. Esto tiene dos importantes consecuencias tecnológicas:

- Desarrollar sofisticadas técnicas de codificación en la fuente (voz, fax, datos).
- Usar métodos de acceso que permitan establecer circuitos de baja velocidad.

En los últimos cinco años, ha habido un considerable progreso en las técnicas de codificación de voz, dirigido inicialmente por las redes telefónicas móviles y, más recientemente, por los grandes sistemas rurales. En la actualidad, se suelen alcanzar unos resultados aceptables (MOS<sup>1</sup> mayor de 3,5) con codificadores de velocidades de 4,8kbit/s; la utilización de codificadores de 2,4kbit/s en redes públicas de acceso ya ha sido anunciada.

La demodulación y remodulación de las señales de fax se emplean sistemáticamente en todos los sistemas.

Finalmente, la detección y proceso del tráfico Internet parece ser vital para prevenir la excesiva pérdida de la capacidad asociada con la utilización de circuitos telefónicos permanentes de acceso a servicios como el correo electrónico y la navegación por la web.

En la mayoría de los casos, estas formas de codificación en la fuente llevan a circuitos con una velocidad efectiva por debajo de los 8kbit/s, lo cual, debido a la complejidad de los filtros y a la estabilidad de la frecuencia de referencia, ya no es compatible con los métodos de reparto del tipo SCPC (un canal por portadora). Los últimos sistemas ya se orientan al uso de técnicas de reparto más complejas que permiten utilizar portadoras con velocidades de decenas de kbit/s, combinando FDMA (acceso múltiple por división de frecuencias), TDMA (acceso múltiple por división del tiempo) y/o CDMA (acceso múltiple por división de código).

Así, por ejemplo, el sistema Aquila utiliza una técnica FDMA/TDMA (ver artículo de J. Bléret, J.-P. Dehaene y P. Labaye en el número de esta Revista correspondiente al segundo trimestre de 1998).

### **■ Acceso de Banda Ancha**

Las consideraciones gemelas de retardo en la transmisión y optimización de la capacidad son también aplicables en los sistemas de acceso de banda ancha basados en satélites, pero con diferentes problemas y diferentes soluciones tecnológicas. Aparte de unos pocos proyectos avanzados que utilizan satélites geostacionarios con capacidad de conmutación a bordo, ya se está considerando el poder dividir los sistemas en dos categorías:

- Redes basadas en una infraestructura de radiodifusión de TV digital con satélites geostacionarios.
- Redes que utilizan constelaciones de satélites LEO (de órbita baja), como SkyBridge y Teledesic.

Sólo la primera categoría será considerada en este artículo, las redes del segundo tipo se trataron ampliamente en un artículo de P. Sourisse y H. Sorre publicado en el número de esta Revista correspondiente al segundo trimestre de 1997. La idea básica es tomar un sistema de radiodifusión de TV digital, que ya proporciona servicios de transmisión de datos y de control de acceso, y añadirle los canales de retorno de satélite. Esto da como resultado una red en la que el segmento de llamadas entre la estación de acceso y el terminal de usuario se basa en la tecnología estándar DVB (Digital Video Broadcast).

En principio, la dirección contraria es comparable a la de los sistemas LMDS (Local Multichannel Distribution Service), pero, como en el caso de la telefonía rural, la utilización de satélites geoestacionarios introduce una serie de peculiaridades que excluye la transferencia directa de las tecnologías de radio terrestres. El punto crucial de estos sistemas es la eficacia del mecanismo que asocia dinámicamente la capacidad de transmisión para cumplir con la demanda, en términos de volumen de tráfico.

Cuando el tráfico no varía mucho –como en los sistemas de velocidad constante (CBR) o velocidad no especificada (UBR) que transportan celdas ATM (modo de transferencia asíncrono)– el mecanismo adoptado frecuentemente sólo reserva circuitos cuando se establece la conexión. Sin embargo, aún se necesita adaptar las ventanas de los protocolos y, si fuera necesario, introducir un mecanismo que soporte el reconocimiento selectivo o paralelo para evitar una excesiva degradación de las prestaciones.

En el caso de tráfico esporádico –velocidad disponible (ABR) o transaccional– los sistemas rápidamente adaptables no se pueden utilizar con los satélites, debido al retardo de la transmisión. Entonces se hace necesario introducir algoritmos específicos para asignar la capacidad, como los mecanismos de predicción basados en un conocimiento razonable del contenido de la información a transmitir.

## ■ Estaciones de Acceso

Las estaciones de acceso de las redes de acceso de satélites son parecidas a las estaciones base de las redes celulares terrestres. Como hemos visto, se diferencian en su alta capacidad y relativa complejidad.

Los principales programas de satélites han dado una nueva vida al concepto de nodos de transmisión por satélite muy grandes, tan grandes y complejos como los de los antiguos centros espaciales de telecomunicación de los años 70. Estas grandes estaciones tienen que acomodar sistemas de conmutación de gran capacidad (normalmente de más de 50.000 líneas), facilidades de intercambio de intervalos de tiempo, y ordenadores rápidos (capaces de procesar cientos de transacciones por segundo) para gestionar recursos, sistemas de transmisión (codificadores en fuente, módems) con miles de circuitos, y los correspondientes recursos de gestión. Las soluciones tecnológicas a estos problemas son las de los grandes nodos de conmutación:

- Conmutadores como los utilizados en las redes públicas (por ejemplo, el conmutador Alcatel 1000 E10 se utiliza en todas las estaciones de acceso de Globalstar).
- Enrutadores y unidades de intercambio de intervalos de tiempo de alta capacidad.
- Redes de área local rápidas: Ethernet de 100 Mbit/seg, FDDI (red de distribución de datos por fibra óptica) o ATM.
- Ordenadores rápidos y tolerantes a los fallos.
- Plataformas de proceso de señal de alta capacidad y módems multiportadora.

La parte de radiofrecuencia de las estaciones de acceso no presenta ningún problema tecnológico para los satélites geoestacionarios, aparte del control de las bandas milimétricas (en particular, la banda Ka) en algunos sistemas. Por otro lado, los sistemas de comunicación que utilizan satélites de órbita baja han hecho lo

necesario para desarrollar nuevas soluciones.

El diámetro de las antenas de dichas estaciones varía entre 4 y 6 metros; estas antenas pueden tomar rápidamente al satélite, seguir su trayectoria y devolver una posición de espera para una nueva adquisición. El caso especial de seguir un satélite que pasa sobre el zenit del sistema de antenas debe ser considerado, lo cual excluye la utilización de montajes estándar de dos ejes. También se puede usar el mismo sistema para transmitir información remota de control, cuando se lanzan grupos de satélites.

Se han desarrollado tecnologías de posicionadores de tres ejes por algo más de la mitad del coste de los subsistemas de radiofrecuencia (RF). La parte de amplificación también se beneficia de las nuevas tecnologías de amplificadores de estado sólido. Por ejemplo, en los subsistemas de RF de las estaciones diseñadas por Alcatel para el programa Globalstar (**Figura 1**), el amplificador se aloja justo detrás de la antena, reduciéndose con ello las pérdidas en el puerto del alimentador de radiación. Esta técnica ha sido posible por el desarrollo de una adecuada arquitectura de degradación en la que un conjunto de módulos amplificadores independientes trabaja en paralelo, para que el fallo de una unidad no corte la transmisión y sólo debilita la potencia ligeramente. Esto hace innecesario el proporcionar un completo amplificador de respaldo pesado y costoso.

## ■ Terminal de Usuario

El objetivo primario de las principales innovaciones tecnológicas usadas para desarrollar un terminal de usuario es reducir el coste. El coste final de la próxima generación de VSATs se ha fijado en un máximo de unos pocos centenares de dólares.

La clave para alcanzar este objetivo es lograr economías de escala introduciendo técnicas de producción masivas. El coste del terminal se analiza en función del coste total, teniendo en cuenta el hecho de que

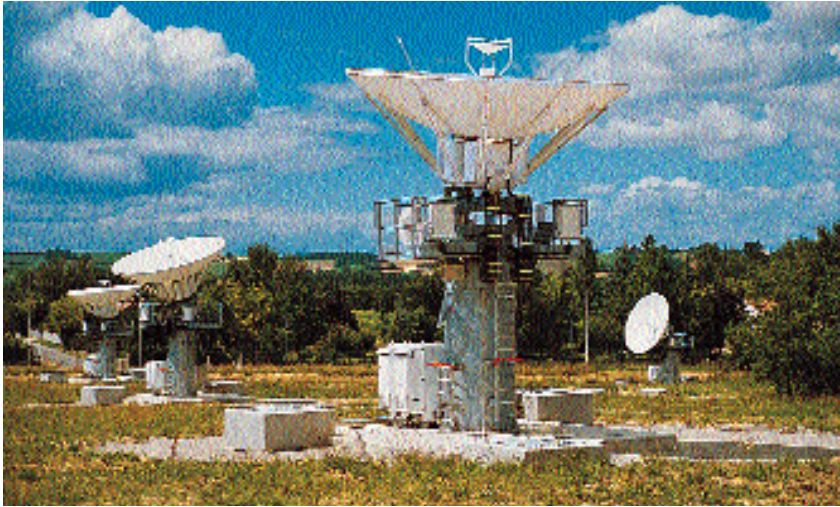


Figura 1 - Subsistema RF usado en las estaciones de acceso Globalstar.

cualquier equipo adicional requerido para la instalación –a veces, paneles solares–, pueden formar parte en una significativa proporción del coste. Las tecnologías de integración son un segundo e importante factor, ya que pueden hacer posible el reducir a la vez coste, peso y consumo de potencia del terminal.

### **Subsistema de radiofrecuencia**

El subsistema RF (radio y antena) representa más del 60% del coste del terminal de usuario.

En telefonía rural, el sistema RF está previsto frecuentemente en las bandas clásicas de frecuencia (C o banda C extendida y banda Ku). El primer problema es obtener un permiso regulatorio, teniendo en cuenta la utilización coordinada del espectro de radio por los diferentes servicios.

Por otro lado, el problema de la capacidad disponible es crucial en los sistemas de acceso de banda ancha, y así cada vez más proyectos están utilizando las bandas milimétricas (banda Ka). La utilización de las bandas de frecuencia milimétrica en la comunicación de los satélites geostacionarios aumenta significativamente el uso de las tecnologías MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) en los terminales, ya que las prestaciones de los componentes discretos aún están limitadas por encima de los 20GHz.

En lo referente a las antenas, el ancho del haz, que es inversamente proporcional a la frecuencia, suele ser muy estrecho a 30GHz. Al utilizar satélites geoestacionarios y la banda Ka, el enfoque se tiene que alcanzar utilizando un canal de baliza transmitido por el satélite a una frecuencia por debajo de las de transmisión, 20GHz o, incluso, 10GHz en recepción, comparado con los 30GHz en transmisión. Todos estos parámetros van contra un preciso enfoque y excluyen la utilización de los sistemas convencionales basados en el máximo nivel recibido. Consecuentemente, la utilización de las frecuencias milimétricas significa que se deben desarrollar nuevas tecnologías de alimentación de antenas de bajo coste. Una solución elegante es crear y extraer modos de propagación de orden superior en el equipo, de forma que exista una energía mínima en el eje principal de la antena, lo cual puede ser fácilmente explotado por el sistema de enfoque.

Las pequeñas antenas usadas en las estaciones VSAT son antenas offset convencionales con el alimentador de radiación en el foco. Las nuevas tecnologías desarrolladas en el campo del radar, como los alimentadores de arrays activos, integrando amplificadores de transmisión y recepción, pueden ser una solución económicamente viable en un futuro cercano. Esta tecnología revolucionaria

rá probablemente los subsistemas RF de los terminales de usuario y de las estaciones VSAT en general.

### **Arquitectura de los terminales**

Las arquitecturas estándar de las pequeñas estaciones comprenden el equipo externo situado cerca de la antena y un módulo cercano al terminal del usuario (**Figura 2**). Tradicionalmente, la interfaz entre las dos unidades del equipo ha estado en una frecuencia intermedia (70 MHz, 140 MHz o banda L). Las técnicas de integración usadas en el diseño de módems y los avances en las tecnologías de componentes significan que la interfaz ya se puede desplazar, permitiendo la integración del módem en la unidad exterior. La elección de dicho sistema dependerá de los anchos de banda considerados, del coste de cada solución (particularmente la instalación), y de la modularidad requerida por las aplicaciones soportadas por el producto.

La unidad de interior, que trata funciones tales como la codificación, tramado y la interfaz con el equipo terrestre (terminales de usuario, PBX, enrutadores, etc.), utiliza la potencia de los procesadores comerciales. Las unidades de montaje estándar de bastidor de 19" se sustituyen por módulos del tamaño de las unidades de adaptación multimedios de la televisión digital.

### **■ Conclusiones**

Se están usando nuevas tecnologías para fabricar sistemas terrestres de comunicaciones por satélite que permitirán comercializar dichos sistemas para su despegue, de igual forma que se hizo en los años ochenta con la introducción de los VSATs. Hoy, se contempla la llegada de vastas redes, incluyendo terminales de consumidores, como un resultado de los últimos avances tecnológicos.

El mercado actual de las estaciones terrestres se centra por ello, básicamente, en el acceso para el usuario, bien a través de importantes programas



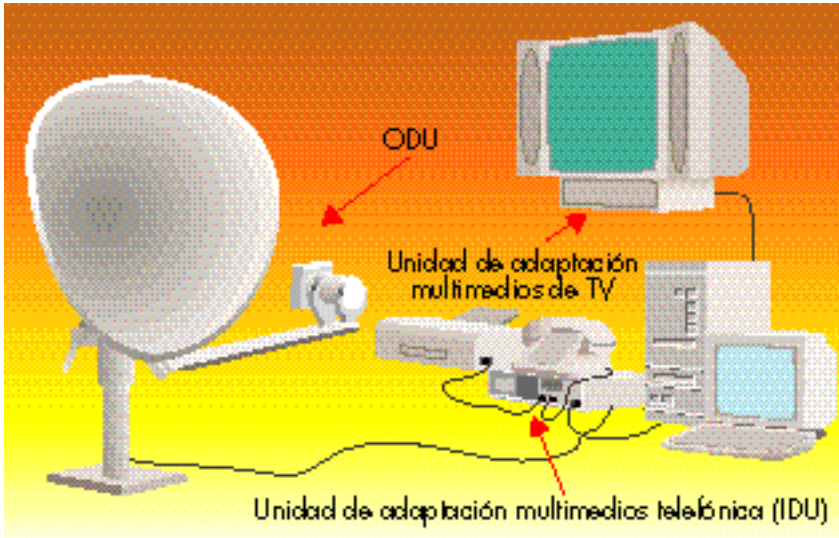


Figura 2 - Terminal de usuario.

que usan exclusivamente satélites dedicados a una única aplicación (por ejemplo, Aquila o Skybridge), o uniendo los sistemas terrestres de los sistemas de comunicaciones por satélite a tecnologías similares en términos de servicio para ofrecer sistemas optimizados al mayor público posible.

**E. Denoyer** es director técnico de la unidad Earth Stations Business de la división Alcatel Space, en Nanterre, Francia.

**R. Vourc'h** es director de Marketing y Producto de la unidad Earth Stations Business de la división Alcatel Space, en Nanterre, Francia.

# SKYBRIDGE: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

D. ROUFFET

## La constelación de satélites de órbita baja SkyBridge proporciona cobertura para servicios multimedia de banda ancha.

### ■ Introducción

El pasado año, el sistema SkyBridge realizó una serie de importantes avances. Un paso adelante para obtener la licencia se culminó en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones al asignarse bandas de frecuencia entre 10 y 18 GHz para sistemas de satélites no geoestacionarios. Este hecho fue una señal de reconocimiento del concepto SkyBridge por parte de la comunidad mundial de las telecomunicaciones. Otro paso importante se produjo cuando la compañía SkyBridge consiguió la necesaria financiación para las fases de diseño y especificación. Una vez completados estos avances, también se ha alcanzado un significativo progreso en el diseño del sistema. Este artículo ofrece una visión resumida del estado actual del proyecto SkyBridge.

SkyBridge, que está basado en una constelación de satélites de órbita baja a una altitud cercana a los 1.500 km., se ha diseñado para ofrecer servicios multimedia de alta velocidad en combinación con cobertura global. A finales del 2001, se prestará cobertura a las latitudes templadas del globo cuando los primeros 40 satélites sean lanzados y situados en sus posiciones. A partir de ese momento, se ampliará gradualmente la cobertura, hasta que el total de 80 satélites, que constituyen la constelación completa, estén en posición (a finales del 2002) proporcionando cobertura mundial.

Aunque SkyBridge es un sistema global, se ha diseñado para suminis-

trar conexión del "último kilómetro" y ser adaptado a las necesidades locales. Es una solución de bucle local de alta velocidad. Por diseño, SkyBridge encamina y procesa el tráfico originado desde un país hasta el mismo país. La arquitectura SkyBridge utiliza, más que elude, las redes locales.

SkyBridge utiliza pequeños terminales que, en el caso de usuarios residenciales, están instalados en el tejado de las casas o bloques de viviendas. El usuario de estos pequeños terminales puede recibir hasta 20 Mbit/s (enlace de salida) y transmitir hasta 2,5 Mbit/s (enlace de retorno). Los terminales para usuarios de negocios están situados en la sede corporativa y pueden recibir y transmitir hasta 60 Mbit/s. Estos terminales fijos pueden conectarse a ordenadores personales, redes de distribución en múltiples localizaciones o a redes de área local. Además, el sistema puede proporcionar enlaces de infraestructura para proveer, por ejemplo, compatibilidad con redes de bucle local inalámbricas.

Por lo tanto, SkyBridge es sobre todo una solución de acceso que proporciona un económico bucle local. Debido a que la inversión por abonado es similar a la necesaria para redes terrestres, SkyBridge puede actuar como cabecera o como complemento de redes terrestres. A pesar de su alta capacidad, SkyBridge ha sido diseñado para dar cobertura a zonas suburbanas (densidad de población media) y zonas rurales (baja densidad de po-

blación) más que a zonas urbanas densamente pobladas.

La operación de este sistema será confiada a operadores de telecomunicaciones, por lo que serán ellos quienes gestionen la provisión del servicio y estén en contacto con los usuarios finales. El papel de la compañía SkyBridge L.P. es desarrollar el sistema y lanzar, mantener y renovar el segmento espacial.

### ■ Servicios

Los módems de alta velocidad abrirán la puerta a muchos nuevos servicios. Estas altas velocidades soportarán la prestación de servicios multimedia en los que se combinen sonido, imágenes y datos.

Parece probable que la mayoría de aplicaciones se crearán desde servidores y que las redes que transporten las señales constituirán una red de datos, como Internet. Los cortos periodos de transmisión inherentes a SkyBridge le harán capaz de manejar correctamente protocolos TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet).

Las principales aplicaciones del sistema SkyBridge son:

- Acceso de alta velocidad a Internet y, de manera más general, a servicios en línea.
- Servicios de acceso a información y bases de datos.
- Servicios de transacción, como compra y banca desde el hogar.
- Comercio electrónico.

- Enseñanza y aprendizaje a distancia.
- Videoconferencia y videotelefonía.
- Entretenimiento:
  - vídeo interactivo bajo demanda;
  - juegos electrónicos.
- Teletrabajo mediante:
  - acceso a servidores empresariales y redes de área local;
  - correo electrónico;
  - transferencia de ficheros.
- Interconexión de redes de área local.
- Enlaces de infraestructura como por ejemplo:
  - redes telefónicas;
  - interconexión de bucles locales inalámbricos;
  - interconexión de estaciones de comunicaciones móviles.

Debido a sus características intrínsecas, en tanto que solución local transparente, SkyBridge resulta muy apropiado para ofrecer estos servicios.

## ■ Arquitectura

El sistema SkyBridge está diseñado sobre dos vectores relativamente inde-

pendientes, el segmento espacial y el segmento de telecomunicación.

El segmento espacial (ver **Figura 1**) comprende:

- Constelación SkyBridge de 80 satélites de órbita baja (más los satélites de reserva). Conocida como constelación Walker (ver **Figura 2**), comprende 20 planos con cuatro satélites en cada plano. La inclinación de los planos respecto al Ecuador es de 53°, en tanto que la altitud de los satélites es de 1.469,3 km.
- Centro de Control de Satélites (SCC) y su reserva.
- Estaciones terrenas para Posicionamiento, Telemetría y Comando (TT&C).
- Centro de Control de Misión (MCC) y su reserva.

El segmento de telecomunicación, cuya arquitectura muestra la **Figura 3**, consta de:

- Cabeceras, cada una de las cuales conecta al abonado con los servidores locales o las redes terrestres públicas o privadas de banda ancha o estrecha.

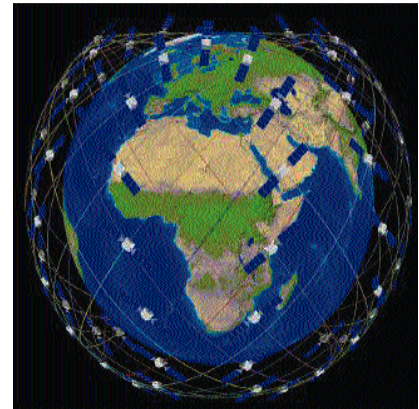


Figura 2 - La constelación SkyBridge.

- Terminales de Abonado (SKT), que incluyen el equipo de antena para comunicación con los satélites y una interfaz para conexión, por ejemplo, con un PC multimedia.

La constelación de satélites se utiliza para interconectar a los usuarios finales con una cabecera. Esta cabecera desempeña un importante papel en la interconexión de un usuario final con otro usuario final o con un servidor multimedia, ya que el papel de la cabecera es hacer de interfaz con redes terrestres públicas o privadas y encaminar el tráfico. Las funciones de encaminamiento pueden ser implementadas tanto por una central de conmutación en la cabecera, como por una central de conmutación remota en la red SkyBridge del operador de telecomunicaciones.

El papel del segmento espacial y de los satélites sólo es proporcionar una pasarela de radio entre el usuario y las centrales de conmutación anteriormente mencionadas. Cada satélite de la constelación puede crear una serie de haces puntuales, con un radio de 350 km., dirigidos a puntos fijos de la tierra. Cada haz puntual posee un repetidor asociado transparente que tan sólo se usa para amplificar y convertir las señales que recibe. El tráfico transmitido por un terminal de usuario dentro de un haz determinado es encaminado hacia la estación de cabecera dentro del mismo haz y viceversa (ver **Figura 4**). Un satélite puede crear hasta 24 células

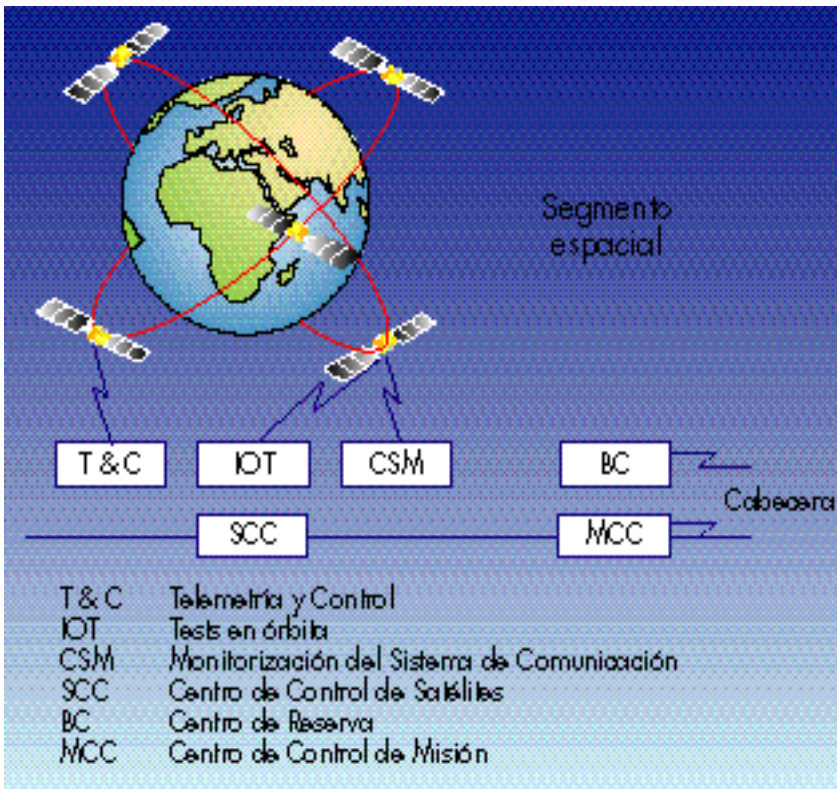


Figura 1 - Arquitectura del segmento espacial.



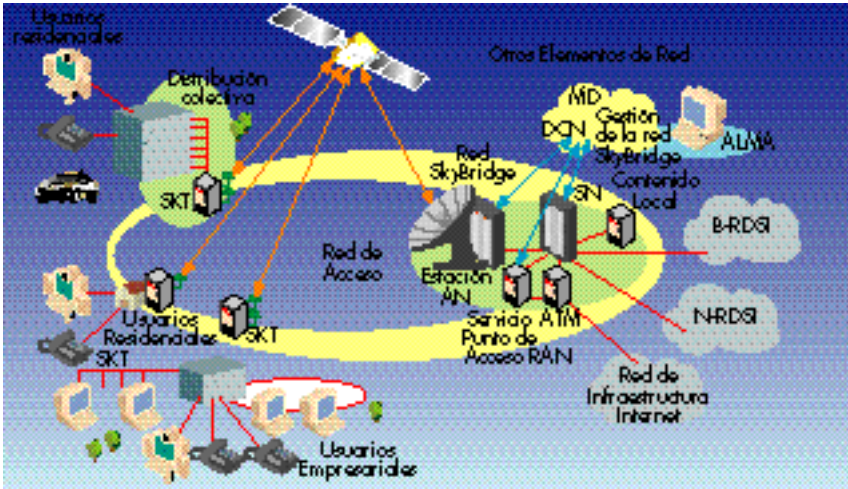


Figura 3 - Arquitectura del segmento de telecomunicación.

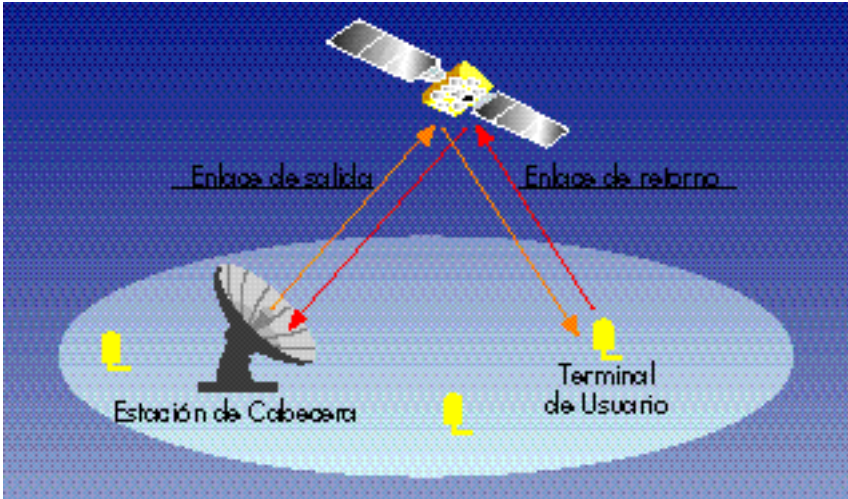


Figura 4 - Enlaces en el interior de una célula.

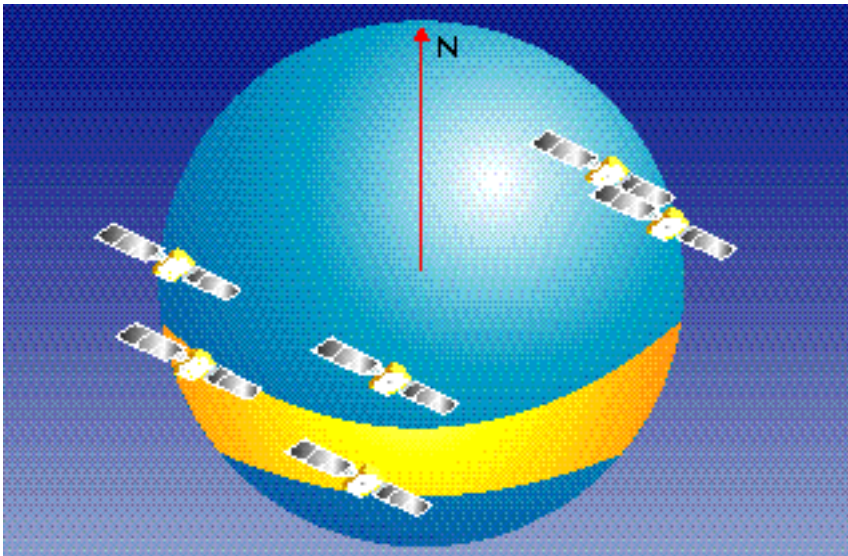


Figura 5 - Perspectiva del espacio con visión del área evitada (en amarillo).

sobre la Tierra. Cada célula creada por un satélite sobre la superficie de la Tierra se mantiene fija con relación a la cabecera, la cual se encuentra ubicada cerca del centro de esta célula. Como un satélite sólo puede crear dos células sobre una determinada cabecera, utilizando las dos polarizaciones circulares, y como la constelación SkyBridge ofrece visibilidad múltiple sobre las latitudes templadas, las cabeceras con tráfico muy alto lo encaminarán a través de varios satélites. Como los satélites son visibles sólo un tiempo limitado desde una determinada cabecera, la antena del satélite, utilizada para crear una célula sobre ella, es reorientada regularmente hacia otra cabecera. Los recursos del segmento espacial son optimizados para ofrecer la máxima capacidad global. Esta optimización global no se realiza en tiempo real, ya que sólo las cabeceras realizan la gestión de los recursos de radio en tiempo real localmente.

SkyBridge utiliza el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) –que transmite pequeños paquetes de longitud fija– para simplificar la gestión de los recursos de radio. ATM garantiza la calidad del servicio requerida, tanto por la aplicación como por el usuario, y hace posible el interfuncionamiento con redes de estándar RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), utilizando las centrales de conmutación del operador local. Estas centrales de conmutación no tienen que estar situadas en la cabecera, pueden utilizarse centrales de conmutación públicas existentes. La cabecera también puede estar conectada a enrutadores Internet, posiblemente algo distantes. El diseño de la cabecera se ha llevado a cabo para asegurar una gestión eficaz tanto de la capacidad como de la calidad del servicio.

■ Frecuencias

Una característica importante de SkyBridge es que utiliza la misma frecuencia de banda (entre 10 y 18 GHz) que los satélites geoestaciona-



rios. Esta opción minimiza el coste del segmento espacial y de los terminales de los usuarios, ya que permite la utilización de tecnologías maduras y de bajo coste. Esto permite, al mismo tiempo, proporcionar disponibilidad de enlace a bajo coste.

Naturalmente, debe impedirse que los sistemas geoestacionario y no-geoestacionario interfieran el uno con el otro. La órbita del satélite geoestacionario se encuentra muy congestionada y el espaciamiento angular entre satélites geoestacionarios es pequeño, y depende de la direccionalidad de sus estaciones terrenas. Por ejemplo, una antena de 45 cm. (el tamaño de los futuros sistemas de difusión directa de TV) tiene un ángulo de apertura de media potencia de aproximadamente  $3,7^\circ$ . Para evitar interferencias desde un satélite geoestacionario adyacente, el espaciamiento entre dos sistemas de satélites utilizando antenas tan pequeñas debe ser de entre  $3^\circ$  y  $5^\circ$ .

SkyBridge ha sido diseñado para operar con un espaciamiento angular de  $10^\circ$  con cualquier satélite geoestacionario. En otras palabras, existe una área de  $\pm 10^\circ$  en torno al arco del satélite geoestacionario dentro de la que el satélite SkyBridge no transmite (ver **Figura 5**). En consecuencia, el sistema SkyBridge tiene que ser capaz de conmutar el tráfico desde un satélite que esté próximo a esta zona no operativa hasta otro satélite que esté bien alejado de ella. Este proceso de conmutación (de transferencia) es transparente para el usuario.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 1997, la UIT asignó frecuencias para sistemas de satélites no geoestacionarios (NGSO) en las mismas bandas de frecuencia que las utilizadas por los sistemas de satélites geoestacionarios. Al hacerlo así, se reconoció que los sistemas como SkyBridge podrían operar eficazmente sin interferir con sistemas geoestacionarios. Al mismo tiempo, la UIT definió límites de potencia que los sistemas NGSO tendrían que respetar para evitar interferencias con los sistemas geoestacionarios.

En consonancia, el sistema SkyBridge tiene ahora acceso a una banda de frecuencia de 10,7 GHz a 18,1 GHz; el ancho de banda de frecuencia que necesita, un ancho de banda útil de 1,05 GHz en cada dirección, se encuentra dentro de las bandas de frecuencia autorizadas. Este gran ancho de banda es necesario para conseguir la capacidad esencial para cualquier sistema de banda ancha.

### ■ Transferencia entre Satélites

Una función única de los sistemas de satélites no geoestacionarios es la transferencia entre satélites. Como los satélites se mueven a través del cielo y desaparecen sobre el horizonte, debe ser posible transferir el tráfico de uno a otro satélite para mantener la continuidad del servicio. La geometría de la transferencia entre satélites se muestra en la **Figura 6**. Esta característica también es necesaria para reutilizar las frecuencias de los sistemas de satélites geoestacionarios. Asimismo, permite evitar el bloqueo de la señal como consecuencia de obstáculos (por ejemplo, chimeneas, árboles, edificio, etc.). Como normalmente son visibles varios satélites, el bloqueo de la señal para un

terminal de usuario desde un satélite determinado puede resolverse mediante el uso de otro satélite.

Para simplificar la gestión del tráfico, garantizar una buena calidad del servicio y maximizar la capacidad total, SkyBridge también incluye esta facilidad para gestionar y equilibrar la carga del operador.

Un terminal siempre debe ser capaz de transmitir y recibir hacia y desde dos satélites, durante el breve periodo en el que tiene lugar la transferencia, para asegurar así que el cambio es imperceptible para el usuario. SkyBridge soporta tres tipos de transferencia:

- Transferencia de todos los terminales (evitando el arco de satélites geoestacionarios, la llegada de un satélite a la mínima altura).
- Transferencia de varios terminales.
- Transferencia de un solo terminal (obstáculo ocasional).

Todos los tipos de transferencias son gestionados de la misma forma por parte de la estación de conexión. Los enlaces con el satélite saliente se mantienen el tiempo suficiente para que las antenas de los terminales apunten y se sincronicen con el satélite entrante (**Figura 7a**). Una vez conseguida la sincronización, las lla-

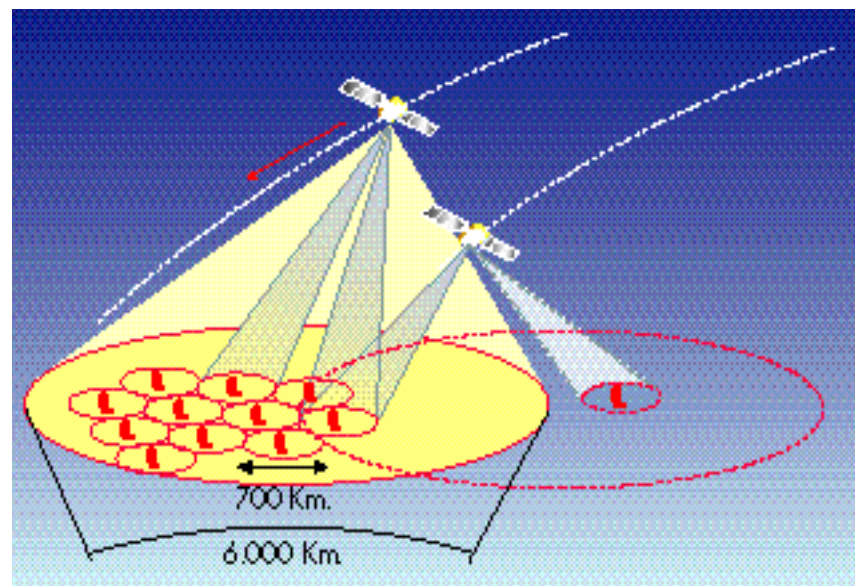


Figura 6 - Geometría de la transferencia entre satélites.

madras son conmutadas hacia el satélite entrante (**Figuras 7b y 7c**) lo más rápido posible. Durante la transferencia, ambos satélites han de ser visibles y sus antenas deben estar apuntando hacia la célula que está enviando el tráfico. En el sistema SkyBridge se ha prestado especial atención a la optimización de esta función para el actual número de satélites y de antenas por cada satélite. Todo el proceso tiene lugar en las cabinas, no en los terminales, que son pasivos. SkyBridge también ha sido diseñado para minimizar el volumen de señales requeridas para realizar la transferencia.

## ■ Terminales

El sistema SkyBridge utiliza dos tipos de terminales para uso de negocios y residencial.

### *Terminales profesionales*

Los terminales profesionales emplean dos antenas de unos 80 cm. de diámetro, similares a las actuales antenas de TV. Tendrán una estructura modular, permitiéndolos estar equipados con uno o más módems y, por tanto, poder transmitir y recibir hasta 60 Mbit/s. Normalmente, estas antenas estarán conectadas a redes de área local o a centralitas privadas (Private Branch Exchange, PBX), y transmitirán tráfico desde numerosos usuarios. Se han previsto dos modos de gestión de recursos: un modo estándar de nx64 kbit/s para tráfico de telefonía y videoconferencia y un modo de datos basado en sesiones pa-

ra encaminamiento de tráfico de Internet o intranet. El diseño modular de los terminales hace que puedan ser equipados con muchas interfaces diferentes.

### *Terminales residenciales*

Los terminales residenciales tienen una sola antena de aproximadamente 50 cm. de diámetro. Estarán equipados con un único módem capaz de recibir hasta 20 Mbit/s y de transmitir hasta 2,5 Mbit/s. Se ha previsto un número limitado de interfaces para conectar generalmente estos terminales a PCs. Un modo único de gestión de recursos –la sesión basada en modo de datos– puede manejar el tráfico de Internet. Será posible conectar varios PCs a un terminal de este tipo.

Los terminales profesionales y residenciales utilizarán el mismo modo de direccionamiento, que será programado con información fijada en la constelación de satélites. Para direccionarse, los terminales sólo necesitarán conocer la hora universal y su localización geográfica. Sobre la base de esta información, un terminal puede orientarse por sí mismo hacia un satélite utilizando simples cálculos angulares realizados localmente. Las transmisiones desde los terminales estarán condicionadas por la recepción de señales de identificación desde su estación local de conexión.

### *Estaciones de conexión*

El diseño modular permite que las estaciones de conexión sean adaptadas a los requisitos locales en cuanto a capacidad de tráfico y de los servicios

que precisan los operadores y abonados locales. Las estaciones de conexión incluyen cinco tipos de subsistemas (ver **Figura 8**):

- Equipo de radio: antenas, transceptores, plataforma de frecuencia intermedia y dispositivo de direccionamiento.
- Equipo de modulación.
- Equipo de nodo de acceso: equipo de gestión de recursos espaciales que asigna el tráfico a un operador, conmuta los satélites y controla frecuencia y potencia.
- Equipo de nodo de servicio: funciones de navegación de usuario, establecimiento de sesión y funciones de conmutación. Los servidores locales estarán conectados al nodo de servicio.
- Equipo de gestión: gestión de equipos, gestión de abonados y terminales, y gestión de tráfico.

El equipo de radio es modular, permitiendo que una estación sea configurada con cuatro, cinco o seis antenas según el tráfico previsto. El equipo de acceso también será configurable para atender de 10 a 180 módems de salida, y de 40 a más de 500 módems de retorno. El equipo de gestión de recursos espaciales será configurado para dar soporte al procesamiento requerido por el tráfico real y para establecer conexiones ad hoc.

El nodo de servicio y el equipo de gestión son igualmente flexibles.

Será posible unir las estaciones de conexión con todas las redes públicas. El acceso a Internet se suministrará a través de encaminadores instalados en las estaciones de conexión.

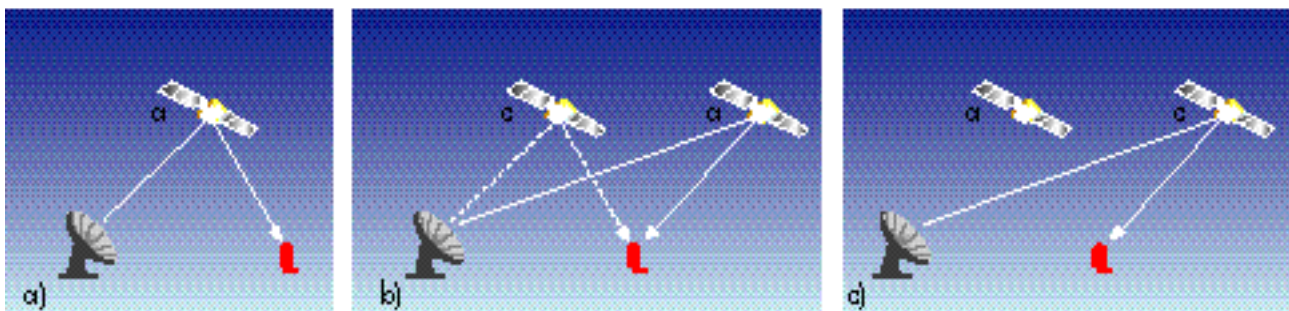
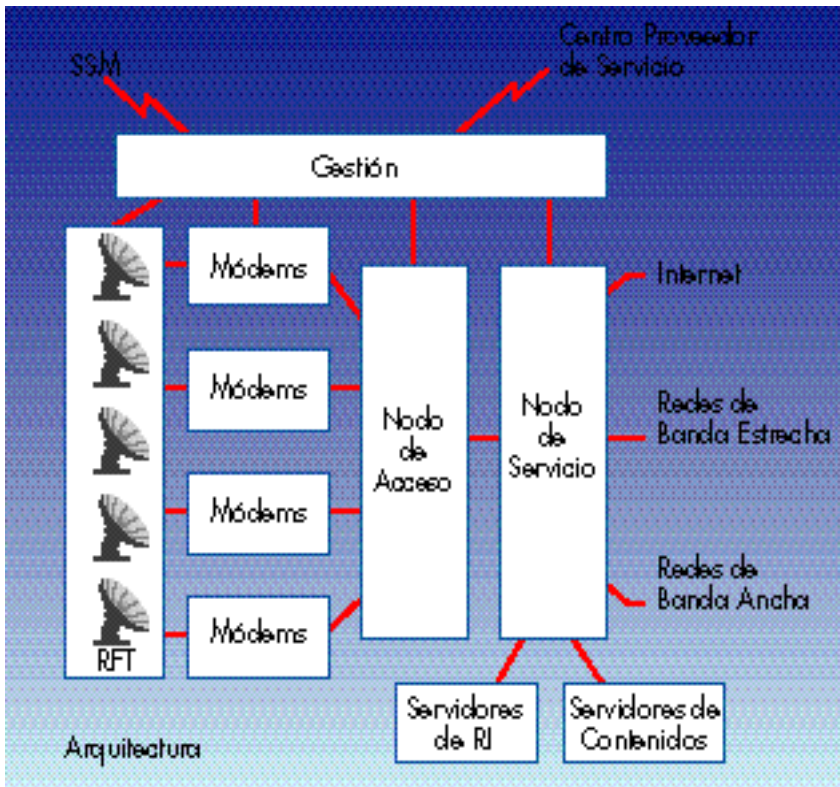


Figura 7 - Transferencia entre satélites.



SSM - Gestión del Segmento Espacial RFT - Terminal de Radiofrecuencia  
 Figura 8 - Arquitectura de la estación de cabecera.

### ■ Capacidad

El sistema SkyBridge ha sido concebido para ofrecer alta capacidad global con la mayor capacidad local posible. Varias características técnicas le permiten proporcionar:

- Acceso a banda de frecuencia ancha.
- La capacidad para usar las mismas frecuencias en diferentes células.
- Visibilidad múltiple de satélites en áreas con alta demanda.
- Multiplexación estadística de diferentes tipos de tráfico, con distintas necesidades de calidad de servicio.
- Uso eficaz de la potencia de satélites y terminales.

La banda de frecuencia que puede utilizarse en cada célula es de 750 MHz para el enlace de servicio de salida y de 300 MHz para el enlace de servicio de retorno. Esta diferencia se debe a que muchos de los servicios previstos son asimétricos. No obstante, los anchos de banda de los servicios de salida y de retorno pueden ser

iguales, si así se requiere en el caso de transmisión de tráfico multiplexado. Haces adyacentes pueden utilizar las mismas bandas de frecuencia.

Las estaciones situadas en las zonas de las latitudes templadas se benefician de la múltiple visibilidad de los satélites. La constelación ha sido diseñada de tal forma que pueden ser visibles hasta tres satélites a todas horas sobre las áreas con mayor demanda para maximizar la capacidad de tráfico.

Normalmente, los terminales residenciales y profesionales serán utilizados a horas diferentes, con una pequeña coincidencia horaria. La carga de cada operador se optimiza teniendo en cuenta el hecho de que muchas transmisiones, cada una con diferente calidad de servicio, son multiplexadas. El resultado es que los operadores no se encuentran congestionados sino cargados en distintos grados. Los operadores empresariales pueden tener una carga media del 65%, haciéndose así posible suministrar calidad de servicio.

Una célula puede soportar un tráfico comercial de hasta 1 Gbit/s por cada satélite, con hasta 770 Mbit/s para tráfico profesional y 310 Mbit/s para tráfico residencial. Como son visibles permanentemente hasta un total de tres satélites, el tráfico máximo sobre una cabecera es de hasta 3 Gbit/s. Teniendo en cuenta las diferentes células, que se cargan según la demanda potencial (no según el potencial del sistema), la constelación SkyBridge puede encaminar hasta 215 Gbit/s.

### ■ Despliegue

El sistema será desplegado gradualmente. El segmento espacial estará operativo a partir del año 2001, cuando se encuentren en posición los primeros 40 satélites. La cobertura estará asegurada para las regiones de las zonas templadas del planeta. A medida que entren en servicio más satélites, la cobertura se extenderá a todas las latitudes entre los 68° norte y los 68° sur. Las cabeceras también serán desplegadas progresivamente.

Los satélites permiten que varias células sean atendidas por una sola cabecera. Para cada satélite la intención es extender la cobertura de estación desde dos hasta seis células, dependiendo del número de satélites disponibles. Esta función no sólo limitará el número de cabeceras que habrán de ser instaladas en los primeros días, sino también el número de cabeceras que tienen que instalarse y mantenerse para proporcionar cobertura en áreas de bajo tráfico, lo que mejora notablemente la efectividad del coste de las cabeceras.

### ■ Conclusiones

El despliegue del sistema de acceso de SkyBridge es muy económico y rápido. La inversión en infraestructura por cada usuario es modesta, parecida o menor a la necesaria para infraestructuras terrestres ofreciendo servicios comparables. Por consiguiente, SkyBridge complementa la cobertura

---

de estas infraestructuras. Su arquitectura flexible implica que puede ser adaptado a situaciones muy diferentes, proporcionando soporte para una

completa gama de nuevos servicios multimedia, tanto para infraestructuras de redes fijas convencionales como de redes móviles.

**Denis Rouffet** es vicepresidente de Ingeniería de SkyBridge LP, con sede en Nanterre, Francia.



# COBERTURA DE RADIO CORPORATIVA: EL RETO DEL NUEVO GSM

C. CHERPANTIER

El nuevo concepto "Stretched Cell" de Alcatel, aumenta enormemente la cobertura de los móviles dentro de edificios, fortaleciendo esta tecnología en entornos corporativos.

## ■ El Mercado Actual del GSM

En los últimos años, el mercado de consumo ha sido el principal objetivo de los operadores del sistema global para comunicación móvil (GSM). Esto ha producido una explosión en el número de usuarios en la mayor parte de los países. Sin embargo, los operadores buscan ahora nuevos mercados. Curiosamente, son las grandes compañías las que peor equipadas están de teléfonos móviles, representando, de esta forma, un gran potencial aprovechable como base de este crecimiento esperado. Los factores más importantes que retrasan el crecimiento del GSM en oficina son el alto coste, la calidad de las líneas (la cual puede no ser muy buena en algunos edificios) y la dificultad de construir un sistema de alta capacidad utilizando el planteamiento celular GSM normalizado.

Para permanecer con éxito en este mercado, el operador celular debe ofrecer una instalación dedicada a oficinas, que proporcione la capacidad y la calidad de cobertura requeridas.

Los beneficios para el operador son obvios: inicialmente, ayudará a captar todo el negocio del teléfono móvil de una empresa y a mantener su lealtad; en la actualidad, las personas dentro de una empresa a menudo utilizan diferentes operadores celulares. En consecuencia, un sistema de buena calidad conducirá a un aumento en el número y duración de las lla-

madras, incrementando así el tráfico generado por los negocios.

### *Mercado de grandes empresas*

El mercado de las grandes empresas es muy importante. Sólo en Europa representa 20 millones de empleados, de los cuales alrededor del 10% tiene una clara necesidad de movilidad, tanto dentro como fuera de la empresa. En consecuencia, son el primer objetivo para los operadores y justifica la inversión inicial. Eventualmente, el 50% de los empleados necesitarán teléfono inalámbrico, lo cual significa más de 10 millones de usuarios en Europa.

### *Criterio para desarrollar una instalación GSM corporativa*

El criterio para desarrollar una instalación GSM dedicada en una empresa variará con los suministradores.

La primera preocupación de los operadores celulares será evitar interferir su red externa, añadiendo una red dedicada a la empresa. Así, en la mayoría de los casos, la red de empresa estará superpuesta a una red existente. Como el operador tiene un espectro de frecuencias limitado, utilizará las mismas frecuencias dentro y fuera del edificio. Más aun, la red de empresa no debe interferir con la red externa.

Segundo, la implantación de la nueva red debe ser lo más simple posible. Esto implica un plan de fre-

cuencias muy sencillo, o incluso la inexistencia de plan alguno.

Finalmente, el operador también deseará que la instalación beneficie a todos los usuarios, no solo a los empleados de la empresa, y será aceptada como una extensión de la Red Móvil Pública Corporativa (PLMN).

La empresa tiene diferentes intereses. El factor que más frena el crecimiento de la telefonía inalámbrica es el coste. Por supuesto, el coste de la instalación debe ser bajo, así como también el coste de su utilización. La empresa debe de tener el control de las llamadas y tener opción a impedir ciertos tipos de llamadas (saliente, internacional, a móviles, etc.), de acuerdo con la posición de los empleados en la empresa.

Las empresas no quieren ofrecer a todos sus empleados la movilidad total. Solamente los empleados que necesiten abandonar su puesto por motivos de trabajo, deberán poder acceder a la PLMN, mientras que otros disfrutarán solamente de movilidad local.

La flexibilidad de la instalación es otro factor clave para las empresas. A menudo alquilan sus locales y cambian de uno a otro con frecuencia. También son corrientes los cambios de oficinas dentro de la propia empresa. La solución de cobertura por radio debe adaptarse rápidamente a cualquier nueva configuración, sin requerir mayor trabajo.

### *¿Por qué GSM?*

Dos cuestiones deben ser consideradas: ¿cumple GSM el requisito de mo-

vilidad limitada dentro de edificios? y ¿es rentable utilizar el GSM como teléfono inalámbrico? Existen otras opciones que son particularmente adecuadas para interiores. Ejemplo típico es la norma Digital Enhanced Cordless Telecommunication (DECT). Alcatel es líder en el campo de los sistemas inalámbricos Private Branch Exchange (PBX), usando la norma DECT.

Sin embargo el DECT no es adecuada para su utilización en exteriores. Cualquiera que tenga que trabajar en exteriores necesita un teléfono GSM. Hoy día, es posible encontrar personas que llevan dos móviles: un teléfono GSM y un teléfono DECT. La solución natural a este problema son los teléfonos con ambos modos DECT/GSM, pero no resuelven la confusión resultante del uso simultáneo de dos sistemas diferentes, que implican diferentes procedimientos de llamada, diferentes correos de voz, etc.

Sobre todo, la integración de las normas GSM y DECT no ha avanzado lo bastante para permitir la integración entre los dos sistemas y ha sido abandonada. Así cuando un móvil está comunicando y deja el entorno DECT, no puede pasar a la red GSM.

Utilizando un sistema único se evitan estas restricciones y se ofrece continuidad de servicio entre la empresa y el mundo exterior. Como es más sencillo adaptar el GSM (el cual ha conseguido mayor penetración en el mercado que DECT) a las restricciones del entorno interior, que adaptar el DECT al entorno exterior, es inevitable la elección del GSM como solución integral.

### **Soluciones tradicionales radio**

En muchas empresas situadas en las cercanías de las ciudades, la cobertura proporcionada por la infraestructura GSM existente es suficiente para la mayoría de las oficinas. Solamente, no son cubiertos los locales con ventanas pequeñas. Sin embargo, estas pequeñas brechas de cobertura son suficientes para retrasar la adopción general de teléfonos móviles, puesto que los empleados deben ser alcanzados allá donde se encuentren.

Además, la capacidad ofrecida por la Estación Base Transceptora (BTS) exterior es completamente inadecuada. En la mayoría de los casos, el operador carece de frecuencias en el espectro para cumplir las demandas de las oficinas. La asignación extra de frecuencias de GSM 1800 no es una solución, porque las frecuencias en la banda de los 1800 MHz se propagan difícilmente dentro de los edificios. Un único BTS de alta capacidad (12 transceptores, que proporcionan alrededor de 100 canales de tráfico) no puede, en cualquier circunstancia, cumplir los requisitos de capacidad de todas las oficinas dentro del área de cobertura.

El problema de cobertura radio puede ser resuelto por canales radio GSM dentro de un edificio. En este caso, las restricciones de propagación requieren la utilización de múltiples transmisores estratégicamente situados (iluminación, cobertura, multiemplazamiento) para cubrir enteramente el edificio. Entonces pueden concebirse soluciones convencionales, tales como distribución de la señal radio dentro del edificio por antenas múltiples vía cable coaxial o fibra óptica.

En el caso de enlaces por cable coaxial, puede utilizarse una BTS de relativa alta capacidad para cumplir los requisitos de esta clase. Las señales son divididas entre las diversas antenas en orden a cubrir el edificio completo. Sin embargo, la adición de multiplexores significa pérdidas en las señales, por lo cual se precisa una mayor potencia de transmisión. Los móviles también deben transmitir en alta potencia para compensar las pérdidas introducidas por las antenas. Todas estas actuaciones crean interferencias en la red externa y es necesario incluir la celda en el plan de frecuencias PLMN y modificarlo cada vez que sea instalada una nueva BTS.

Cuando se utiliza fibra óptica con transmisión analógica, la señal es de nuevo amplificada en la antena, de forma que la potencia de transmisión puede mantenerse baja. Desafortunadamente, la linealidad de los siste-

mas ópticos queda restringida, ya que solamente pueden ser transmitidos un número limitado de canales simultáneos (típicamente dos canales), reduciéndose por consiguiente la capacidad de tales sistemas.

### **■ Solución "Stretch Cell" de Alcatel**

#### **Concepto**

Proveer una excelente cobertura de radio en cada piso de un edificio es un reto bien conocido, especialmente porque los pisos superiores sufren a menudo altos niveles de interferencia. Un nivel de señal suficientemente elevado debe alcanzar a cada usuario, sin incrementar el nivel general de interferencia de la red externa. El único camino práctico para resolver este problema es instalar varios elementos de radiación, transmitiendo cada uno a bajo nivel (aproximadamente 100 mW) y cubriendo un área pequeña, limitando así la energía de radiación necesaria para transportar una llamada en el área requerida (típicamente aquella parte del piso en el cual es localizado el móvil). Este es el concepto de las picoceldas.

Sin embargo, un sistema convencional de picoceldas, en el cual cada una de ellas es equivalente a una celda GSM, se hace muy difícil de manejar a causa de la planificación de frecuencias (al menos cada celda GSM debe transmitir continuamente un canal de control radio) y del manejo de múltiples emplazamientos cercanos, lo que se convierte en una pesadilla para el operador GSM.

Por ello, el grupo de Comunicaciones Móviles de Alcatel ha desarrollado un nuevo concepto de "Stretched Cell" en el cual todas las picoceldas dentro de un edificio pertenecen a la misma celda GSM. En consecuencia, sólo hay una frecuencia de Broadcast Control Channel (BCCH) en todo el edificio. Este concepto combina muy alta capacidad con una excelente cobertura en cualquier tipo de edificación.

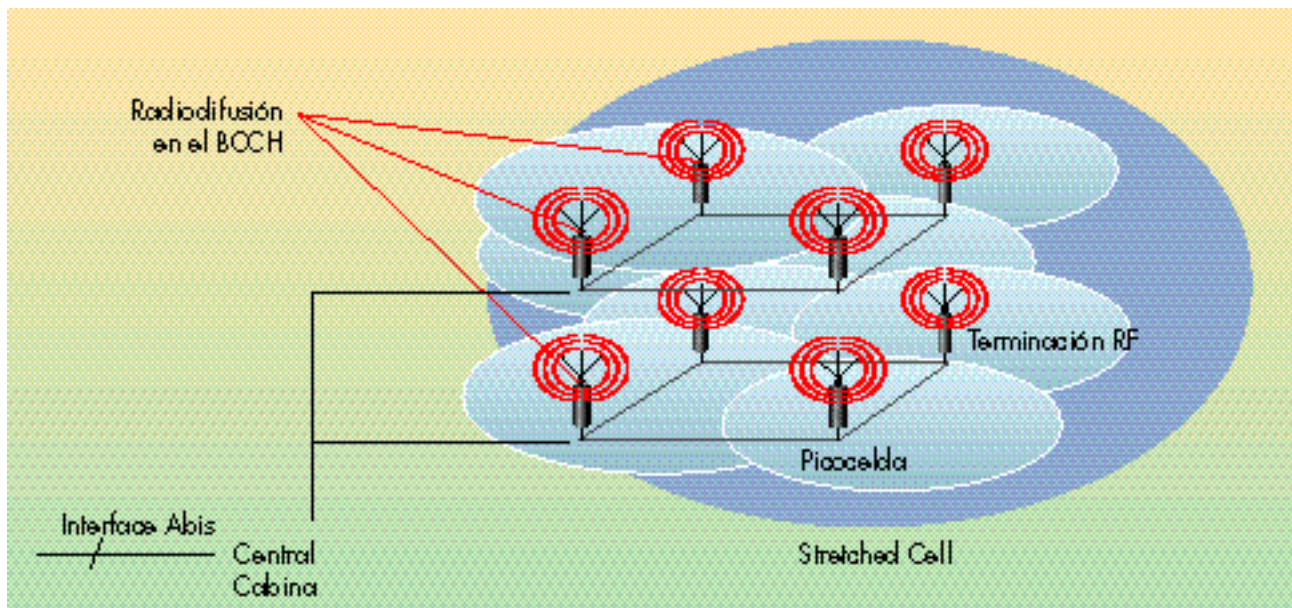


Figura 1 - Arquitectura de una Stretched Cell.

La "Stretched Cell" (ver **Figura 1**) cumple completamente con los modelos GSM 900 ó 1800 y maneja todos los tipos de canales; así cualquier móvil modelo GSM puede operar dentro de la Stretched Cell.

El principio general de la "Stretched Cell" es el siguiente: la frecuencia BCCH es transmitida simultáneamente por todos los terminales radio. Todos los controles de canales comunes son transmitidos en esta frecuencia. Cada terminal radio puede también recibir mensajes de establecimiento de llamadas (Random Access Channel; RACH). Consecuentemente, un móvil puede hacer una llamada a una celda desde cualquier sitio. Entonces, la posición del móvil es estimada en la "Stretched Cell" y se le asigna un canal dedicado entre los disponibles de la estación repetidora. Durante la llamada, solamente la estación repetidora, cercana comunica con el móvil utilizando un nivel bajo de señal, por lo que las interferencias que puedan generar en cualquier red exterior son muy bajas. Un móvil que se mueva dentro del área de la picocelda es entregado de una a otra estación repetidora sobre la base de la señal estimada por las diversas estaciones repetidoras en el canal de enlace superior (uplink). Esta opera-

ción no es detectable por el usuario. No se requiere declaración de vecindad entre las picoceldas.

Los canales de tráfico operan con frecuencias que sobrepasan la banda entera permitida en la aplicación. Esto tiene varias ventajas. Las llamadas internas son más robustas frente a las de la red externa, pero lo más importante es que el sistema no requiere una planificación de las frecuencias de tráfico. No obstante, las frecuencias BCCH deben incluirse en la planificación PLMN.

La Stretched Cell es una parte integral del PLMN. Un móvil que deje una picocelda entrará en cualquier celda del PLMN. De forma similar, un móvil que entre en una picocelda entrará en el sistema "Stretched Cell".

#### ■ Nuevo Tipo de BTS

Alcatel está planificando el desarrollo de una nueva BTS, que pueda gestionar la "Stretched Cell" y disminuir la inversión total. Esta BTS consiste en una unidad central y un número de terminales radio; el área de cobertura de un terminal radio es una picocelda.

La capacidad total de una BTS puede ser tan alta como 80 Erlangs con un muy bajo porcentaje de bloqueo de al-

rededor 0,1%. La BTS controla hasta 24 picoceldas, cada una con un terminal de radiofrecuencia (RF), teniendo una capacidad máxima de dos transmisores-receptores (tráfico).

Un prototipo ha sido utilizado, como ensayo en el concepto "Stretched Cell", en un entorno real durante el otoño de 1998.

#### Funciones de la "Stretch Cell BTS"

##### Fácil instalación

Un terminal RF puede ser fácilmente instalado o cambiado de lugar por un simple operario no especializado. El equipo, que es muy compacto (menos de 3 litros) y ligero (3 Kg.), se conecta a la unidad central por líneas de pares cableados, reutilizando los cables existentes de la compañía lo máximo que sea posible. El terminal de RF no requiere alimentación propia de energía, puesto que recibe alimentación remota de energía de la unidad central. El terminal es montado contra la pared y su ocupación horizontal es pequeña.

##### Cobertura perfecta

La calidad excelente de cobertura se asegura por toda la empresa, incluyendo lugares que tradicionalmente están mal servidos, tales como apar-

camientos subterráneos, huecos de escaleras, elevadores y locales con ventanas pequeñas. La cobertura está proporcionada por terminales RF sobre todos los locales de la compañía (ver **Figura 2**). Cada piso de un edificio de tamaño mediano requiere 2 terminales. Un terminal de RF también puede ser instalado fuera para continuidad de la cobertura sobre el total del emplazamiento.

### Movilidad total

Los usuarios pueden moverse libremente dentro de la empresa. Sus llamadas son siempre manejadas por el elemento de radiación más próximo, el cual proporciona la mejor calidad posible. Conforme se mueven dentro de la empresa, son imperceptiblemente transferidos de un terminal RF a otro. Aun dejando la red de la empresa, la conexión se mantiene por traspaso a una celda PLMN. Igualmente, cuando un usuario entra en la red de la empresa, la conexión que se estableció en una celda externa no se pierde, aun cuando el usuario conduce en un aparcamiento subterráneo. Actualmente, el 99% de las conexiones se interrumpen en esta situación.

### Calidad de la línea física

La calidad de la conversación es similar a la de la red alámbrica (hilos físicos), en particular porque se utiliza la codificación Enhanced Full Rate

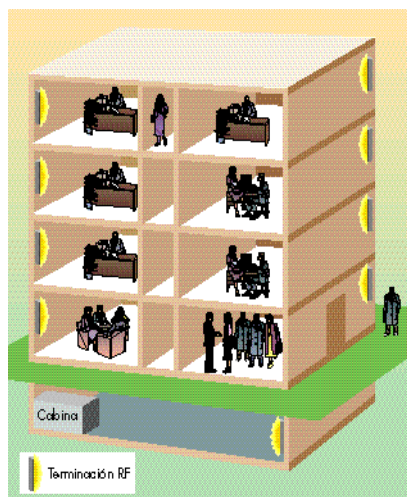


Figura 2 - Distribución de terminales RF en un edificio de oficinas.

(EFR) y no hay transposición dual (operación fila-libre) en enlaces móviles a móviles.

### Capacidad modular

La capacidad proporcionada por la "Stretched Cell" puede ser modulada y puede llegar a ser de 80 Erlangs. Inicialmente, se utilizan algoritmos simples para permitir saltos de las leyes de frecuencias y para manejar móviles de una estación a otra. En una segunda etapa, un algoritmo más complejo soportará y controlará la contención entre frecuencias de llamadas simultáneas y en el área de la picocelda se incrementará la capacidad de la "Stretched Cell", utilizando el mismo espectro.

### Operaciones y mantenimiento

La BTS "Stretched Cell" se beneficia de las facilidades de las Operaciones y Mantenimiento dedicadas (OPM), las cuales están divididas en dos partes. Un centro local O&M (OMC) permite a la compañía de telecomunicación integradora la operación de supervisión de la red dedicada para identificar los fallos en las unidades, los cuales pueden ser reemplazadas sin llamar al operador.

El operador retiene el control de la celda desde un centro remoto OMC desde el cual el "Stretched Cell" puede ser monitorizado y modificados sus parámetros centrales (por ejemplo, asignación de frecuencias y relaciones vecinales con celdas externas).

### Interoperatividad con la red externa

Cualquier tipo de edificación puede ser equipado con el concepto "Stretched Cell", desde el punto de vista del entorno externo de radio. La instalación también es posible donde no hay cobertura GSM, o dentro de una red pública GSM, sea o no suministrada por Alcatel.

## ■ Una Solución Completa: Radio más Red

El concepto "Stretched Cell" y su BTS constituyen una solución muy atractiva a los problemas de cobertura de

radio. Sin embargo, las oficinas de negocios encontrarán la solución aún más atractiva si se incluyen funciones relativas a la red.

### Tarificación de la zona de la empresa

La extensión en la adopción de los teléfonos GSM por las oficinas de negocios dependerá de si las llamadas dentro de la empresa son valoradas a un porcentaje bajo, o si incluso son libres de carga. La tarificación de zona de empresa ofrece esta posibilidad. Las llamadas son más baratas cuando el usuario está en casa o en el trabajo. Dado el pequeño tamaño de las picoceldas, el operador será capaz de facturar en un alto porcentaje tan pronto como un usuario deje la empresa, incluso con tan sólo unos pocos centenas de metros de distancia.

### Enrutamiento local de llamadas internas y CMC

En grandes empresas equipadas con PBXs, las llamadas internas representan por lo general alrededor del 50% de todas las llamadas. El enrutamiento local de tales llamadas significa un substancial ahorro en el costo de las conexiones a la Central de Conmutación Móvil (MSC).

Además, al menos inicialmente, muchos teléfonos deberán ser conectados a la PBX. Por conexión directa del sistema GSM a la PBX local, es posible establecer la ruta llamada móvil-fija, como se muestra en la **Figura 3**.

La Solución Radio Corporativa (CMC) provee a los usuarios con un dispositivo de funciones PBX (marcación corta, protección de llamadas, transferencia de llamadas) que están disponibles para todo el mundo. Los usuarios pueden acceder a los mismos servicios sin tener en cuenta si están localizados dentro o fuera de la empresa. Las facilidades CMS, tales como excepción de llamadas, ofrece a la dirección de las oficinas el control total de los costes de telecomunicación de la empresa.

Una combinación conjunta del CMS con una cobertura radio utilizando las "Stretched Cell" proporciona una solu-



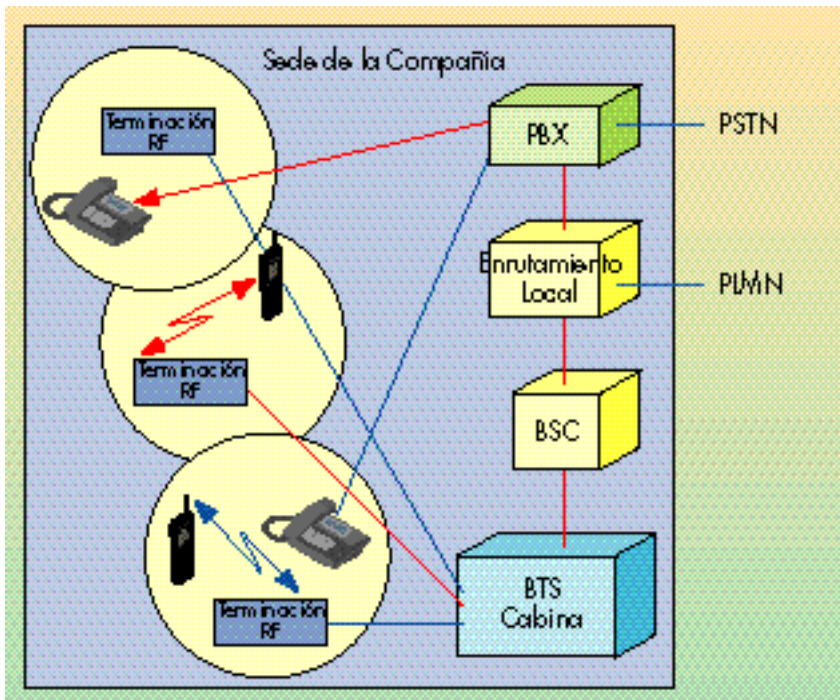


Figura 3 - Enrutamiento local de una llamada interna fijo-móvil.

ción amplia a los requisitos del operador y de los usuarios de negocio.

### ■ Conclusiones

La solución "Stretched Cell" al problema de cobertura radio corporativa

es atractiva para todos, desde el operador celular al usuario final y a la compañía integradora de telecomunicaciones. El éxito de este concepto dependerá del acuerdo en el coste de los diferentes tipos de llamadas, negociados entre la compañía y el operador celular.

Esta solución global es un paso importante hacia la convergencia fijo-móvil. Inicialmente, los teléfonos GSM complementan a los teléfonos con hilos, pero posteriormente reemplazarán a la mayor parte de los usuarios.

Como conclusión final; el concepto "Stretched Cell" no es solamente aplicable al mundo de los negocios. Puede aplicarse a toda clase de entornos interiores, incluyendo edificios públicos como estaciones, aeropuertos y centros comerciales, los cuales son ya un objetivo prioritario de los operadores GSM debido a la generación alta de tráfico. Además, pueden utilizarse para aplicaciones exteriores de muy alta densidad.

**Corinne Cherpantier** es Jefe de Producto para la línea de productos Base Station Subsystem dentro del grupo Product and Marketing de la División de Comunicaciones Móviles de Alcatel en Vélizy, Francia.

# CALIDAD DE LA VOZ EN LOS SISTEMAS GSM

L. CRUCHANT  
P. DUPUY

**Aunque GSM está demostrando tener un gran éxito, deberá ofrecer en el futuro la misma calidad de voz que la que, hoy en día, ofrece la red fija.**

## ■ Introducción

Hasta hace poco tiempo, el extraordinario crecimiento comercial del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) se había basado principalmente en la disponibilidad de un nuevo y atractivo servicio. Así, cualquier operadora que ofreciera una cobertura suficiente tenía garantizados un gran número de clientes. Sin embargo, actualmente el mercado está madurando de forma que los usuarios potenciales están exigiendo unos servicios de mayor calidad. Consecuentemente, los operadores de GSM se están enfrentando por primera vez a una competencia real, debiendo ofrecer un servicio de alta calidad para conseguir nuevos abonados.

En este mercado tan competitivo, la verdadera ventaja puede residir en los servicios de valor añadido, tales como los servicios de mensajes cortos y de fax. Sin embargo, la calidad de la voz es probablemente el elemento más estratégico, sobre todo para los usuarios acostumbrados a la calidad de la red fija.

Desgraciadamente, el codificador inicial de voz de GSM no ofrece la calidad de la red fija, cuyos usuarios han llegado a considerarla como normal, ya que cuando se definió el estándar se tuvo que llegar a un compromiso entre la tecnología de proceso digital disponible, las técnicas de compresión de voz y las condiciones de radiopropagación.

Hoy en día los operadores de GSM están demandando dos tipos de mejoras en el sistema:

- Mejores prestaciones de la red para conseguir que los problemas de radiopropagación sean imperceptibles para el usuario.
- Mejores codificadores de voz que ofrezcan idéntica calidad de voz que las redes fijas.

## ■ Estado del Arte

Los sistemas GSM tienen dos posibles causas de degradación de la señal:

- Codificador de voz (vocoder), que introduce distorsión de la voz
- Errores de transmisión, que distorsionan la información de voz cuando se la transmite por el aire

### Vocoder

Desde los primeros tiempos de la codificación de voz, ha sido necesario buscar un compromiso entre la calidad deseada de la voz y los recursos necesarios de la red para transportarla. Hoy en día, tenemos dos extremos: la calidad del disco compacto de audio (700 kbit/s; muy alta calidad) y los mensajes pre-grabados (500 bits/s, con dificultad para identificar al que habla). En el medio está la red fija digital que utiliza 64 kbit/s (basado en una codificación ineficiente inventada hace 30 años).

En el caso de las comunicaciones por radio, la voz se codifica dentro del margen de 2,4 a 32 kbit/s. En GSM se ha definido un total de 22,4 kbit/s para el interfaz radio, incluyendo la codificación de voz y la codificación de canal necesarias para proteger la comunicación vía radio.

Estas restricciones han conducido a un complejo esquema de codificación en el que los componentes más importantes de la voz están altamente protegidos y, los menos importantes, no lo están en absoluto.

Naturalmente, hay que pagar un precio para esta calidad: la introducción de un codificador nuevo de voz es difícil ya que afecta simultáneamente al codificador de voz y al codificador de canal.

### Problemas en la transmisión

Los errores de transmisión tienen consecuencias diferentes, dependiendo de si se detecta el error o no. Los errores no detectados alteran la voz creando sonidos artificiales, lo que se denomina ruido "ping-pong".

Cuando los errores son detectados o no se recibe información por alguna razón, el sistema debe ser capaz de extrapolar la voz. Este es un tema crucial a la hora de seleccionar el codificador de voz. El algoritmo predictivo elegido permite, hasta cierto punto, la extrapolación de voz. Sin embargo, esto degrada la calidad de la misma y produce un sonido que se conoce como "voz de robot".

La extrapolación de voz se necesita principalmente durante los trasposos (handover), aunque pueden producir problemas en los periodos de silencio en los que no hay transmisión.

### **Periodos de silencio**

Las conversaciones normales son semi-duplex, lo cual reduce la interferencia y el consumo de batería en ambos terminales móviles. Esta técnica se la conoce por Transmisión Discontinua (DTX), que se basa en la Detección de la Actividad de Voz (VAD); cuando se produce un silencio, la transmisión cesa.

La voz es reemplazada por información de silencio (que exige una baja velocidad de transmisión de datos) a fin de mantener el ruido de fondo.

Desgraciadamente, la VAD causa un recorte (clipping) en la voz cuando se utiliza más de una vez en un párrafo. Esto puede degradar la calidad de la comunicación entre móviles, que cada vez será más común. Una operación sin tándem (por ejemplo, mediante eliminación de las etapas intermedias de transcodificación) debería resolver este problema.

### **Traspaso**

Cuando el terminal móvil se desplaza de una celda a otra, hay un intervalo de tiempo durante el cual ambos -terminal y estación base de la infraestructura- deben extrapolar localmente la voz para realizar el cambio de celda, de forma tan imperceptible como sea posible. Debido a que la extrapolación degrada la calidad de la voz, es muy importante limitar la duración de este proceso mediante la utilización de un mecanismo eficiente de traspaso.

El estándar inicial del GSM definió dos algoritmos de traspaso. Con el procedimiento más simple, conocido como traspaso asíncrono, el terminal y la nueva estación interaccionan para aprender la distancia relativa desde el terminal móvil cuando llega a la nueva celda, de manera que pueden compensar el efecto que tiene la distancia sobre el tiempo de comienzo de la transmisión. Esto es un punto clave en los sistemas de Ac-

ceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA). Este método produce típicamente una interrupción de 160 ms.

A fin de evitar este periodo de aprendizaje, es posible sincronizar la red: el terminal móvil puede entonces predecir su distancia relativa de la nueva celda, sin necesidad de intercambios a través del interfaz radio. El traspaso síncrono reduce la duración del intervalo de interrupción de la voz alrededor hasta de 40 ms.

Desgraciadamente, resulta muy difícil conseguir una sincronización perfecta en la red con precisión de varios microsegundos. Por lo que en la práctica, la sincronización local se ofrece solamente cuando es el mismo equipo físico quien controla las celdas.

El fabricante de infraestructuras puede también mejorar la función de traspaso sin necesidad de cambiar el estándar. En el tramo ascendente (desde el terminal móvil hasta la infraestructura) la conmutación en el momento adecuado es la clave para evitar una interrupción innecesaria de la conversación. Esto se consigue fácilmente en el traspaso interno: cuando se utiliza el mismo transcodificador en ambas celdas, éste puede extrapolar la palabra antigua hasta que la nueva celda recibe información válida.

Sin embargo, es más difícil para el traspaso externo, ya que involucra a dos transcodificadores diferentes. El Centro de Conmutación de Móviles (MSC) debe decidir entonces el momento de la conmutación, basándose únicamente en los mensajes de señalización, que no tienen una sincronización fina con el canal de voz. Sin embargo se puede alcanzar un compromiso aceptable. El siempre creciente tamaño de los Controladores de Estaciones Base (BSC) reduce el número de trasposos externos, minimizando, por lo tanto, su impacto sobre la calidad de la voz.

En el tramo descendente, la difusión de la información de voz a ambas celdas, la antigua y la nueva, es una solución sencilla y barata que reduce la interrupción de la conversación a 60 ms.

## **■ Evolución de los Estándares hasta 1998**

### **Mejoras en el traspaso**

Se han seguido varias alternativas para reducir el intervalo de interrupción en el GSM, evitando la dificultad de sincronizar toda la red.

La primera involucra el diseño de un sistema de autoaprendizaje en el que la red y los terminales móviles colaboran para medir la sincronización relativa entre las celdas, permitiendo así una forma de pseudo-sincronización. La red no está sincronizada, pero partiendo del conocimiento de su retardo relativo, los diversos equipos pueden trabajar como si lo estuvieran. Esto ofrece las mismas prestaciones que el traspaso síncrono, sin pagar el precio de la sincronización de la red. Aunque es teóricamente perfecto, esta solución es relativamente compleja y es solamente una opción en el estándar.

De forma más práctica, se ha detectado que en una red densa las celdas son pequeñas. Consecuentemente, el móvil está casi a la misma distancia de la nueva celda cuando se procede al traspaso. Esta distancia puede proporcionarse al móvil, junto con la orden de realizar el traspaso, evitando así la fase de aprendizaje. De esta forma, la interrupción total de la conversación se reduce (como en el traspaso síncrono) en una red totalmente asíncrona. Conocido como el traspaso presincronizado, se lo consideró suficientemente atractivo por parte del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) para hacerlo obligatorio en todos los terminales móviles de GSM de fase 2.

Basándose de nuevo en esta solución pragmática, la parte del protocolo de traspaso síncrono que se utiliza en la nueva celda para medir la distancia exacta entre el terminal móvil y la Estación Base Transceptora (BTS) se ha hecho opcional, reduciendo el intervalo de interrupción de la conversación 20 ms adicionales.

El resultado global de todas estas mejoras del GSM ha logrado reducir el intervalo de interrupción de la con-

versación a 60 ms. Naturalmente, esto presupone que la red está sincronizada o las celdas son pequeñas, y que tanto el terminal móvil como la infraestructura hacen uso de la mejor solución posible.

## Nuevos Codecs

### Codec a media velocidad

El objetivo principal del codec de media velocidad (HR) es el de aumentar la capacidad. Esto se consigue reduciendo la calidad, especialmente cuando la relación portadora a Interferencia (C/I) es baja. Sin embargo, los operadores de red no tienen intención de utilizar los codecs a media velocidad en todas las llamadas de terminales móviles con posibilidades de hacerlo, sino solamente en condiciones de alto tráfico a fin de mantener un compromiso entre capacidad y calidad.

La estandarización de los codecs a media velocidad comenzó a principios de los años 90 y se finalizó a comienzos de 1995. Desde esta fecha, el codec HR no ha sido muy utilizado. En realidad, a pesar de que el codec HR ofrece unas prestaciones globales equivalentes a los de velocidad nominal, funciona regular en tándem y cuando hay ruido de fondo.

Se admite actualmente que los codecs HR nunca serán desplegados a menos que se prescindiera de la operación en tándem (véase más abajo) y se incorporen técnicas de reducción de ruido. En realidad, la rápida estandarización del codec de Velocidad Múltiple Adaptativa (AMR) (véase más abajo) y las ganancias en capacidad alcanzable por otras técnicas de red orientadas a conseguir mayores densidades de tráfico (por ejemplo, operación en multibanda, cobertura microcelular), pueden comprometer el futuro del codec HR.

### Codec mejorado de velocidad nominal

La estandarización del codec Mejorado de Velocidad Nominal (EFR) transcurrió desde primeros de 1995 hasta mediados de 1996. No hubo un proceso de selección dentro de la competencia, sino que se eligió el codec es-

tandarizado en Norteamérica para el sistema PCS1900.

El codec EFR es sensiblemente mejor que el codec a Velocidad Nominal (FR) en todas las condiciones, aunque el alcance de esta ventaja depende de la calidad de la red: a medida que aumentan los errores del canal, las prestaciones convergen.

## ■ Evolución en el Futuro

### Codec de velocidad múltiple adaptativa

Después de que se hubiera seleccionado el EFR, el Grupo Especial de Móviles de ETSI (SMG) creó un Grupo Estratégico para la Calidad de la Voz (SQSG) con el fin de definir una estrategia a medio plazo para la introducción de los nuevos codecs. El SMG llevó a cabo las propuestas del SQSG y decidió iniciar el programa de trabajo para desarrollar el codec AMR a finales de 1996.

Sobre la base de los resultados del estudio de viabilidad de un año de duración, el SMG decidió, en octubre de 1997, emprender la estandarización del AMR con un ambicioso plan de trabajo. En el momento de escribir este artículo, se han calificado cinco codecs, de once candidatos, para la fase de selección (incluyendo la propuesta de Alcatel, desarrollada en colaboración con otros). El proceso de selección debería haber finalizado en octubre de 1998, de modo que el estándar completo estará disponible a mitad de 1999.

El objetivo del codec AMR es, en primer lugar, proporcionar una calidad similar a la que proporciona la línea cableada, combinada con la mayor capacidad ofrecida por la operación a media velocidad, y, en segundo lugar, ofrecer una mayor tolerancia a la alta tasa de error de la comunicación vía radio durante la operación a velocidad nominal.

Para cumplir con estos dos objetivos, el sistema AMR se adapta continuamente a las condiciones del canal radio y a la carga de tráfico, hasta encontrar el mejor compromiso entre la

calidad de la voz y la capacidad de cursar tráfico mediante la selección óptima del modo de canal y del modo de codec.

El codec AMR puede operar en dos modos de canal –velocidad nominal y media velocidad (ver **Tabla 1**)– correspondiente a los canales de tráfico de GSM TCH/F y TCH/H. Para cada modo de canal existen varios modos posibles de codec, permitiendo cambiar rápidamente la combinación de la codificación voz y de canal (varias veces por segundo).

El algoritmo de adaptación del modo de operación del codec permite seguir la variación de la calidad de la voz utilizando métricas específicas y decide los cambios de modo en el codec. El algoritmo ubicado en la BTS envía su orden a la Estación Móvil (MS) mediante señalización en banda. La adaptación se realiza de modo independiente en el tramo ascendente y en el descendente, y se utiliza el mismo modo de canal en ambas direcciones.

Como se muestra en la **Figura 1**, la multiplicidad de los modos de codec mejora significativamente las prestaciones comparando con el codec correspondiente de velocidad fija que utiliza un compromiso entre las posibilidades de las condiciones de canal detectadas.

Se puede conmutar el modo del canal a fin de aumentar la capacidad del mismo, a la vez que se mantiene la calidad de la voz. Los cambios de modo de canal se llevan a cabo mediante trasposos intra-celda desencadenados por las variaciones de carga de tráfico por celda. Los trasposos en el AMR sucederán menos frecuentemente que los cambios de modo del codec (algunas veces por minuto).

La adaptación del enlace permite la flexibilidad de la aplicación:

- Velocidad nominal, sólo para maximizar la calidad de la voz.
- Media velocidad, sólo para maximizar la capacidad en la transmisión radio.
- Mezcla de velocidad nominal y media velocidad para una solución de compromiso entre calidad y mejora de ca-



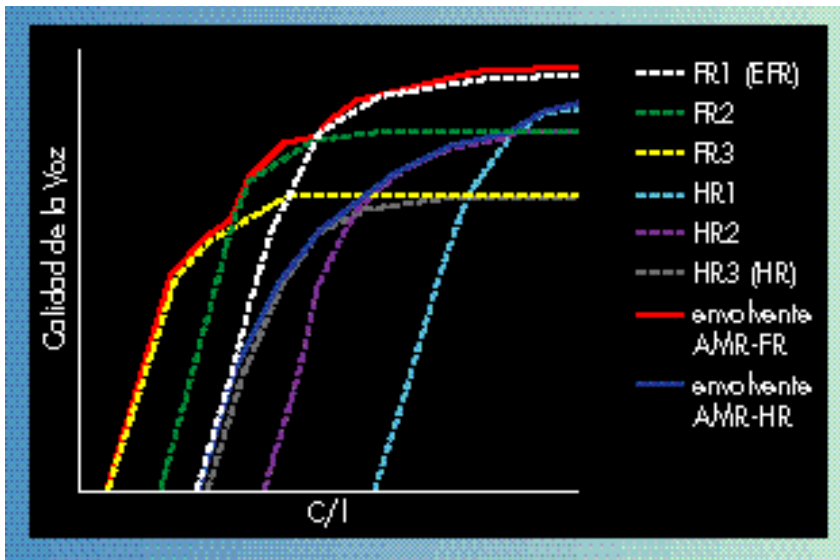


Figura 1 - Mejora de las prestaciones que se produce con la utilización de los múltiples modos del codec.

pacidad, de acuerdo con las condiciones del canal radio, del tráfico y de la prioridad del operador.

Se espera una mejora sustancial de las prestaciones en términos de capacidad y calidad. Por ejemplo, se ha demostrado que en modo de velocidad nominal, la calidad de un codec EFR con una relación C/I de 10 dB, se extiende hasta una C/I de 4 dB, lo que equivale a una ganancia incremental de 1 a 2 en la Puntuación Media de Opinión (MOS), donde el incremento se refiere a la diferencia entre dos valores absolutos de MOS. En el modo a media velocidad con una alta C/I, la calidad es equivalente a la de una conexión cableada utilizando la codificación G.728, mientras que en el modo de media velocidad con una baja C/I, la calidad es equivalente a la de un codec FR.

Para conseguir la calidad de la conexión cableada (ver definición) en más de un 80% de las llamadas, la ganancia en capacidad (relativa solamente a la conseguida con velocidad nominal) estaría entre un 30% y un 50%, asumiendo que todas las estaciones móviles son capaces de operar en AMR.

El siguiente paso, y posiblemente el último para el sistema GSM, es el de extender el codec AMR a la aplicación audio de gran ancho de banda. El ancho de banda aumentaría a 7 KHz.

El codec AMR, con adaptaciones, sería un probable candidato para los sistemas de tercera generación tales como el Sistema de Telecomunicación Móvil Universal (UMTS).

### Operación sin tándem

Desde las primeras etapas de las instalaciones de redes GSM, se reconoció que la calidad de la voz resultaba innecesariamente degradada en los casos de llamadas de móvil a móvil (configuración en tándem). En tal configuración, la voz se transcodifica dos veces, una en cada Subsistema de Estación Base (BSS) asociada a la llamada.

Cuando ambos móviles utilizan el mismo tipo de codificador de voz, la Operación Sin Tándem (TFO) elimina la doble decodificación evitando los transcodificadores de las BSS, tal como se muestra en la **Figura 2**.

La solución actualmente estandarizada por el SMG se basa en una señalización en banda. Esto significa que el establecimiento de la TFO se negocia entre los dos transcodificadores de las BSS participantes, los cuales dialogan entre ellos dentro de la banda. La señalización en banda necesita mantener la integridad de los dígitos a lo largo de todo el enlace de la red de comunicaciones. Desgraciadamente, este requisito no puede respetarse en todas las configuraciones de llamada móvil a móvil debido a la utilización de circuitería intercalada (por ejemplo, canceladores de eco) y a las líneas analógicas.

Por otra parte, durante una interrupción o traspaso, habrá un intervalo corto de tiempo en el que se aplique TFO solamente en una parte. Sin embargo, el estándar GSM especifica precisamente los requisitos para la temporización y la calidad de la voz en operación TFO.

Estas limitaciones reducen el interés en la operación TFO: dependerá en un alto grado de la proporción de llamadas entre móviles dentro de la propia red GSM (para las que la integridad de los dígitos se garantiza de forma intrínseca).

La ganancia en la calidad conseguida mediante la operación TFO se cuantificó en dos rondas de pruebas subjetivas, coordinadas internacionalmente, relativas a la interoperabilidad entre HR/FR/EFR y TFO. En el caso de tándem HR-HR y EFR-EFR, la operación TFO mostró una mejora máxima de 0,7 MOS.

La utilización de la señalización en banda tiene algún efecto sobre la calidad de la señal. Por ejemplo, la señalización en banda utiliza técnicas de

Tipo de codec	Velocidad de bit en origen
FR	13 kbit/s
EFR	12,2 kbit/s
HR	5,6 kbit/s
AMR	2, 3 ó 4 velocidades de bit por modo de canal, p.e.: desde 4,5 a 8 kbit/s para media velocidad; desde 6,5 a 14 kbit/s para velocidad nominal

Tabla 1 - Velocidad de bit en origen de varios codecs de voz para GSM.

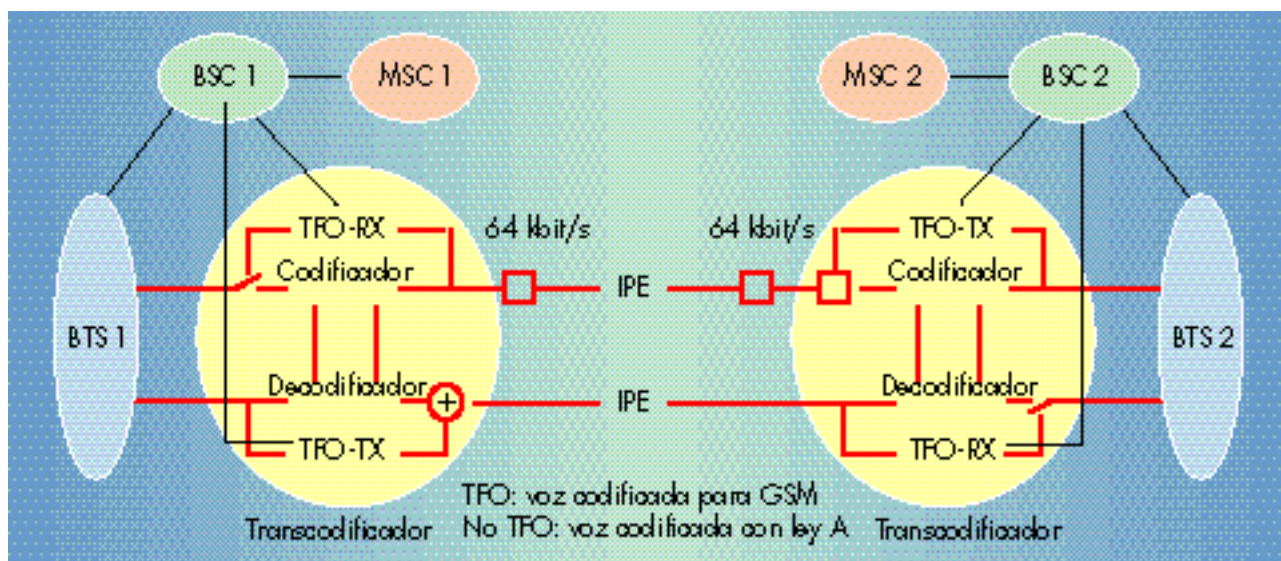


Figura 2 - Arquitectura para una operación sin tándem.

robado de bits cuando se está estableciendo la llamada.

La utilización de señalización fuera de banda también se ha considerado, pero todavía no ha sido estandarizada.

## ■ Conclusiones

La calidad de la voz en la red GSM es el resultado de un compromiso complejo entre la pericia en pura codificación de voz, la experiencia en radio y las mejoras del protocolo de telecomunicaciones. Los estudios del ETSI sobre la futura evolución del GSM dejan claro que la voz permanecerá como un tema importante durante varios años. Ésto no resta importancia a las transmisiones de datos por la red GSM, sino sencillamente subraya el hecho de que la comunicación habla-

da entre personas es todavía el corazón de nuestra profesión.

## ■ Definiciones

- **Calidad RDSI:** Calidad de la voz conseguida a través del par telefónico, utilizando una conexión digital, duplex y transparente sobre enlaces a 64 kbit/s.
- **Calidad de conexión cableada:** calidad de la voz proporcionada mediante redes modernas cableadas. Se considera habitualmente una calidad como mínimo tan buena como la de los codecs a 32 kbit/s G.726 o G728.

## ■ Referencias

- 1 Recomendación UIT-T, G.726: "40, 32, 24, 16 kbit/s modulación por impulsos y código diferencial adaptativo".

2 Recomendación UIT-T G.728: "Codificación de la voz a 16 kbit/s, utilizando la predicción lineal por excitación de código de bajo retardo".

**Laurent Cruchant** es responsable de las especificaciones de sistema de la BSS del GSM de Alcatel y de la participación técnica en los temas de las BSS del sistema GSM en el SMG del ETSI. Está ubicado en la División de Comunicaciones de Alcatel Móviles, en Vélizy, Francia.

**Pierre Dupuy** es un experto pionero en GSM e inventor del procedimiento de traspaso pre-sincronizado. Actualmente, está trabajando en la definición de la nueva infraestructura de la BSS en la División de Comunicaciones de Alcatel Móviles, en Vélizy, Francia.

# SISTEMA DE TELÉFONO INALÁMBRICO

P. DESBLANCS  
C. MASSY  
S. MESSIET  
J. F. RUBON

El CTS permite a los usuarios realizar y recibir llamadas con sus teléfonos GSM a través de la red fija y, de este modo, acceder a los servicios de ambas redes.

## ■ Introducción

La gran popularidad de los teléfonos móviles y la aparición de nuevos operadores de red hace que sea, cada vez más deseable, el trabajo conjunto de la red del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) y de la red fija. El Sistema de Teléfono Inalámbrico (CTS) se ha desarrollado para permitir a los usuarios de GSM la realización y recepción de llamadas sobre la red fija. Por tanto, esto representa un paso inicial hacia la convergencia final de las redes fija y móvil. Una vez que esta convergencia se haya alcanzado, un usuario podrá poseer un único número personal, junto con un único buzón electrónico y un único buzón de voz.

Los usuarios de GSM realizan y reciben llamadas sobre la red fija a través de una Parte Fija CTS (CTS-FP), que se conecta directamente a la red fija. En una configuración alternativa, la CTS-FP puede conectarse directamente a la red móvil a través de la interfaz aire GSM. Ambos escenarios se ilustran en la **Figura 1**.

Las principales ventajas del sistema CTS son el menor coste de las llamadas y el acceso a los servicios de las redes fija y móvil, utilizando el mismo terminal GSM. El sistema CTS soporta el servicio de mensajes cortos, los servicios suplementarios tal y como están definidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) y la comunicación de datos. Además ofrece una buena calidad de conversación.

Los propietarios/operadores de las redes fijas y móviles ven el CTS como un servicio nuevo y potencialmente rentable. Inicialmente, lo ofrecerán a usuarios individuales aunque también tiene como objetivo a los abonados empresariales. Las personas que todavía no están suscritas al servicio GSM encontrarán en el atractivo coste de las llamadas CTS un aliciente para llegar a convertirse en abonados móviles.

## ■ Principales Características del CTS.

### Planificación de frecuencias

Las llamadas CTS a través del móvil GSM usa las frecuencias asignadas al GSM 900, DCS 1800 y PCS 190. Como el

espectro multifrecuencia está totalmente ocupado en Europa, no es posible asignar una banda de frecuencia dedicada al CTS, así que tiene que utilizar las frecuencias GSM ya asignadas al operador.

El operador contrata una lista de frecuencias autorizadas. Las frecuencias usadas en la actualidad, entre un teléfono móvil y una estación base CTS, se seleccionan de dicha lista por el sistema después de una serie de medidas de radiofrecuencia para determinar cuáles son las menos afectadas por las interferencias.

### Subscripción

Los usuarios tienen que abonarse al servicio CTS, lo que les autoriza a utilizar las frecuencias del operador móvil.

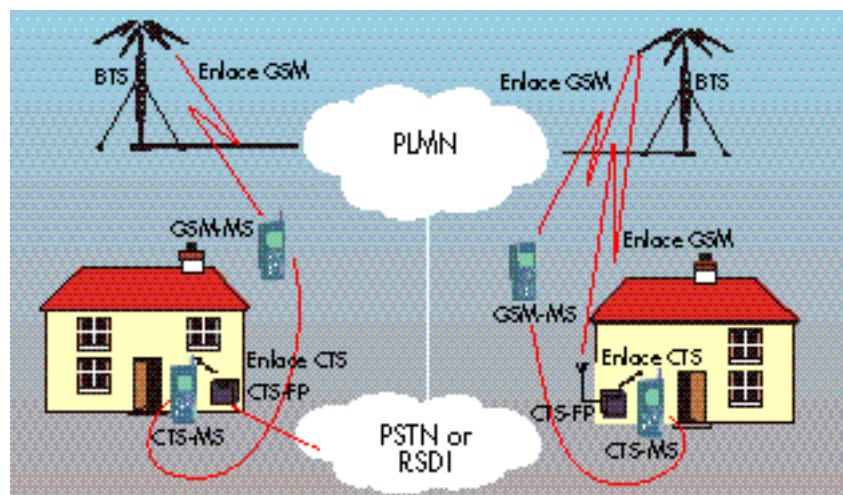


Figura 1 - Principio del sistema telefónico inalámbrico.

Las llamadas son facturadas a la línea telefónica fija del usuario.

Un usuario se suscribe adquiriendo fichas cuyas señales se envían a través de la red autorizando a él o ella a utilizar el sistema durante un determinado periodo de tiempo. La ficha debe renovarse antes del final de dicho periodo. La renovación es transparente al usuario si es enrutada hacia la CTS-FP por la línea fija.

### Gestión de la movilidad

El sistema CTS avisa a la red móvil cuando un usuario se registra en la CTS-FP, de tal forma que el usuario pueda ser conectado a la red fija. Un número personal (o sub-dirección) permite que el móvil sea llamado directamente, sin que reciba corriente de llamada cualquier otro teléfono que pudiera estar conectado a la línea fija.

### Interfaces de red.

Normalmente el CTS se comunica con la red GSM a través de una interfaz aire. Sin embargo, los intercambios con la red se realizan principalmente a través de la red fija. Tales comunicaciones se utilizan para el intercambio de los parámetros de radio (lista de frecuencias a utilizar), fichas de suscripción e informaciones sobre la gestión de la movilidad (datos relacionados con el registro de un móvil en una parte fija).

### Servicios

La cuestión de la convergencia de los servicios se presenta con cualquier sistema de red múltiple. Un terminal GSM puede acceder a una multitud de servicios GSM estandarizados o a servicios personalizados por el operador. Igualmente, la red fija ofrece un amplio rango de servicios. La convergencia de los servicios es aplicable a:

- llamadas de voz originadas/terminadas.
- correo de voz.
- mensajes cortos.
- datos.
- servicios suplementarios.

Actualmente, la mayoría de la gente utiliza varios terminales, cada uno con un número diferente, en los cuales pueden ser localizados y que pueden incluir un teléfono privado, un teléfono de negocios, un teléfono móvil y un facsimil. El CTS, en particular, y la convergencia fija/móvil, en general, se están moviendo hacia la utilización de números personales y hacia un único buzón de voz, de tal manera que los abonados puedan ser llamados en cualquier parte y en cualquier momento. Un nodo de la red inteligente, en la frontera entre las redes fija y móvil, puede gestionar todos los servicios de acuerdo con las necesidades de los usuarios (por ejemplo, los servicios suplementarios), situación (por ejemplo, proximidad a la parte fija, dentro de un área de cobertura GSM) y suscripción (verificación de si los servicios están cubiertos o no por la suscripción).

Cuando un usuario se registra con la CTS-FP, el sistema avisa a la red móvil de tal manera que el usuario pueda entonces ser llamado a través de la línea fija. Más de un terminal móvil CTS puede ser registrado con la misma parte fija. Los usuarios CTS de una CTS-FP pueden suscribirse a diferentes operadores. Los acuerdos de movilidad están implantados para el uso de las frecuencias. Es posible proporcionar un servicio de intercomunicación entre terminales móviles conectados a la misma CTS-FP (llamada

local dentro del CTS) sin implicar a la red fija.

## Descripción del CTS

### Arquitectura del sistema

La **Figura 2** es un diagrama simplificado de la arquitectura CTS. El papel representado por las distintas partes es el siguiente:

- CTS-SN: El Nodo de Servicio CTS, que está conectado a las redes fija y móvil, ofrece tres funciones de gestión: CTS-HLR, CTS-FRA y, como una opción, MSC/VLR (Visitor Location Register).
- CTS-HLR: El Home Location Register es el gestor de los servicios del usuario del CTS.
- CTS-FRA: La unidad de Asignación de Frecuencias es el gestor de frecuencias del CTS.
- CTS-FP: La parte fija es la estación base, la cual incorpora una interfaz de radio con los terminales móviles y una interfaz de línea fija hacia la Red Telefónica Conmutada Pública (PSTN). La red fija encamina las llamadas de los usuarios y el tráfico de señalización entre la parte fija y el nodo de servicio.
- CTS-MS: La Estación Móvil es un terminal GSM con el software modificado para soportar el sistema CTS.

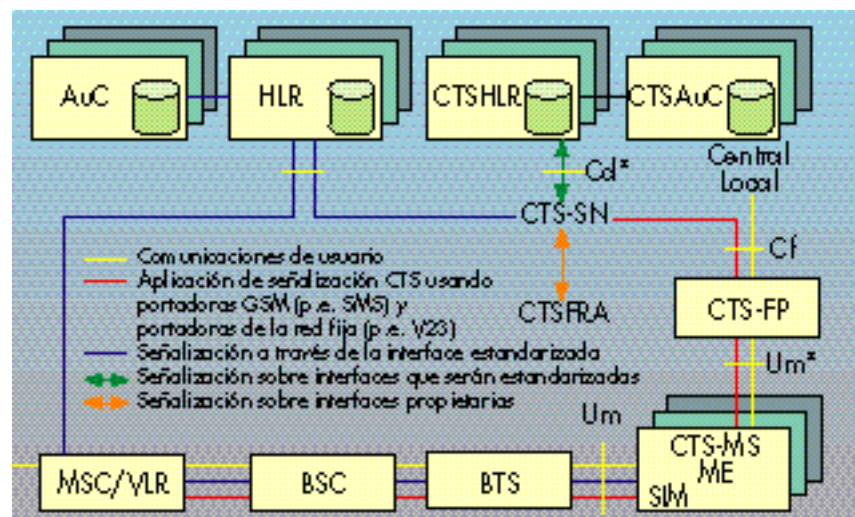


Figura 2 - Arquitectura simplificada CTS.



- **CTS-SIM:** El Módulo de Identidad del Abonado es una tarjeta inteligente que contiene la información sobre la suscripción GSM con unas pocas modificaciones (campos adicionales) para el servicio CTS.
- **FP-SIM:** El Módulo de Identidad del Abonado en la Parte Fija es una tarjeta inteligente dedicada a la estación base que contiene información sobre el abonado CTS.

### Protocolos

El sistema CTS cumple con el conjunto de protocolos GSM, como se muestra en la **Figura 3**. Sin embargo, las capas 1, Recurso Radio (RR), Gestión de Movilidad (MM) y Gestión de Llamadas (CM) han sido ligeramente modificadas para soportar el servicio CTS.

La señalización sobre la PSTN depende de los estándares del operador y de los de la red telefónica nacional, incluyendo si la red es analógica o digital y cualquier servicio específico de los operadores. Por lo tanto, es necesario una capa de interrelación para traducir del protocolo estándar GSM (interfaz radio-Um\*) a un protocolo de red fija específico del operador y del país en la interfaz C<sub>f</sub> (**Figura 3**). Hay que observar que la interfaz Um\* está totalmente estandarizada, permitiendo la interrelación entre un móvil de un fabricante y la parte fija de otro. También, igual que con el GSM, esta interfaz es independiente del país.

De forma correspondiente, los servicios suplementarios de red (información de la facturación, identificación de la línea llamante, etc.) son transparentes al usuario móvil GSM/CTM. En particular, el terminal de la interfaz hombre-máquina utiliza los mismos procedimientos para evitar confundir al usuario.

En contraste, los usuarios deben ser informados claramente acerca de si están conectados a la red GSM o a la parte fija, de tal manera que sepan lo que cuestan las llamadas y cómo son éstas enrutadas. Existen tres modos de operación de los terminales:

- **Modo manual:** El usuario puede elegir entre CTS o GSM.

- **Modo Automático:** El CTS se utiliza dentro del área de cobertura de la parte fija, y el GSM fuera de ella.
- **Modo paralelo:** El usuario supervisa los sistemas GSM y CTS simultáneamente.

El modo paralelo tiene la ventaja de que el usuario recibe la misma calidad de servicio, con independencia del nivel funcional de la red fija. Hay que considerar, por ejemplo, la situación en la cual la parte fija está conectada a una red fija que no suministra el Servicio de Mensajes Cortos (SMS). En el modo paralelo, un móvil está sincronizado con la red GSM y el CTS-FP, lo que permite recibir mensajes cortos a través de la red GSM y llamadas entrantes a través de la red fija.

### La Interfaz Aire

La interfaz radio del GSM-CTS está diseñada para cumplir dos requisitos principales. El primero, el espectro de frecuencias asignado al CTS es potencialmente una sub-banda del espectro de frecuencias del operador GSM, por tanto es necesario minimizar cualquier interferencia del CTS con el PLMN. Además, el operador debe de tener algún tipo de control sobre esta interferencia. Las interferencias entre sistemas CTS deben estar también limitadas, particularmente porque es independiente del tipo de banda asignada al CTS, esto es así,

con independencia de que el espectro esté compartido con el PLMN o dedicado al CTS. Tres conceptos han sido propuestos para tratar este problema. Generalizando, la interfaz radio del CTS mantiene las siguientes características del GSM:

- Principio de transmitir/recibir sobre un par de frecuencias (Duplexación por División de Frecuencia, FDD).
- La misma subdivisión orientada al tiempo de los canales físicos en espacios de tiempo, tramas, multitramas, supertramas e hipertramas (Acceso Múltiple por División en el Tiempo, TDMA).
- Los mismos esquemas de modulación y codificación de canal.
- Los mismos tamaños y formatos de los paquetes, las únicas modificaciones propuestas son las de los canales lógicos y la forma en que éstos son multiplexados sobre los canales físicos.

### Concepto de canal frecuencia fijo

El primer objetivo es el de reemplazar el convencional canal de señalización GSM (Canal de Control de Multidifusión, BCCH) usado por los móviles GSM para registrarse con una celda GSM. Para facilitar el procedimiento cuando la señal se transmite continuamente a máxima potencia, no se cumplirían los anteriores requisitos y sería demasiado para un sistema en el cual la estación base puede tratar solamente un número limitado de móviles.

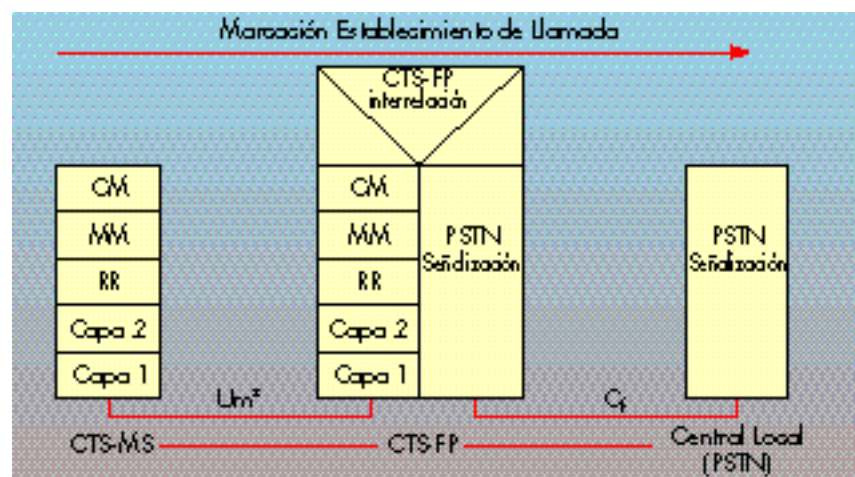


Figura 3 - Pila de protocolo CTS.

Por tanto, se ha propuesto un único canal de frecuencia fero transmitiendo discontinuamente, pero regularmente, un mínimo de información lógica (una trama cada 26 tramas). De esta manera, los móviles que quieran registrarse pueden determinar la identidad de la estación base y su estado (accesible o no accesible), mientras que los móviles que ya se hayan registrado pueden detectar los mensajes enviados por la estación base.

El canal lógico es el único que es transmitido continuamente por la estación base y, de esta forma, se limita cualquier interferencia.

### **Algoritmo de asignación de la frecuencia adaptiva**

De todas las frecuencias asignadas localmente al CTS deben elegirse aquellas menos expuestas a las interferencias. El algoritmo de Asignación de la Frecuencia Adaptiva (AFA) es una solución parcial. Trabaja sobre el principio de que la estación base y los móviles que tiene registrados miden regularmente el entorno radio del CTS (enlace superior y enlace inferior). Estas medidas son promediadas por un mecanismo de filtro de larga duración y el algoritmo obtiene una lista de frecuencias clasificadas por niveles de interferencias. La estación base utiliza la frecuencia menos cargada para el canal de frecuencia fero; algunas o todas las frecuencias restantes se utilizan para otras operaciones por medio de la utilización de un mecanismo de salto de frecuencia.

### **Algoritmo de salto de frecuencia total**

Para hacer al sistema CTS más inmune a las potenciales fuentes de interferencias, tales como la proximidad a los CTS-FP, se utiliza un mecanismo de salto de frecuencias para la comunicación en todos los canales físicos, excepto en el canal de frecuencia fero. Alcatel, en colaboración con la Universidad de Dresden, ha desarrollado un nuevo algoritmo de salto de frecuencia que minimiza las colisiones entre las secuencias saltadas pa-

ra minimizar las interferencias entre los sistemas CTS.

El canal de frecuencia fero, la asignación adaptiva de frecuencias y el salto de la frecuencia total son los tres nuevos conceptos en la interfaz aire del CTS.

### **Modos de la interfaz radio**

Existen dos modos de la interfaz radio:

- *Modo reposo:* El estado de una parte fija que está iniciada (tiene todos los parámetros necesarios para funcionar sobre la interfaz radio del CTS) o de un móvil que está registrado (registrado sobre una estación base).
- *Modo dedicado:* Corresponde al tráfico de llamadas entre un terminal y la parte fija.

### **Estructuras de las multitramas**

El tráfico GSM de multitramas, que consta de 26 tramas, se utiliza para la comunicación en modo dedicado.

El modo no conectado (reposo) utiliza una multitrama de 52 tramas sincronizadas por medio de la transmisión regular del canal de frecuencia fero cada 26 tramas. Por lo tanto, la estación base puede establecer un canal de tráfico en paralelo con el canal de frecuencia fero durante las tramas no utilizadas del modo conectado.

Además del canal de frecuencia fero, la multitrama de 52 tramas incluye dos grupos de canales lógicos que se transmiten solamente bajo petición:

- Grupo de canales lógicos que soportan el registro de nuevos móviles con la estación base.
- Grupo de canales de control lógico utilizados por los procedimientos del modo reposo, en particular, el procedimiento de establecimiento de una llamada en un canal y el procedimiento de modificación del registro de un terminal móvil.

La **Figura 4** ilustra la interfaz de radio del sistema CTS.

Solamente el canal de frecuencia fero es transmitido continuamente por la estación base, y es utilizado por

los procedimientos de registro y diferentes procedimientos del modo reposo. Los móviles registrados se reactivan automáticamente a intervalos regulares para supervisar el canal de frecuencia fero, de tal manera que puedan detectar una nueva llamada o un nuevo mensaje corto. Por tanto, en los modos no-conectado la interfaz radio tiene poco tráfico y casi no genera interferencias.

## **■ Seguridad**

El sistema CTS ofrece dos niveles de seguridad. El primero, o de nivel de red, es suministrado por el operador, mientras que el segundo, o de nivel local, protege la estación base contra accesos de terminales no autorizados.

### **Seguridad de la red**

El operador tiene que supervisar totalmente el sistema CTS, que consta de un terminal móvil con su tarjeta SIM y la estación base y su tarjeta FP SIM. Ya que la suscripción está relacionada con la tarjeta SIM de la FP, la seguridad se basa en los datos del abonado que están impresos en esta tarjeta. Además, el operador puede verificar la tarjeta SIM del móvil consultando al PLMN.

La seguridad está basada en la supervisión por parte del operador de:

- los parámetros de radio.
- las suscripciones.
- el equipo.
- la información transmitida entre los diferentes elementos de red.

### **Seguridad de los parámetros de la radio**

Los parámetros radio, que son proporcionados regularmente por la red, dependen de la situación del CTS-FP y del plan de frecuencias del operador. Aplicando las frecuencias y los otros parámetros (potencia, transmisión discontinua, etc.) desde la red al sistema, se hace posible reducir las interferencias con la red y sus equipos GSM. Con anterioridad a la asignación

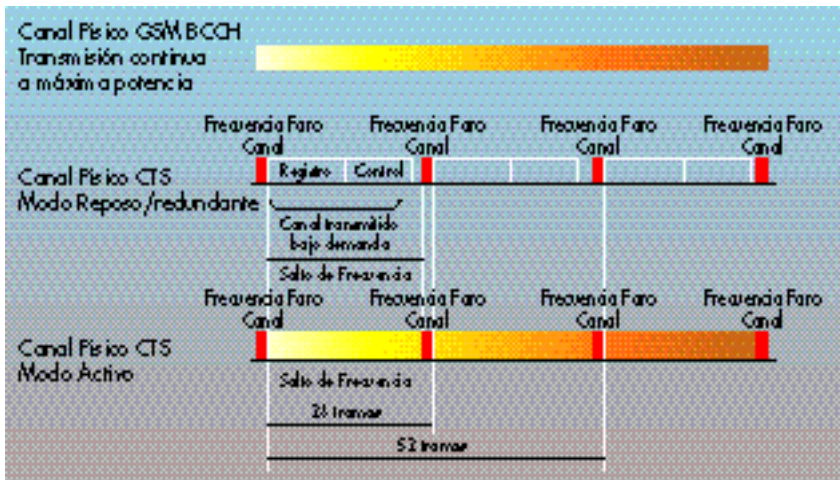


Figura 4 - Comparación de la estructura de las tramas del GSM con la del GSM-CTS.

de estos parámetros, debe realizarse mutuamente una verificación completa de todos ellos, tanto de la estación base como de la red. La red verifica la identidad de los abonados (tarjeta SIM de la FP). Existe una verificación de la autenticidad equivalente en el GSM utilizando parámetros (código secreto y el algoritmo A3) y entidades de red equivalentes (Centro de Verificación de la Autenticidad, AuC). Además la FP identifica claramente el origen de la información radio.

La operación del CTS podría tener problemas si no se aplicaran estos parámetros. Solamente, un procedimiento de homologación del producto para las diferentes unidades (CTS-MS y CTS-FP) podría garantizar que puedan gestionarse los parámetros correctamente. La homologación del producto también puede garantizar que las CTS-FP y los CTS-MS de diferentes fabricantes se interrelacionen correctamente.

### Verificación del abono

Para evitar que usuarios no autorizados puedan acceder al CTS, el operador regularmente envía información de los usuarios, indicando la validez de la suscripción. El operador debe indicar cada cuánto tiempo esta información tiene que ser actualizada.

Antes de que la red actualice la información relativa a la suscripción se lleva a cabo una verificación mutua de la autenticidad.

### Verificación del equipo

El equipo móvil y las partes fijas están identificadas por sus correspondientes identidades: Identidad de Equipo Móvil Internacional (IMEI) e Identidad de la Parte Fija Internacional (IFPEI), respectivamente. La transmisión de estos parámetros a la red GSM identifica y, posiblemente, puede localizar equipos no apropiados o robados.

### Protección de la información

Los datos y la señalización intercambiados entre la parte fija y la red a través de la línea fija están encriptados con un código conocido por las dos entidades. De esta forma la FP puede identificar el origen del mensaje.

### Seguridad local

La seguridad interna del sistema CTS se ha desarrollado para:

- Evitar que personas indeseables se conecten a la parte fija. Este requisito es especialmente importante cuando la facturación está basada en el número de directorio de la línea fija del usuario.
- La verificación de la autenticidad de un usuario que quiere conectarse a la parte fija.
- Asegurar la confidencialidad de las llamadas en la interfaz entre las partes fija y móvil.

### Protección del acceso a la parte fija

Los usuarios que deseen acceder a la parte fija deben presentar primeramente un código secreto, o CTS-PIN, específico para cada parte fija.

### Verificación local de la autenticidad

Un usuario, declarado previamente para una parte fija, se registra con esa FP para acceder a los servicios CTM. Un proceso mutuo de verificación de la autenticidad limita el acceso no autorizado y asegura la legitimidad de la parte fija. Durante este proceso, el usuario verifica la autenticidad de la parte fija y, a su vez, se verifica la autenticidad del usuario por esa parte fija.

La verificación de la autenticidad está basada en un algoritmo A3\*, definido por el ETSI específicamente para el sistema CTS, y una llave de autenticidad asignada por el operador durante el proceso de personalización de la tarjeta SIM de la FP.

### Confidencialidad de la comunicación en la interfaz entre la parte fija/móvil

El enlace entre la parte fija y la móvil está protegido por un algoritmo A8 de codificación de la información (también definido por el ETSI específicamente para el CTS) que permite generar la llave Kc\* y el algoritmo A5/2.

### ■ La Estación Base CTS-FP

La parte fija CTS integra las tecnologías fija y móvil en la interfaz entre ambas. La **Figura 5** ilustra la arquitectura de la parte fija.

### La etapa radio

La etapa radio, que utiliza tecnología de Alcatel de conversión directa, está basada en los terminales GSM existentes y, de esa manera, se beneficia del bajo coste asociado al volumen de fabricación de esos productos. Esta tecnología de banda dual puede ope-

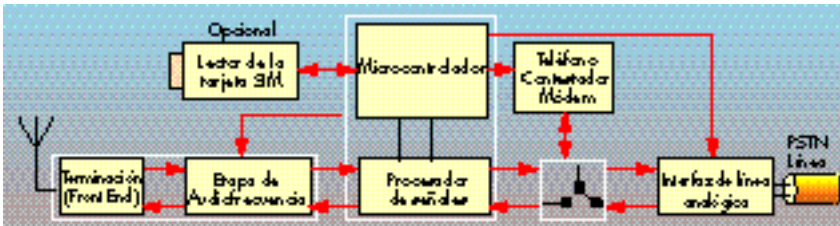


Figura 5 - Arquitectura de la parte fija del PSTN CTS.

rar en la banda GSM (900MHz) y en la banda DCS (1800 MHz). Solamente la etapa de transmisión es diferente por su menor potencia de transmisión (máximo de 13 dBm). Las especificaciones del rendimiento de recepción de la parte fija del CTS se derivan directamente de la de los terminales GSM. En consecuencia, la etapa radio CTS utiliza la misma estructura básica.

### La etapa digital

Un único circuito integra el procesador de señalización y el micro-controlador. El procesador de señalización trata todos los procesos incluyendo el de modulación/demodulación, el de codificación/decodificación y los distintos codecs GSM. Además, tiene que procesar las señales utilizadas por la tecnología de cable, proporcionando la cancelación de eco, un servicio de contestador telefónico, etc.

El micro-controlador trata el protocolo CTS, gestiona las llamadas en la parte fija y realiza las funciones CTS-FP (operación y mantenimiento, intercom, etc.)

### La tarjeta SIM de la parte fija

La tarjeta SIM de la FP, que contiene los datos de suscripción del CTS, es una característica de la estación base. En un entorno de multi-terminales, se requiere una única suscripción al

CTS. Trata los requisitos de seguridad del sistema y del operador (verificación de la autenticidad, actualización de la información transmitida por la red). Además, esto incrementa las posibilidades del servicio.

### La interfaz de línea

Derivada directamente de la tecnología de la red fija, la interfaz de línea puede ser del tipo analógico PSTN o del tipo digital RDSI. La interfaz de línea transmite el tráfico (voz, datos) y también gestiona la comunicación con el nodo de servicio CTS, a través de un módem de datos. La función básica del módem es la de registrar y desregistrar los móviles conectados a la estación base.

## ■ El Terminal CTS

Como ya se ha mencionado, la principal ventaja del sistema CTS es la de ser la única solución de convergencia entre las partes fija/móvil que puede implantarse simplemente con la modificación del software de los terminales GSM. Por tanto, las funciones CTS no tienen coste adicional y podrían implantarse dentro de los terminales. Esto haría extremadamente sencillo el proporcionar rápidamente un rango completo de terminales CTS apropiados para cumplir con las necesidades de cada usuario.

## ■ Conclusiones

El uso extendido de los terminales GSM en los mercados de consumo significa que es el terminal personal por excelencia en cualquier situación: en el trabajo, en casa, cuando se viaja, etc. El CTS estándar, un subconjunto del estándar GSM, proporciona un único terminal para el uso doméstico y empresarial, con la convergencia de los servicios asociados. Por encima y más allá de dicha convergencia, aparecerán nuevos servicios basados en el potencial ofrecido por este tipo de producto.

**Philippe Desblancs** entró en el Grupo Alcatel el año pasado y trabaja como ingeniero de desarrollo en la Mobile Phones Bussines Unit, en Colombes, Francia.

**Christian Massy** entró en el Grupo Alcatel en 1989 y actualmente es el responsable de la arquitectura de los sistemas en la Mobile Phones Bussines Unit, en Colombes, Francia.

Samira Messiet se unió a Alcatel Radiotéléphone en 1992 y trabaja actualmente en la arquitectura de sistemas en la Mobile Phones Bussines Unit, en Colombes, Francia.

**Jean François Rubon** forma parte del Grupo Alcatel desde 1991 y es el responsable de desarrollo software en la Mobile Phones Bussines Unit en Colombes, Francia.



# DEMOSTRADOR RADIO UMTS

B. HABERLAND

**UMTS es un sistema de comunicaciones móviles de tercera generación capaz de proveer servicios de voz y multimedia en banda ancha.**

## ■ Introducción

Alcatel ha desarrollado un Demostrador Radio de UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) para ayudar a la resolución de las complejidades de este sistema móvil de comunicación de tercera generación. Alcatel irá adaptando este desarrollo conforme a la evolución del trabajo de regularización del UMTS en el Instituto Europeo de Normalización de las Telecomunicaciones (ETSI) y teniendo en cuenta las reacciones de los operadores más significativos.

## ■ Qué es el UMTS

El objetivo principal del UMTS, igual que el del resto de los miembros de familia IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000), es ofrecer servicios móviles multimedia reales al mercado masivo. Es el paso siguiente en la evolución del Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM).

El Acceso Radio Terrestre del UMTS (UTRA) es actualmente la parte visible del proceso de normalización del UMTS. Aunque la infraestructura radio será claramente una clave para el éxito del UMTS, hay otros aspectos igualmente importantes que deben ser considerados en los temas de convergencia y servicios del UMTS.

Hay tres aspectos esenciales que caracterizan el UMTS (ver **Figura 1**):

- Una nueva tecnología de acceso radio que ofrezca tasas pico de información

a usuario bastante superior a las disponibles con GSM y otros sistemas de segunda generación.

- La convergencia de redes fijas y móviles, públicas y privadas, y la convergencia correspondiente de telecomunicaciones y comunicaciones de datos eliminarán la distinción entre estos tipos de redes y servicios, promoviendo así la emergencia de nuevos proveedores de servicio.
- Una arquitectura de servicio flexible que permita a los operadores aprovechar las capacidades del servicio ofrecidas por las normativas del UMTS para desarrollar servicios innovadores dirigidos a usuarios finales. Un componente importante de éste será el VHE (Entorno de Hogar Virtual).

muchos parámetros importantes no se han definido todavía. En particular, éste es el caso del diseño de la capa física que se está diseñando de acuerdo a las decisiones básicas tomadas en la reunión Número 24 del grupo ETSI SMG, de enero de 1998. En aquel momento se acordó que la base técnica para el acceso radio terrestre del UMTS sería una combinación de tecnologías de Acceso Múltiple en Banda Ensanchada por División de Código (W-CDMA) y Acceso Múltiple por División de Código y División de Tiempo (TD-CDMA), para ser usadas en modos de operación División Dúplex de Frecuencia (FDD) y División Dúplex de Tiempo (TDD), respectivamente. Desde entonces, el grupo SMG2 ha encabezado el trabajo de afinamiento de requisitos, incluyendo terminales de bajo coste, armonización con GSM, operación en modo dual FDD/TDD y soporte de operación en 5 MHz, tanto en el enlace ascendente como en el descendente. Esto con-

## Acceso radio UMTS

Las normas para acceso radio UMTS están todavía en desarrollo en el ETSI y



Figura 1 - Principales componentes de UMTS.

cluirá en una revisión sustancial del concepto del modo UTRA/TDD. También son probables algunos cambios y refinamientos en el modo UTRA/FDD.

El resultado será una norma única capaz de soportar ambos modos de operación, con un ancho de banda común y barata. Con dicha norma armonizada, resultará eficiente en coste el desarrollo de terminales capaces de soportar el triple modo GSM y UTRA/FDD + UTRA/TDD, y capaces de operar a través del mundo GSM y ofrecer capacidades inherentes de Sistemas Inalámbricos UMTS-CTS, que son esenciales para la convergencia fijo-móvil.

La **Tabla 1** muestra la posible distribución, en términos de cobertura, servicios, capacidad y utilidad clave deseada, de una solución de acceso radio que incluye GSM, UTRA/FDD y UTRA/TDD.

Una arquitectura de red radio de este tipo, con mezcla de celdas, está representada en la **Figura 2**.

### ■ Demostrador Radio UMTS de UTRA FDD

#### Condiciones de partida

El proceso de normalización de ETSI ha fijado solamente algunos paráme-

tros básicos del UTRA FDD, basada en la elección de W-CDMA. Por eso, y como primer paso, el Demostrador Radio UMTS se usará para verificar el interfaz aire de un sistema W-CDMA. Gracias al uso de componentes con suficiente capacidad de almacenamiento y proceso, y a su flexible diseño, este Demostrador Radio UMTS puede ser ampliado de acuerdo a los avances del proceso de normalización en curso.

#### Objetivos

El Demostrador Radio UMTS nos mostrará cómo manejar las complejida-

des del UTRA en modo FDD. Mediante el uso de técnicas avanzadas, tales como receptor RAKE/buscador de camino, sistemas de antenas directivas y detección multiusuario, se incrementa la capacidad del sistema sobrepasando los 50 canales de voz por transportadora, decreciendo la interferencia multiusuario.

El Demostrador Radio UMTS dará respuestas en relación al diseño óptimo del sistema, volumen, consumo de potencia y condiciones ambientales. Y mediante pruebas de campo, se obtendrá experiencia en la planificación de red radio.

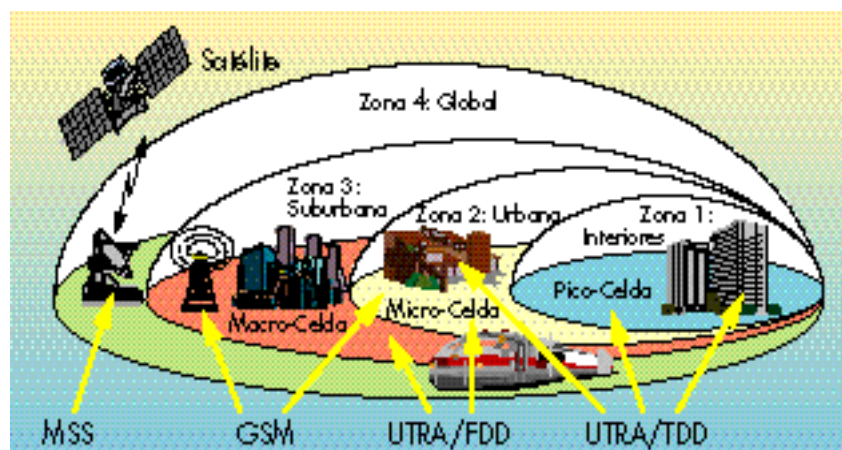


Figura 2 - Arquitectura de Red UMTS.

Método de Acceso	GSM	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Cobertura	Red global/ internacional	Suburbano/urbano	Urbano/ interiores
Servicios: Circuitos Paquetes	Conversación, 64 Kbit/s simétrico 110 Kbit/s simétrico	Conversación, vídeo, 384 Kbit/s simétrico 384 Kbit/s simétrico	Conversación, vídeo, 384 Kbit/s simétrico 2 Mbit/s asimétrico
Capacidad	Moderada	Alta	Muy alta
Uso principal	Cobertura de red global	Capacidad para servicios por conmutación de circuitos. Cobertura total de ciudad para servicios de paquetes  Itinerancia inter-regional	Capacidad para servicios de paquetes Cobertura en interiores y capacidad para todos los servicios Aplicaciones privadas usando UMTS CTS
Tipos de celda	Macro Microceldas	Macro Microceldas	Microceldas Picoceldas CTS

Tabla 1 - Desglose de los modos de acceso radio en términos de cobertura, servicios, capacidad y uso principal deseado.

El Demostrador Radio UMTS permite al usuario probar aplicaciones tales como acceso a Internet a alta velocidad, vídeo en móviles y otros servicios innovadores.

El desarrollo global se divide en tres configuraciones diferentes:

- Configuración 1: Comportamiento físico de un enlace ascendente y descendente con validación de los algoritmos recibidos.
- Configuración 2: Demostración de la red radio con control de potencia y traspaso imperceptible de canal.
- Configuración 3: Comportamiento frente a crecimiento de capacidad.

La capacidad de la celda está limitada por la interferencia del canal ascendente y el amplificador de potencia del transmisor. La fuerza de la interferencia depende de:

- El número de abonados activos en la propia celda y en las vecinas.
- La distribución de abonados activos en la propia celda y en las vecinas.
- El número de sectores.
- La tasa media de información de los servicios activos.
- La calidad seleccionada para los servicios activos.

- El control automático de potencia de la estación móvil y de la estación base.
- Los algoritmos de traspaso de canal suave y muy suave.
- El algoritmo de Transmisión Discontinua (DTX).
- El tipo de servicio: conmutación de circuitos o paquetes.

Se puede usar el Demostrador para investigar la dependencia entre capacidad de celda e interferencias.

### ■ Especificaciones Técnicas

#### Características importantes del sistema

El Demostrador Radio UMTS está alineado con las normativas del ETSI. Cada paso de normalización dado se ha incorporado automáticamente en su proceso de desarrollo. Aquellos parámetros todavía no definidos en documentos ETSI, se han estimado basándose en la experiencia existente o en simulaciones. La **Tabla 2** resume las características más importantes del sistema.

Las tres configuraciones solo se diferencian en dos parámetros. En las

Configuraciones 1 y 2, se usa el Demostrador Radio UMTS en la banda GSM 1800, mientras que en la Configuración 3, sólo se puede usar en la banda de frecuencias de UMTS combinándolo con una potencia máxima de salida de la Estación Transceptora Base (BTS) de +48dBm (en lugar de los +46dBm del GSM 1800). Para probar el interfaz aire, se simula la interferencia de canal mediante ruido blanco.

La **Tabla 3** muestra la estructura lógica de canal, de acuerdo al UIT-RM.1035, que se ha usado para el Demostrador Radio UMTS.

#### Fases de desarrollo

##### Configuración 1

En la Configuración 1, el Demostrador Radio UMTS está formado por una estación base y una estación móvil, ambas equipadas con un transceptor. Junto con un simulador multi-camino (que incluye un generador de ruido blanco), se puede simular completamente el bucle cerrado de una transmisión ascendente y descendente, incluyendo propagación multi-camino e interferencia. Esto permite la evaluación de los algoritmos de modulación/demodulación en fase y en cuadratura, de expan-

	Configuraciones 1 y 2	Configuración 3
Esquema de Acceso Múltiple	UTRA FDD	
Banda de Frecuencias	Ascendente: 1.710 - 1.785 MHz Descendente: 1.805 - 1.880 MHz	Banda UMTS
Ancho de Banda	5 MHz	
Tasa de circuito	4.096 Mbit/s	
Longitud de Trama	10 ms.	
Sincronización entre EB	Asíncrono	
Sincronización de EM	Algoritmo síncrono	
Canal – Interferencia – Propagación	Ruido blanco Simulación ETSI de camino múltiple	
Potencia de FR – EB – EM	30 dBm/canal de tráfico, máximo 46 dBm (48 dBm para UMTS) 24 dBm/canal de tráfico	

Tabla 2 - Características básicas del sistema.

		Configuración 1	Configuraciones 2 y 3
Canal Común de Control			
(BCCH)	Canal de Difusión (descendente)	x	x
(FACH)	Canal de Acceso Adelante (descendente)	x	x
(PCH)	Canal de Rastreo (descendente)	x	x
(RACH)	Canal Aleatorio de Acceso (ascendente)	una ranura de código fijo	x
Canales Dedicados			
(DCCH)	Canal Dedicado de Control (descendente, ascendente)	x	x
(DTCH)	Canal Dedicado de Tráfico (descendente, ascendente)	x	x

Tabla 3 - Estructura de canales lógicos, provista en el Demostrador Radio UMTS (x= disponible).

sión/concentración de la señal, de codificación/descodificación pseudo-aleatoria, de búsqueda de camino, y el de detección restringida de canal por acceso aleatorio (RACH, Random Access Channel) y receptor RAKE

La **Figura 3** muestra la arquitectura del Demostrador en la Configuración 1 que podrá facilitar resultados sobre:

- Relación entre señal del canal de tráfico y ruido;
- Tasa de errores de bits del canal de señalización de tráfico;
- Confirmación de la capacidad estimada de canales de tráfico;
- Conformidad con los perfiles multi-camino de ETSI;
- Trazas de las Capas 2/3.

### Configuración 2

La Configuración 2 permite investigar el comportamiento físico de dos canales ascendentes y descendentes completos para voz y datos, incluyendo propagación multi-camino e interferencia. En esta configuración, el Demostrador está formado por dos estaciones móviles, dos estaciones base y un emulador de red, según se muestra en la **Figura 4**. La **Tabla 4** resume las principales características técnicas específicas de la Configuración 2.

En la Configuración 2, se puede usar el Demostrador Radio UMTS para:

- Verificar los resultados de la Configuración 1: interfuncionamiento, tras-

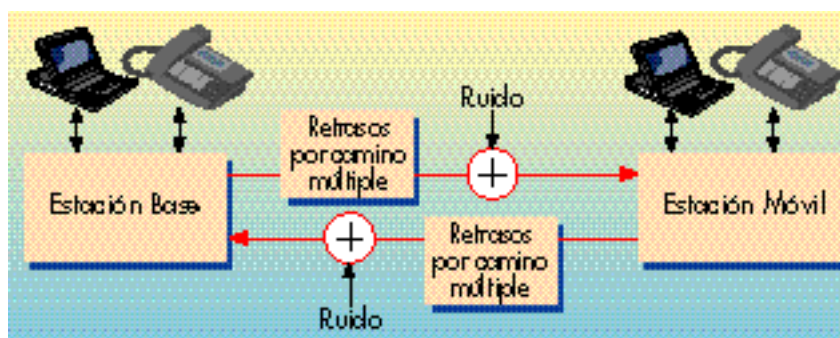


Figura 3 - Arquitectura del Demostrador Radio UMTS para la Configuración 1.

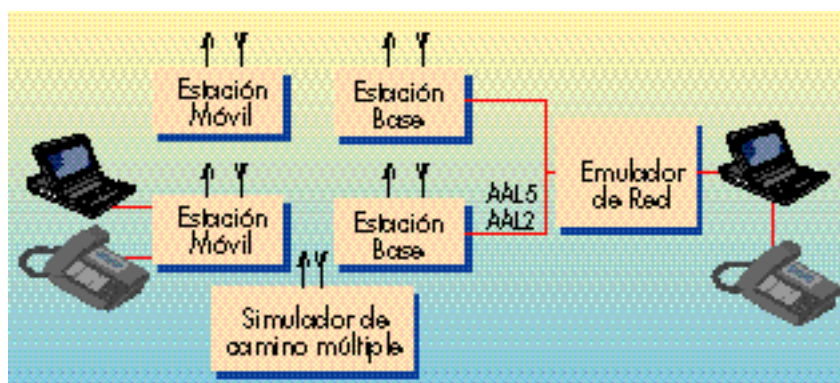


Figura 4 - Arquitectura del Demostrador Radio UMTS para la Configuración 2.

paso suave de canal y control de potencia.

- Montar una experiencia real.
- Derivar reglas de dimensionado para planificación de red radio.

### Configuración 3

En la Configuración 3, el Demostrador provee transmisión de datos a 384 Kbit/s por conmutación de paquetes.

Se optimiza su capacidad mediante el uso, en el emulador de red, de DTX, antenas sectoriales, antenas adaptativas, detección multiusuario, algoritmos de control de portadoras radio y de control de portadoras ATM (Modo de Transferencia Asíncrona).

Esta configuración permitirá evaluar el comportamiento del sistema para datos por conmutación de pa-



Estación Móvil	1 canal lento de señalización: (600 bit/s) 1 canal de datos: 384 Kbit/s (paralelo al de voz)
Estación Base Emulador de Red	Todas las funciones necesarias para atender a dos móviles Simulador de controlador de Red Radio con funcionalidad reducida
	Simulador de núcleo de Red con funcionalidad reducida Terminación de red para canales de voz/datos
Canales Ascendente/Descendente	Capas 1, 2 y 3 completas Todos los escenarios de capa 3 para originado/terminado en móvil Establecimiento/liberación de llamada; traspaso suave de canal
Control rápido de potencia	Estación Base y Estación Móvil
Traspaso suave	Combinación de suave (en canal descendente) y selectivo (en ascendente)
Diversidad de Antena	Disponible en ascendente
Velocidad	Hasta 500 km./h
Interfaz BTS/emulador de red	Protocolo ATM sobre enlaces 2 Mbit/s (AAL 2/5)

Tabla 4 - Características técnicas de la Configuración 2.

quetes y el incremento de capacidad requerido, para determinar los límites en capacidad de un sistema UTRA en modo FDD.

### Estación base

En la Configuración 1, la estación base está constituida por un armazón que contiene:

- Módulos transmisores y receptores para procesamiento analógico de las señales transmitidas y recibidas, respectivamente.
- Placa de procesamiento de voz para descodificar el canal de voz, el codificador de conversación y la interconexión con el portátil.
- Varios módulos de procesamiento de señal que proveen las funcionalidades de generador de transmisión, detector RACH, receptor RAKE y un buscador de caminos para la señal de usuario.
- Módulo de control que maneja todos los protocolos de señalización y da acceso a todos los datos básicos que deben medirse.
- Módulo de suministro de potencia.

En la Configuración 2, se añaden módulos adicionales de procesamiento

de señal para descodificar los canales de datos de 384 Kbit/s, así como un interfaz de línea ATM con cuatro interfaces E1.

La placa de procesamiento de voz no se usa en las Configuraciones 2 y 3, ya que la estación base se conecta al emulador de red.

Para la Configuración 3, la estación base se equipa como una configuración sectorial con 3x1 transportadoras. Se añade una placa transmisora de módulo lineal para suavizar las características del amplificador a potencias altas de salida. Se dedicarán dos sub-armazones a procesamiento analógico de las tres cadenas receptoras/transmisoras. Está prevista la formación de haces tanto ascendentes como descendentes mediante el uso de antenas inteligentes y/o antenas matriciales de fase. Se equipa un tercer sub-armazón solo con placas de procesamiento digital de la señal.

La **Figura 5** muestra la arquitectura general de un sector de la estación base.

### Estación móvil

Cuando se planteó el desarrollo de una estación móvil de prueba, el

principal objetivo fue reutilizar el equipo disponible de estación base, siempre que fuera posible. Como resultado, usa los mismos módulos transmisores y receptores, placa de procesamiento de voz y módulo de control.

Varios módulos de procesamiento de señal realizan las funciones de generador de transmisión, procesador de adquisición, receptor RAKE y buscador de caminos para la señal de usuario. Para la Configuración 2, se añade un descodificador de canal para datos a 384 Kbit/s, así como un terminal de datos.

### Emulador de red

Para las Configuraciones 2 y 3 se usa un emulador de red, basado en el mismo hardware que las estaciones base y móvil.

El emulador de red, además de un módulo de control que maneja todos los protocolos de señalización, tiene un interfaz de línea con cuatro interfaces E1, una aplicación lógica similar a la de la estación base, dos placas de codificadores de voz (SPIRIT 6K) con un interfaz audio cada una, un módulo de procesamiento de señal y dos terminales de datos.

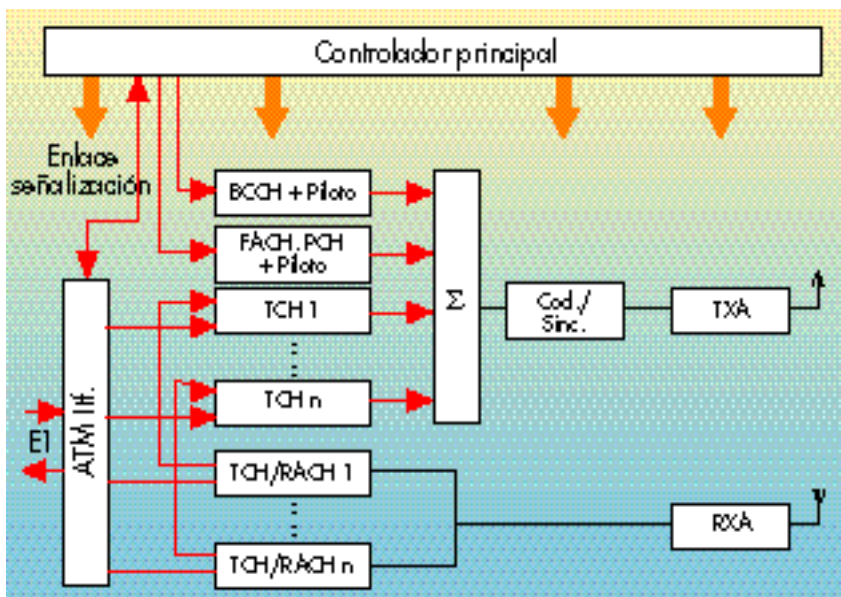


Figura 5 - Diagrama de bloques funcionales de un sector.

### ■ Conclusiones

El modo de operación FDD (W-CDMA) del UTRA, es un nuevo reto en las tecnologías para acceso radio en comparación con el GSM. Se requiere un interfaz ATM para asegurar servicios con tasas variables de información de una forma eficiente. El Demostrador Radio UMTS es un primer

desarrollo orientado a resolver todos los factores técnicos involucrados en la definición de la arquitectura (incluyendo su capacidad) de un producto BTS, antes de comenzar el desarrollo del producto. Estos factores son:

- Definición e implantación de un algoritmo receptor (incremento en pro-

cesamiento de señal por un factor de 100 en comparación con GSM).

- Algoritmos de control de potencia y traspaso imperceptible de canal.
- Antenas adaptativas.
- Amplificador lineal de potencia.
- Realización de canales de datos en banda ensanchada (384 Kbit/s).
- Realización de servicios de paquetes en el interfaz aire.
- Interfaz ATM para el controlador de red radio.

Para resolver todos estos desafíos técnicos, es esencial el uso de los componentes más rápidos de procesamiento de señal digital disponibles en el mercado. Además, se puede usar el Demostrador Radio UMTS para investigar algoritmos de traspaso suave de canal y algoritmos de gestión de recursos de control de portadoras radio y ATM para el controlador de red radio.

**Bernd Haberland** es responsable del proyecto para el Demostrador Radio UMTS en el Centro de Diseño de BTS de la División de Alcatel de Comunicaciones Móviles, en Stuttgart, Alemania.

# RADIACIÓN DE RADIO FRECUENCIA DE LOS TELÉFONOS MÓVILES

C. GRANGEAT

Las nuevas herramientas para caracterizar y simular la radiación de frecuencias de radio de los teléfonos móviles están siendo utilizadas, con éxito, para racionalizar los productos desde su más temprana etapa de diseño.

## ■ Introducción

Cada vez con más frecuencia, surge en los medios de comunicación la cuestión sobre los riesgos potenciales de los teléfonos móviles. La principal sospecha se centra en las ondas de radio que conectan el terminal móvil con las estaciones base de la red celular.

Cuando, al principio de los años 90, comenzó el desarrollo de los terminales GSM, Alcatel impulsó programas de investigación para analizar las interacciones físicas entre el teléfono móvil y el usuario, a fin de poder certificar el cumplimiento de las normas internacionales.

Los estándares sobre protección forman el marco general de tales investigaciones y establecen los umbrales de exposición a los campos electromagnéticos del público y de los trabajadores. Dichos estándares han sido definidos por expertos científicos y médicos independientes. Los estándares de aplicación, en particular, conciernen a los protocolos a seguir para verificar que ciertas categorías de productos cumplan con los estándares de protección. Estos estándares han sido definidos por las organizaciones de estandarización y están basados en las investigaciones realizadas por laboratorios que trabajan en electromagnetismo.

La primera parte de este artículo trata sobre los principios básicos de los estándares actuales. En la segunda parte, se describen las técnicas que Alcatel usa durante el desarrollo del producto para racionalizar la radiación procedente de los teléfonos móviles.

## ■ Estandarización

### *Estándares sobre protección*

En el dominio de las frecuencias de radio, la estructura general de los estándares de protección gozan de un amplio soporte internacional.

### **Principios**

La Comisión Internacional sobre Protección de la Radiación No-Ionizante (ICNIRP) está reconocida formalmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para definir las pautas a seguir sobre la exposición a la radiación electromagnética en relación con la salud. Esta comisión ha actualizado recientemente las normas generales sobre los umbrales de exposición a los campos electromagnéticos para frecuencias desde 0 a 300 GHz [1]. En este documento se definen las restricciones básicas de los niveles de exposición a los campos electromagnéticos de la población y, a partir de ellos, se derivan los niveles de referencia para su aplicación de forma sencilla.

Los estándares consideran dos tipos de personas: trabajadores y público en general. Los trabajadores son considerados por el ICNIRP como adultos expuestos bajo condiciones generales y que son entrenados a tomar las precauciones apropiadas frente al riesgo potencial que ello supone [1]. El público en general significa todas las demás personas de la población. El estado de salud puede variar significativamente de una persona a

otra y, por consiguiente, se aplica un margen de seguridad adicional. El límite de exposición para el público es, generalmente, cinco veces más bajo que el de los trabajadores.

### **Restricciones básicas**

En el dominio de la frecuencia de radio, la restricción básica es la Tasa de Absorción Específica (SAR) que representa la potencia absorbida por unidad de masa. Se expresa en vatios/kg. Si todo el cuerpo está expuesto a la radiación, se define el valor medio SAR como la razón entre la potencia total absorbida por la persona y la masa de su cuerpo. En particular, cuando sólo una parte del cuerpo está expuesta a la radiación, el SAR también se evalúa con relación a una masa de referencia (por ejemplo, 10 g). En este caso se puede tolerar localmente un mayor SAR, de tal manera que no exceda el valor SAR medio, y que el SAR local esté en el margen de 20 a 50 dependiendo del estándar y de la parte expuesta del cuerpo (**Tabla 1**).

### **Niveles de referencia**

La evaluación del SAR generalmente requiere de técnicas sofisticadas de medida y de un modelo del cuerpo humano. Los estándares de protección, por consiguiente, han deducido los niveles de referencia para medidas directas de los campos eléctricos y magnéticos y de la densidad de la potencia electromagnética ambiental. Estas medidas se realizan en el lugar donde una persona puede estar

	ICNIRP "Física de la Salud", abril 98	CENELEC ENV 50166-2:1995	IEEE C95.1-1991
Región de aplicación	Internacional	Europa	EE.UU.
Margen de frecuencia	100 kHz - 10 GHz	10 kHz - 300 GHz	100 kHz - 6 GHz
SAR media (todo el cuerpo)	0,08 W.kg <sup>-1</sup>	0,08 W.kg <sup>-1</sup>	0,08 W.kg <sup>-1</sup>
SAR local	2 W.kg <sup>-1</sup>	2 W.kg <sup>-1</sup>	1,6 W.kg <sup>-1</sup>
Masa media	10 g (tejido contiguo)	10 g (cubo)	1 g (cubo)
SAR local (miembros)	4 W.kg <sup>-1</sup>	4 W.kg <sup>-1</sup>	4 W.kg <sup>-1</sup>
Masa media	10 g (tejido contiguo)	10 g (cubo)	10 g (cubo)

Nota: SAR= Tasa de Absorción Específica = potencia absorbida por unidad de masa de tejido

**Tabla 1 - Restricciones básicas para la exposición del público general a la radiación electromagnética en el dominio de la frecuencia de radio, de acuerdo con las principales normas internacionales.**

Sistema	Frecuencias transmitidas (MHz)	Potencia máxima (W)	Potencia media (W)
GSM 900	880 - 915	2	0,250
GSM 1800	1.710 - 1.780	1	0,125
DECT	1.880 - 1.900	0,250	0,01
PCS	1.850 - 1.910	1	0,125

**Tabla 2 - Potencia máxima transmitida por los teléfonos móviles y valores medios conectados.**

expuesta a la radiación. Los niveles de referencia también tienen en cuenta los márgenes específicos adicionales que se incluyen a las restricciones básicas.

### Contexto internacional

El trabajo del ICNIRP complementa las recomendaciones de los otros organismos de referencia, tales como el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) en EE.UU. [2] y el Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica (CENELEC) [3]. En los Estados Unidos, las recomendaciones del IEEE para el SAR han sido adoptadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Todos los nuevos productos vendidos a partir de Agosto de 1996 están sujetos a esta regulación [4].

La **Tabla 1** resume los límites impuestos por los principales documentos de referencia. El valor medio del SAR es objeto de un amplio consenso internacional. El nivel SAR local definido por el IEEE es un poco más exigente, pero su

orden de magnitud es consistente con el definido en los estándares.

### Estándares de aplicación

Cuando se utiliza el teléfono móvil la cabeza de los usuarios se sitúa muy cercana al dispositivo emisor. Por consiguiente, se deben usar técnicas especiales para la medida del SAR.

### Potencia transmitida

El nivel de exposición de un usuario de teléfono móvil depende directamente de la potencia transmitida por el dispositivo. Con los sistemas de Acceso de Multiplexación por División en el Tiempo, como es el caso del GSM o del DECT, el terminal transmite la potencia máxima en forma de impulsos regulares cortos durante tiempos de unos pocos milisegundos. La potencia media es proporcional a la potencia máxima y a la razón entre el tiempo de transmisión y el periodo del ciclo. La **Tabla 2** proporciona los órdenes de magnitud para los princi-

pales sistemas actuales. El valor del SAR depende directamente de la potencia media.

### SAR medio

Los actuales teléfonos móviles transmiten una potencia media inferior a un watio. Aun considerando que la potencia total transmitida sea absorbida por el usuario, el SAR medio en todo el cuerpo permanece por debajo del umbral definido en los estándares de protección. Similarmente, en el caso de un terminal DECT el umbral del SAR local no se excede si toda su potencia transmitida fuese absorbida por una masa de tejido de 10 g. Sin embargo, este razonamiento no es aplicable a otros sistemas. Por consiguiente, para verificar que no se exceda el umbral del SAR local, se requiere un análisis más detallado de la potencia absorbida.

### SAR local

Los métodos de medida usuales se basan en someter a exposición a un mo-



delo artificial que represente al usuario expuesto a radiación de frecuencia de radio procedente de un teléfono móvil. El terminal se coloca en la posición de uso normal y, a continuación, se mide el campo eléctrico en el interior del modelo, usando una sonda miniatura isotrópica. A partir de estas medidas, finalmente, se calcula el máximo SAR de referencia.

### Documentos de especificación

La introducción de las técnicas para la medida del SAR local ha llevado, durante los últimos años, a una considerable actividad de investigación. La experiencia adquirida por las universidades, los operadores de comunicaciones móviles y los fabricantes de móviles, ha sido recogida por los comités de estandarización con vistas a definir una metodología que permita la certificación de los teléfonos móviles en relación a los estándares de protección.

En Europa, el subcomité 211 del grupo de trabajo Equipos de Telecomunicación Móviles del CENELEC maneja esta forma de trabajo. Esto ha llevado a la adopción de la Especificación Europea ES 59005 en mayo de 1998 [5]. Se han publicado otros documentos similares en Estados Unidos (Oficina de Ingeniería y Tecnología de la FCC [6] y en Japón (Asociación de las Industria de Radio y Negocios [7], y otros están en preparación dentro del IEEE y en la Comisión Electrotécnica Internacional.

### Programas de investigación

Con toda la experiencia adquirida en el desarrollo de sus propios métodos de verificación, y con el objetivo de ayudar a preparar futuros estándares, Alcatel está participando en varios programas de investigación como son el proyecto europeo CEPHOS (SMT) y el proyecto COMOBIO de la Red Nacional de Investigación en Telecomunicaciones (RNRT)

### ■ Medida del SAR Local

La estandarización de las medidas del SAR local se debe basar en un proto-

colo experimental que sea preciso y completo. A continuación, se describen los parámetros más importantes del procedimiento.

### Modelo del usuario

Los modelos que representan el cuerpo humano se denominan usualmente maniqués. Estos modelos consisten en una carcasa sólida que sea susceptible de ser atravesada por los campos electromagnéticos y están hechos de un material de plástico o de fibra de vidrio, por ejemplo (**Foto 1**).

La carcasa representa el lado derecho o izquierdo de la cara. El otro lado está abierto para que permita el acceso de la sonda de medida. El interior está lleno de un líquido que tiene unas propiedades dieléctricas equivalentes a las del cuerpo humano a las frecuencias en cuestión. La superficie interna de la carcasa determina la forma del maniquí. En la superficie exterior, las posiciones del oído y de la boca sirve como puntos de referencia para el posicionamiento del terminal.

Comúnmente se usan tres tipos de maniqués:

El *maniquí canónico* fue diseñado por Alcatel usando simples, pero representativas, formas geométricas

(**Foto 1** y **Figura 1**). Está formado por una esfera truncada por dos planos laterales que permiten incrementar la interacción con el terminal en la proximidad del oído [5,8]. El dispositivo está posicionado con una gran precisión. Debido a la simplicidad en su manejo, también se utiliza para comparar bancos de prueba experimentales.

El *maniquí genérico* fue desarrollado por el laboratorio BioEM/EMC en la Universidad de Zurich (**Foto 2**). Su forma es más compleja [5,9]. La superficie fue calculada a partir de las medidas topológicas de 52 adultos, con el fin de que representara la envoltura externa de todas las caras.

Los *maniqués realistas* están basados en las medidas del propio cuerpo humano. Se han deducido varios modelos de este tipo a partir de las imágenes médicas realizadas con Resonancia Magnética Nuclear [10,11]. Para describir los tejidos de una forma precisa, el interior de la cabeza se ha reconstruido mediante proceso de imágenes. Este tipo de maniquí se conoce como maniquí heterogéneo. Su desarrollo requiere de considerables recursos y existen pocos modelos disponibles en la actualidad. El maniquí de denomina maniquí homogéneo cuando el interior del modelo consis-

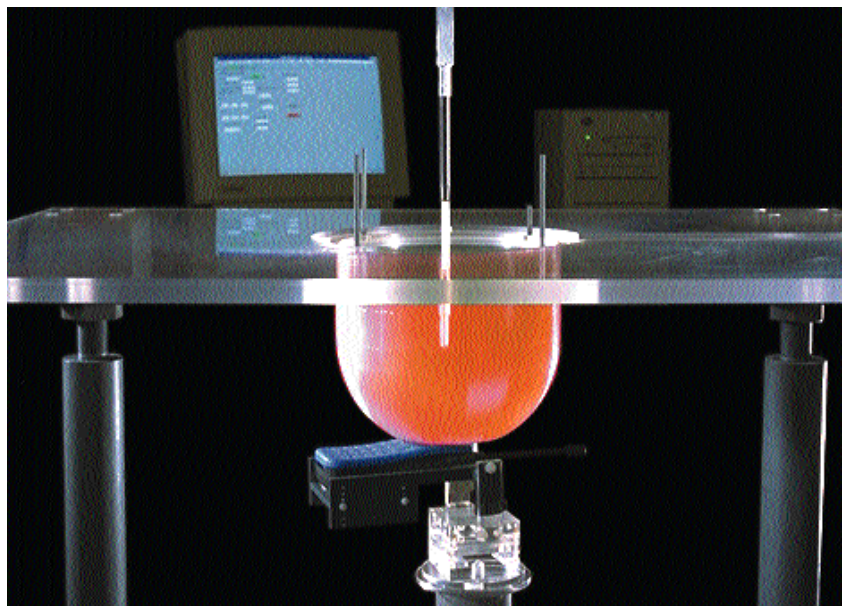


Foto 1 - Banco de pruebas para la medida del SAR local con el modelo de maniquí canónico.

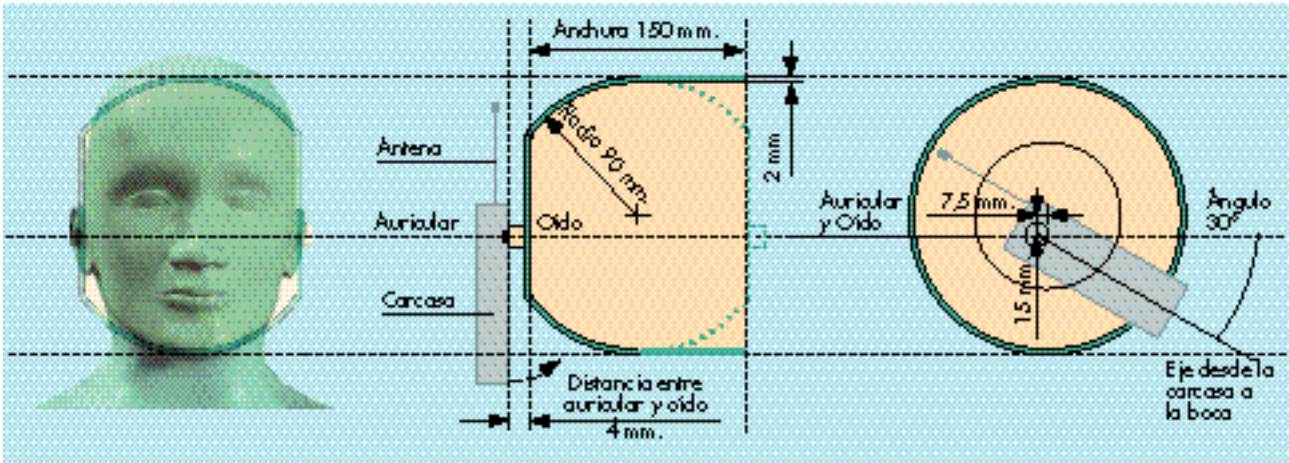


Figura 1- Descripción del maniquí canónico para la medida del SAR local.

te en un único medio equivalente. Varios estudios han mostrado que los valores del SAR calculados usando maniqués homogéneos son tan representativos o, incluso más, que los obtenidos usando maniqués heterogé-

neos [8,10]. Sin embargo, la interacción con el terminal depende de su forma y de las propiedades del medio equivalente.

#### Posición del terminal

La posición normal para el uso del teléfono móvil se define en dos etapas. En primer lugar, el auricular debe estar presionando al oído y estar alineado con el eje definido por dos canales auditivos. La carcasa del teléfono móvil se pone, a continuación, en contacto con el maniquí, permaneciendo el eje medio del terminal en el plano definido por los dos canales auditivos y el centro de la boca. Este método es muy preciso y engloba a todo tipo de maniqués y a todo tipo de teléfonos. El método ha sido adoptado por la FCC [6], el ARIB [7] y ha sido propuesto en el IEC. Las medidas deben ser to-

madas a la derecha o a la izquierda para asegurar que los resultados sean considerados en el caso peor.

La posición normal definida por CENELEC es similar [5]. La primera etapa es exactamente la misma, estando el cuerpo del teléfono inclinado 80 grados con relación a la línea que une los canales auditivos. También se han propuesto otras posiciones de medida adicionales.

#### Calibración de la sonda de medida

Para la medida del SAR se han desarrollado sondas especiales. El campo eléctrico es detectado por tres dipolos que son mutuamente ortogonales y que tienen una longitud de entre 3 y 5 mm [9]. El diámetro exterior de la sonda oscila entre 4 a 10 mm. Las características de la sonda SAR se definen por su factor de calibración, sen-

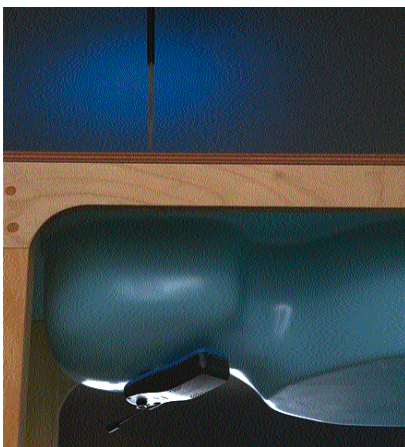


Foto 2 - Maniquí genérico para la medida del SAR local.

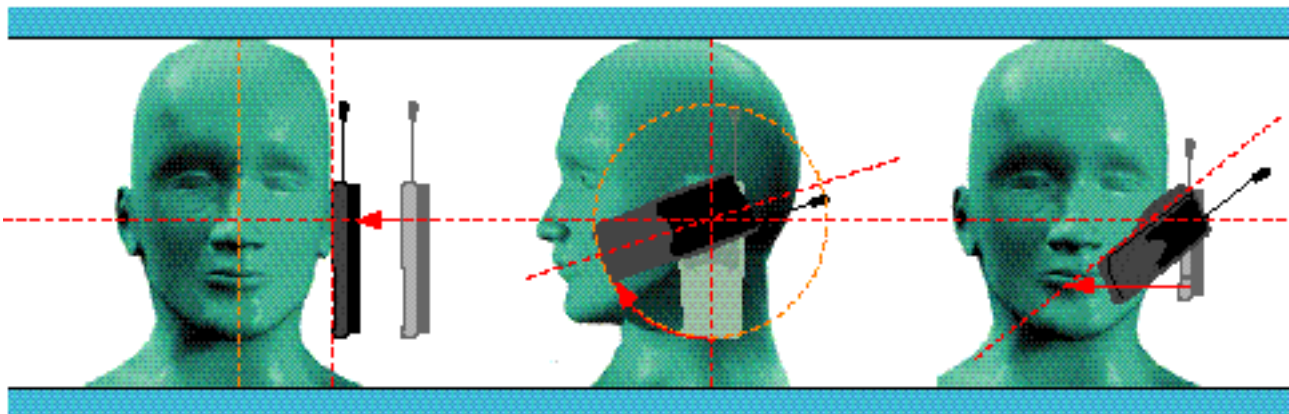


Figura 2 - Proceso del posicionamiento del móvil para la medida del SAR local.

sibilidad, margen dinámico, linealidad, isotropía y respuesta temporal. Existen varias técnicas para evaluar estos parámetros [12, 13], bien mediante una guía de onda llena con un líquido equivalente al tejido, o usando una antena de referencia que está inmersa en un tanque que contiene el mismo líquido. Las dos técnicas están siendo actualmente comparadas con vistas a limitar la incertidumbre de la calibración.

### **Protocolo experimental**

Las pruebas se deben realizar cuando el terminal está transmitiendo en la máxima potencia. Las baterías se cargan previamente. La frecuencia se fija mediante la medida del periodo. El terminal se coloca frente al maniquí. La sonda de medida se instala en un robot. La sonda y el robot se controlan mediante un microprocesador (**Foto 1**).

La medida se realiza en dos etapas. En primer lugar, la sonda efectúa un barrido en el interior del maniquí para medir los niveles del campo eléctrico. A continuación, se procesan las lecturas y se calcula el valor medio del SAR por masa de referencia (10 g ó 1 g), y se determina el valor máximo que tiene lugar en el conjunto total del maniquí.

Como el maniquí está hecho de un único material absorbente, el valor máximo se encuentra cerca de la superficie. Dado el tamaño total de la sonda, a veces no es posible tomar medidas en este lugar y, como consecuencia, los niveles de la superficie se deben extrapolar a partir de las medidas realizadas en el interior. El SAR local y la incertidumbre o error de la medida depende de la validez de estos métodos de extrapolación.

### **Incetidumbre de la medida**

La incertidumbre de la medida se evalúa en función de las principales fuentes de error que están asociadas con las características del maniquí, las características de la sonda, la posición de la sonda relativa al maniquí y los métodos para calcular el SAR a partir de los valores medidos. La incertidumbre total se calcula usando la metodología defi-

nida por el ICE [14]. En el estado de la técnica actual, la incertidumbre es alrededor de 1 decibelio. Este orden de magnitud no es muy alto para las medidas del campo electromagnético. Para confirmar este valor las investigaciones continúan su progreso. El objetivo final es identificar las fuentes de error mas significativas y definir los protocolos para medir cada una de ellas. Esta etapa es fundamental para la definición de los estándares futuros.

### **■ Potencia Radiada**

No toda la potencia emitida por el teléfono móvil es radiada hacia la red. Se producen algunas pérdidas debido a la operación intrínseca del terminal. Otras pérdidas se deben a la absorción por el usuario. La medida de la radiación se basa en métodos mas convencionales realizados en una cámara anecoica. Estos métodos han sido adaptados para su acomodación a las peculiaridades de los teléfonos móviles. Como la radiación no es direccional, la medidas se deben tomar en tres dimensiones alrededor de la esfera que rodea al terminal. Los análisis se realizan en el terminal para evaluar las pérdidas intrínsecas, o en el terminal con el maniquí para determinar el comportamiento en uso normal.

### **Modelo del usuario**

La interacción entre el teléfono móvil y el cuerpo humano no está limitada a las proximidades de la cabeza. El maniquí debe representar la cabeza y la parte superior del pecho. Actualmente las medidas se realizan usando el maniquí canónico o el maniquí genérico. El terminal se coloca en la posición de uso normal en el lado izquierdo o en el derecho del maniquí.

### **Principios de la medida**

El montaje de medida desarrollado por Alcatel (**Figura 3**) consta de dos sistemas de posicionamiento. La sonda se instala en el eje horizontal y mide las polarizaciones vertical y hori-

zontal de los campos electromagnéticos. El teléfono móvil y el maniquí (o el terminal sólo) se montan en una mesa giratoria. El eje del maniquí es paralelo al eje de la sonda. Una vuelta completa de la mesa giratoria permite que el flujo de potencia radiada sea medido en el plano meridional. Todo ello permanece, y al pivotar el maniquí en su eje, permite obtener la medida en otros planos meridionales. Un conjunto de 6 a 12 planos meridionales es suficiente para determinar la radiación sobre todo la esfera alrededor del maniquí. El banco de pruebas está totalmente automatizado, de manera que tarda menos de 15 minutos en una secuencia completa de captura de datos. Las medidas se procesan para representar los diagramas de directividad y para calcular la potencia total radiada.

### **■ Simulaciones**

Los métodos de simulación electromagnética soportan no solamente el desarrollo de los montajes de medida y el análisis de los maniqués, sino también el diseño de los futuros terminales.

### **ELSA**

Alcatel ha desarrollado el Software Electromagnético para Antenas (ELSA) para realizar la simulación y la medida, el proceso de los resultados y su representación gráfica. El núcleo de la computación consiste en el software AD [15], que resuelve las ecuaciones de Maxwell usando el método de elementos finitos aplicado al planteamiento formal de las ecuaciones integrales. El software I-DEAS Master Series se usa para entrelazar las estructuras y para representar la distribución de las corrientes eléctrica y magnética o del SAR en las interfaces.

### **Soporte experimental**

La simulación electromagnética ofrece una mayor flexibilidad en la determinación de ciertos parámetros de los bancos de prueba. Por ejemplo, el valor del SAR depende de la constante



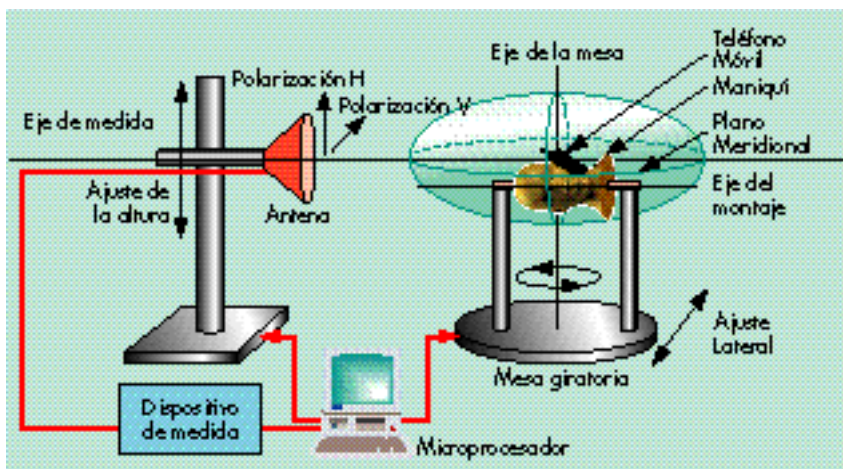


Figura 3 - Banco de pruebas para la medida de radiación procedente de los teléfonos móviles en un cámara anecoica.

dieléctrica y de la conductividad del líquido equivalente al tejido biológico. La simulación del SAR para diferentes valores de la permitividad y de la conductividad ha verificado que los valores elegidos son representativos de la situación de la vida real [18].

También se ha usado la simulación para estudiar la influencia de la forma de los maniqués (**Figura 4**) y para validar los algoritmos utilizados para la extrapolación del SAR local a partir de las medidas del campo eléctrico.

### Soporte al diseño

La flexibilidad de las simulaciones se utiliza para el diseño y desarrollo de los terminales móviles. El primer beneficio es conocer la influencia de los parámetros principales de diseño del producto, desde las etapas más tempranas del desarrollo. Los resultados de la simulación se validan a continuación en los primeros prototipos. En la fase de desarrollo del producto, la simulación se usa para evaluar ciertas opciones que resultarían difíciles y largas en tiempo para su validación mediante la experimentación.

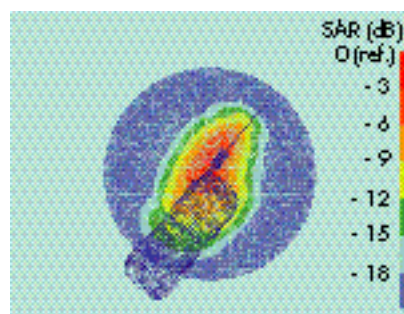
Este trabajo se está realizando en estrecha colaboración con la división de Alcatel responsable del desarrollo de telefonía móvil y ha sido ampliamente usado en el diseño de los productos de Alcatel, particularmente en el nuevo abanico de los terminales duales.

### Conclusiones

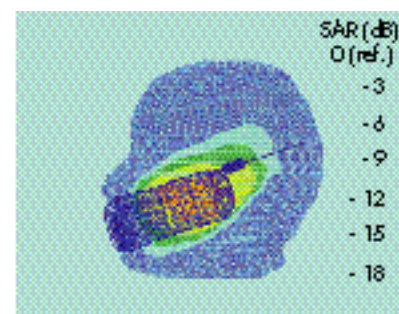
La racionalización de la radiación de la frecuencia de radio procedente de los teléfonos móviles tiene dos objetivos:

- asegurar que los productos cumplan con las normas internacionales para la protección del usuario.
- reducir las pérdidas de la señal debido a la interacción con el usuario, de manera que se mejore la calidad de la llamada y la vida de la batería.

Para conseguir estos objetivos, se han desarrollado nuevos métodos experimentales y programas de ordenador, que se han usado en las etapas iniciales del diseño del producto, incluso antes de que estuviese disponible el primer prototipo. Los métodos de certificación cumplen con la normativa internacional.



Maniquí Canónico



Maniquí Realista

Figura 4 - Comparación de la distribución superficial de SAR para varios montajes a 900 MHz. Los modelos están en la misma escala.

A pesar de las recomendaciones actuales, algunos usuarios se sienten preocupados por los aspectos de la salud relacionados con las ondas de radio procedentes de los teléfonos móviles. Numerosos laboratorios de biología han realizado investigaciones sobre este respecto. Expertos consultados por la Comisión Europea, incluso la Organización Mundial de la Salud, consideran que ninguno de los resultados publicados hasta la fecha prueban que exista algún problema de salud motivado por el uso de los teléfonos móviles, pero ellos reconocen la conveniencia de realizar estudios adicionales. Este tipo de investigación no está dentro de la competencia directa de los fabricantes de teléfonos móviles, sino que ello es de su responsabilidad para asegurar que la materia esté totalmente investigada. Alcatel está proporcionando soporte a las iniciativas de investigación nacionales e internacionales realizadas por organizaciones médicas, epidemiológicas y biológicas independientes.

### Referencias

- 1 ICNIRP, "Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up 300 GHz)", Health Physics, Vol. 74, n°4, págs. 499-522, Abril 1998.
- 2 IEEE C95.1-1991, "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300



- GHz”, Septiembre 1991.
- 3 ENV 50166-2:1995, “Human exposure to electromagnetic fields-High Frequency (10 kHz to 300 GHz)”, Enero 1995.
  - 4 FCC 96-326, “Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation”, Agosto 1996.
  - 5 ES 59005, “Considerations for the evaluation of human exposure to Electromagnetic Fields (EMFs) from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the frequency range 30 MHz-6 GHz”, Mayo 1998.
  - 6 FCC OET Bulletin 65 Supplement C, “Additional Information for Evaluating Compliance of Mobile and Portable Devices with FCC Limits for Exposure to Radiofrequency Emissions”, Diciembre 1997.
  - 7 ARIB STD-T56, “Specific Absorption Rate (SAR) Estimation for Cellular Phones”, version 1.0, Enero 1998.
  - 8 C. Grangeat y otros, “Dosimetry of GSM hand-held terminals with multi-layer head models”, 18th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society (BEMS), Victoria, Junio 1996.
  - 9 N. Kuster y otros, “Dosimetric Evaluation of Handheld Mobile Communications Equipment with Known Precision”, IEICE Trans. COMMUN., vol. E80-B, n°5, págs. 645-652, Mayo 1997.
  - 10 V. Hombach y otros, “The Dependence of EM Energy Absorption Upon Human Head Modeling at 900 MHz”, IEEE Trans. MTT, vol. 44, n° 10, págs. 1865-1873, Octubre 1996.
  - 11 J. Wiart y otros, “Calculation of the power deposited in tissues close to a handset antenna using non uniform FDTD”, Proc. of the Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Bologna, Junio 1997, Plenum Press.
  - 12 K. Meier y otros, “Broadband Calibration of E-Field Probes in Lossy Media”, IEEE Trans. MTT, vol. 44, n°10, págs. 1954-1962, Octubre 1996.
  - 13 L.N. Ahlonsou y otros, “Principes de caractérisation des sondes isotropes de mesure du champ électrique en milieu équivalent aux tissus biologiques”, 10èmes Journées Internationales de Nice sur les Antennes (JINA98), Noviembre 1998.
  - 14 IEC, “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, edición 1.0.
  - 15 J.P. Martinaud y otros, “Conception d’antennes par la technique des éléments finis mixtes”, Annales des Télécommunications, vol. 44, n°9-10, págs. 464-474, 1989.

**Christophe Grangeat** es jefe de Dosimetría y de la sección de Diseño de Antenas del Departamento de Radio Comunicaciones en el Centro de Investigación Corporativo de Alcatel, Marcoussis, Francia.

# CONSIDERACIONES SOBRE LA PROPAGACIÓN A ALTAS FRECUENCIAS

M. A. MEAD

Las condiciones de lluvia juegan un papel clave en el diseño de los sistemas de radio por microondas y pueden afectar de manera importante a la distancia cubierta.

## ■ Introducción: Consideraciones de Propagación

Durante 50 años, la radio por microondas se ha utilizado frecuentemente para una variedad de comunicaciones que incluye la telefonía de larga distancia, las emisiones de televisión de ámbito nacional y las llamadas telefónicas celulares. Hoy día, se está utilizando cada vez más para saltarse las portadoras de las centrales locales. En todo este período, hay una pregunta clave que ha supuesto un reto para los ingenieros de radio encargados de diseñar estos sistemas: ¿Hasta dónde puedo llegar?

La disponibilidad del sistema, las especificaciones del equipo, la climatología local y el terreno tienen un fuerte impacto en la longitud de un camino de microondas y su rendimiento. Este artículo se centra en las frecuencias utilizadas en los Servicios Locales de Distribución Multipunto (LMDS) y en el Acceso de Radio por Banda Ancha (BBRA), en los cuales la lluvia es el principal factor que hay que controlar.

Los servicios LMDS y BBRA se transmiten desde ejes centrales usando antenas de sector omnidireccionales o de haz ancho con abertura angular de haz de 45°, 90° ó 180°. El transmisor del eje se une con las posiciones de abonado equipadas con antenas direccionales, montadas en los tejados, de 10 a 12 pulgadas (25 a 30 cm.). Una cuidadosa planificación

de Radio Frecuencia (RF) es un requisito para asegurar que se establece un enlace con disponibilidad aceptable entre el transmisor del eje y cada posición de abonado. Las consideraciones de diseño de ingeniería en las bandas de frecuencia de los LMDS y del BBRA difieren, de forma espectacular, de aquellos que se utilizaban cuando se diseñaron los más tradicionales enlaces de radio punto-a-punto por microondas, funcionando a frecuencias por debajo de 11 GHz.

## ■ Propagación a Alta Frecuencia

A la parte del espectro de frecuencia entre 30 y 300 GHz se la llama la banda de onda de milímetro, ya que las longitudes de onda se corresponden con frecuencias que van de 1 a 10 mm. A estas longitudes de onda, la degradación de propagación que determina la disponibilidad del enlace difiere de los factores de control en las bandas S y X. Mientras que la pérdida de espacio libre entre los elementos que radian es el colaborador común más importante para la pérdida de señal, las principales consideraciones de propagación en las longitudes de onda de milímetro incluyen [1]:

- atenuación causada por los gases atmosféricos (pérdida de espacio libre).
- atenuación causada por precipitaciones.
- atenuación por follaje (árboles).

- atenuación por difracción (separación de la línea de posición).
- atenuación causada por reflexión/dispersión de señal (edificios ó terreno llano).

Diseñando cada enlace entre el eje y el abonado, con al menos el 60% de la primera separación de la zona de Fresnel con respecto a las dificultades del terreno, se pueden mitigar las pérdidas causadas por el follaje, la difracción y la dispersión de señal. Las pérdidas que resultan de la absorción de la señal por el vapor de agua y el oxígeno son importantes y se deben incluir en los cálculos del presupuesto del enlace. Las pérdidas de absorción son una función de la longitud del camino y se pueden determinar, junto con la pérdida del espacio libre, dado que se conoce el contenido de vapor de agua. La degradación restante y, al mismo tiempo, el mayor colaborador en la degradación de la señal en la longitud de onda de milímetro es la atenuación por lluvia.

Cuatro cantidades se tienen que tener en cuenta en la predicción de la atenuación de lluvia [2]:

- las pérdidas causadas por el agua en o sobre la antena.
- la longitud efectiva de camino.
- la distribución de la tasa de lluvia.
- la atenuación específica.

Las pérdidas causadas por el agua, tanto dentro como fuera de una antena, pueden ser considerables, dependiendo de las características del radomo o

de la superficie pintada del elemento que radia. Dependiendo de la naturaleza hidrófoba del exterior del elemento que radia, durante un periodo de lluvia, el agua formará o una película sobre la superficie, o bien pequeñas gotas. Los estudios han mostrado que un espesor de la película de agua de entre 0,2 y 0,3 mm. dará lugar a una atenuación de 7 a 9 dB, mientras que las gotas de agua pueden dar lugar a una atenuación de 1 a 1,5 dB [3]. Esta pérdida de humedad del radoro degrada el margen de atenuación de la lluvia hasta tal punto, que los cortes debidos al desvanecimiento inducido por la lluvia pueden llegar a ser significativos.

El margen de atenuación de lluvia son las pérdidas de humedad del radoro de las antenas, sumadas al margen del desvanecimiento térmico del camino. Si un enlace de radio, funcionando a longitudes de ondas de milímetro, se diseña con un margen del desvanecimiento térmico de 35 dB, y las antenas se utilizan de forma que produzcan láminas de agua durante la lluvia, el margen de atenuación de lluvia se degradará como mucho 8 dB por antena. En consecuencia, un aguacero que produzca sólo un desvanecimiento de 19 dB produciría un corte.

La longitud efectiva del camino tiene en cuenta el perfil no uniforme de la célula de lluvia. La lluvia ligera cae generalmente sobre una área grande, mientras que la lluvia fuerte se concentra en una célula localizada dentro de una región de lluvias más grande. Para trayectos cortos de entre 2 y 5 km., la tasa de precipitación será equitativamente uniforme a lo largo del camino. No obstante, en trayectos largos la tasa de precipitación no será uniforme, ya que la lluvia fuerte se reducirá a sólo una parte del camino. Este pequeño tramo del camino representa la longitud efectiva del camino. La UIT-R define la longitud efectiva del camino como la longitud de un hipotético camino obtenida desde los datos por radio, dividiendo la atenuación total por la atenuación específica que excede en el mismo porcentaje de tiempo [4]. La mayoría de los modelos de atenuación de lluvia

se basan en una relación empírica directa entre una tasa de lluvia de superficie y una longitud efectiva del camino la cual, cuando se multiplica por el valor específico de la atenuación para la tasa de lluvia de la superficie, produce el valor deseado de atenuación [5].

### ■ Regiones de Lluvia

Al registrar la tasa media más alta de lluvia durante 1 ó 5 minutos por año, en un determinado puesto de medi-

das, se suministran datos a partir de los cuales se pueden elaborar distribuciones de la tasa de lluvia. Agrupando estaciones de medida con distribuciones similares, es posible hacer un mapa climático de la región.

Los mapas de lluvias por regiones han sido propuestos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones-Radio (UIT-R), anteriormente CCIR, y por Robert Crane [5]. Estos mapas se usan tradicionalmente como una alternativa cuando no están disponibles los datos medidos de la tasa de precipitaciones de lluvia. Alcatel, no

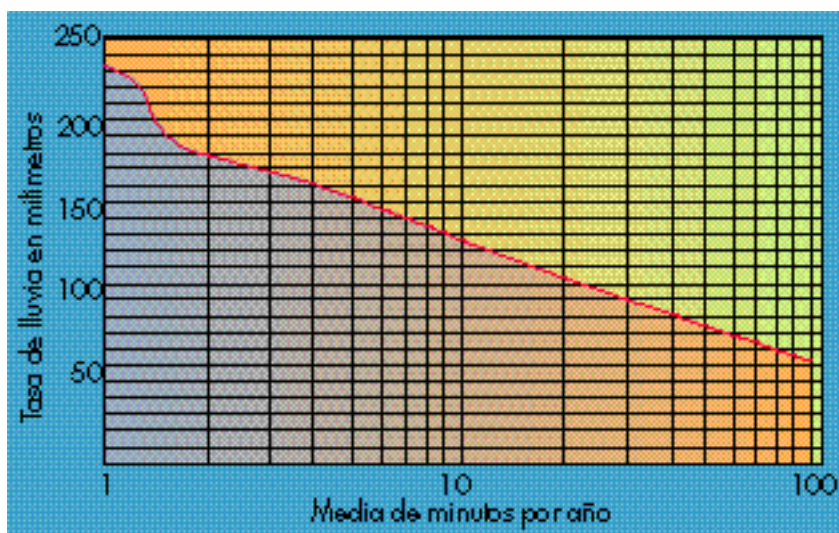


Figura 1 - Curva de frecuencia intensidad y duración de las precipitaciones de lluvia en Dallas Texas.

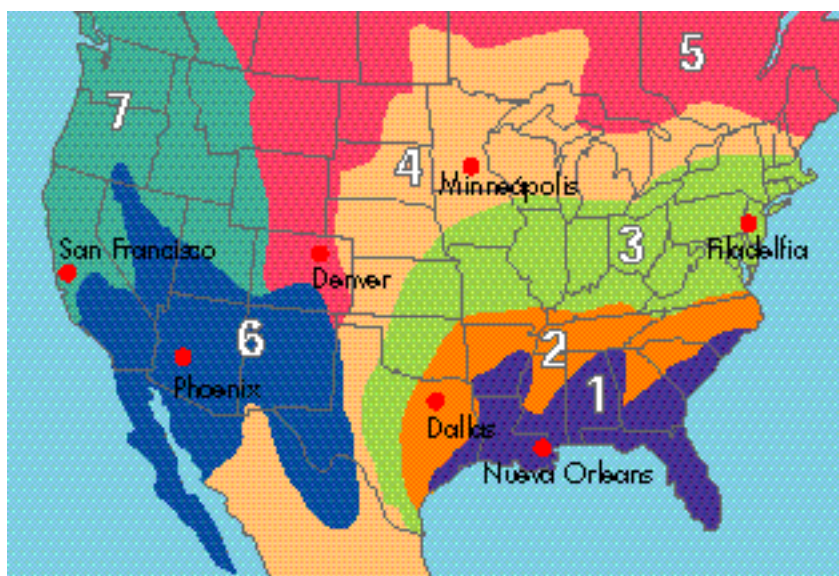


Figura 2 - Regiones de tasa de lluvia de Alcatel en Estados Unidos.

obstante, utiliza distribuciones de la tasa de lluvia durante 5 minutos basadas en los datos actuales registrados en 263 estaciones meteorológicas de los Estados Unidos, durante un periodo de 50 años. Ello suministra unas predicciones significativamente más precisas de los cortes relacionados con la lluvia. La **Figura 1** muestra un ejemplo de la curva de frecuencia de intensidad/duración de precipitaciones de lluvia para Dallas, Texas [6].

Agrupando ciudades con parecidas intensidades de precipitaciones, Alcatel ha clasificado siete regiones de lluvia en los Estados Unidos (ver **Figura 2**) las cuales son similares a las regiones de lluvia de la UIT-R y de Crane. Ya que Alcatel normalmente utiliza curvas actuales de intensidad medida de precipitaciones para determinar los cortes debidos a la lluvia, y con el fin de facilitar la comparación acerca de cómo se puede alcanzar un camino, en los siguientes ejemplos se usan las siete regiones de la **Figura 2**.

La atenuación específica es la pérdida por kilómetro a lo largo de un camino de radio. Es una función de la tasa de lluvia, de la distribución del tamaño de las gotas, de la forma de las gotas y de la temperatura y velocidad de las gotas. Estos componentes se han combinado en los modelos de atenuación de lluvia, el más popular de los cuales ha sido desarrollado por Robert Crane [5]. El modelo de Crane tiene en cuenta las variaciones en el diámetro de la celda, que depende de la tasa de lluvia, así como de la forma esférica achatada de las gotas de la lluvia y del impacto que tiene correlación con las señales polarizadas horizontalmente, comparado con el de las señales polarizadas verticalmente.

### ■ Aumento del Rendimiento

El tamaño de la celda LMDS depende de la ganancia del sistema del equipo RF, de la ganancia de las antenas del eje y del abonado, de la región de lluvia en la se encuentra localizado el sistema LMDS y de la disponibilidad aceptable del camino. Asumiendo que

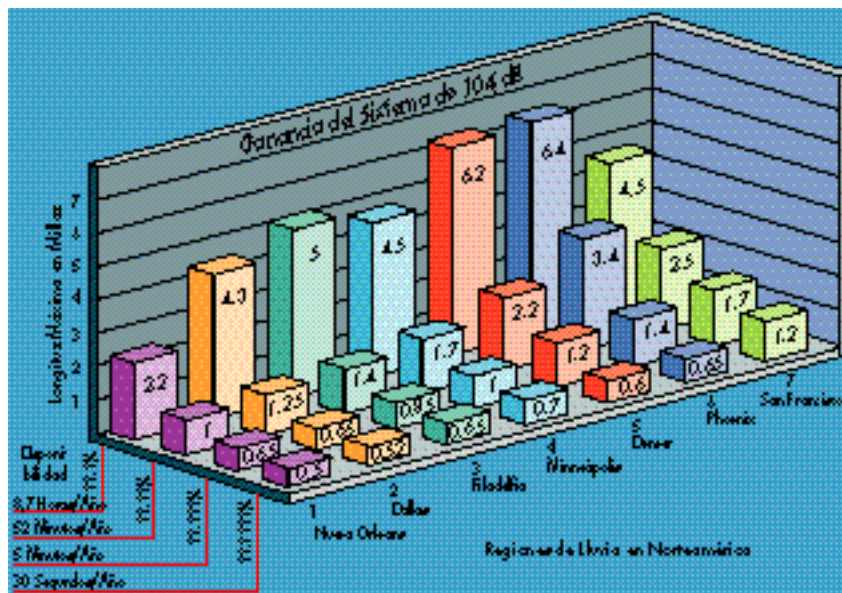


Figura 3 - Efectos de la tasa de lluvia en las longitudes de onda de milímetro.

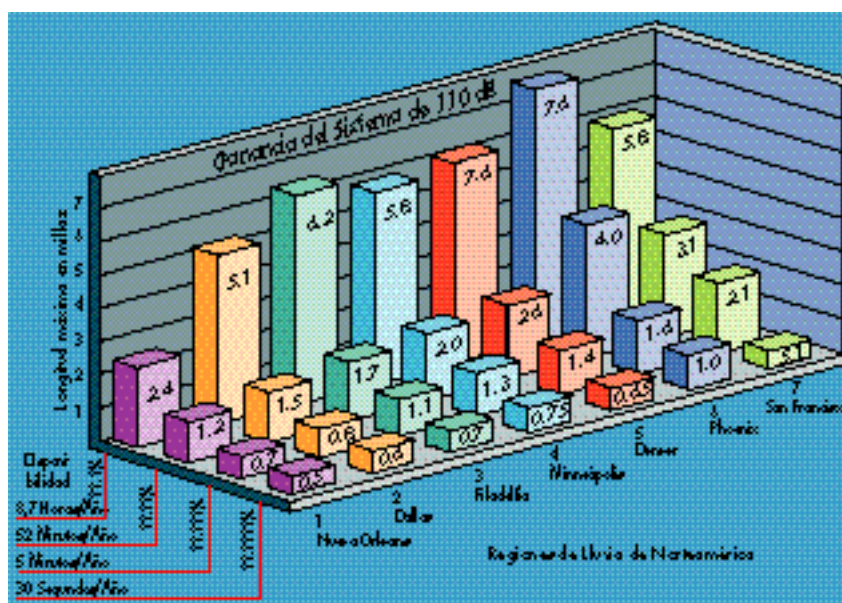


Figura 4 - Distancia a la que se puede extender la longitud de un camino aumentando la ganancia del sistema en 6 dB.

el sistema RF suministra 104 dB de ganancia del sistema, y las antenas del eje y del abonado añaden respectivamente ganancias de 15 y 35 dB, la **Figura 3** muestra como se puede aumentar un radio de celda en cada una de las siete regiones de lluvia para valores de disponibilidad de camino/corte que oscilan entre 99.9% (aproximadamente 8 horas al año) y 99.9999% (aproximadamente 30 segundos al a-

ño). Se pueden alcanzar los radios de celda más grandes aumentando la ganancia total del sistema mediante:

- Mejora de la ganancia del sistema del equipo de RF.
- Uso de una antena del eje de ganancia alta ó ultraelevada (21 dBi ó 24 dBi).
- Aumento de la directividad de la antena del eje reduciendo el abertura angular de haz de 90° a 45°.



- Aumento de la ganancia de la antena de abonado.

Los resultados mostrados en la **Figura 3** ilustran además como están afectadas las longitudes de onda de milímetro por las tasas de lluvia más bajas. La cifra de más alta disponibilidad (99.9999% ó 30 segundos de corte por año) se corresponde con las tasas de lluvia más bajas, mientras que las cifras de más baja disponibilidad se corresponden con la tasa de lluvia más altas. La frecuencia más alta de aguaceros que producen las tasas de lluvia más bajas en las regiones 4 y 7 resultan de reducir los radios de la celda en el caso de 99.9% de disponibilidad de camino. Este resultado es algo inesperado, ya que tradicionalmente se espera que los cortes ocurran sólo durante los poco frecuentes fuertes chaparrones.

La **Figura 4** ilustra la distancia en que se puede ampliar un camino al aumentar la ganancia del enlace del sistema por 6 dB. Para los casos de disponibilidad de camino mayor, la longitud adicional del camino que se puede realizar es solo dos o tres décimos de una milla (0,3 ó 0,5 km.). Por contra, para los casos de disponibilidad de camino mas baja (por ejemplo, 99.9%), la longitud adicional del camino es de alrededor de una milla (1,6 km.). Mientras que este incremento en la longitud del camino puede parecer insignificante comparado con el gasto para suministrar una ganancia adicional del sistema de 6 dB, los estudios han mostrado que, por término medio, la cobertura de la celda se incrementará desde un 45% a un 55% en términos de cobertura acumulativa por milla cuadrada.

## ■ Interferencias Externas

También las interferencia externas deben tomarse en cuenta en el cálculo del corte. Los sistemas debidamente coordinados, que utilizan receptores con una razonable selectividad, sólo se degradarán para una ampliación limitada debido a las interferencias externas. Mientras que el corte de lluvia limitará la distancias del camino en las frecuencias más altas, estas mismas frecuencias se propagarán a distancias considerables en ausencia de lluvia y puede reducir la disponibilidad de un camino adyacente. Las interferencias externas son dependientes del lugar y no se incluyen en estos cálculos. Por lo tanto, cuando se diseña un sistema con celdas adyacentes y solapadas, es fundamental considerar todas las condiciones que contribuyen a interferencias externas y su efecto en la disponibilidad del camino.

## ■ Conclusiones

Es importante comprender que los resultados que se presentan aquí predicen cortes basados en las tasas medias de lluvia. No representan ni el mejor ni el peor de los escenarios. Debido a la variabilidad a largo plazo de los datos estadísticos que se requieren para describir con precisión las condiciones medias, el actual corte sobre un corto periodo de tiempo (menos de un año) puede variar de forma espectacular con respecto a los valores calculados. Son posibles variaciones de las predicciones con un factor de diez (mejor o peor).

La herencia de 50 años en microondas y la experiencia de 20 años en radio digital de Alcatel hablan por sí solas.

Hemos validado la precisión de estas predicciones de corte incorporando los datos actuales medidos en las principales ciudades de los Estados Unidos.

## ■ Referencias

- 1 Federal Communications Commission OET: "Millimeter Wave Propagation: Spectrum Management Implications", Boletín Número 70, Julio 1997.
- 2 W. D. Rummeler: "Advances in Microwave Radio Route Engineering for Rain", GLOBECOM 87, volumen 1, págs. 352-356, Junio 1987.
- 3 J. A. Effenberger, R. R. Strickland, E. B. Joy: "The Effects of Rain on a Rado-mes Performance", Microwave Journal, págs. 261-274, Mayo 1986.
- 4 Reports of the CCIR, 1990, Annex to Volume 5: "Propagation in Non-Ionized Media", Report 721-3, págs. 226-245.
- 5 R. K. Crane: "Prediction of Attenuation by Rain", IEEE Transactions on Communications, volumen COM-28, Número 9, págs. 1717-1713, Septiembre 1980.
- 6 US Department of Commerce: "Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves", Weather Bureau Technical Paper Nº 25, Washington, DC, Diciembre 1955 (normalmente, no disponible).

**Michael A. Mead** es Ingeniero de Transmisión en la unidad de negocio Alcatel Fixed Wireless Networks de Richardson, Texas, EE.UU.



# OPTIMIZANDO SISTEMAS DE ANTENA PARA CDMA

A. SINGER

La optimización es una etapa crítica en la obtención de las mejores prestaciones y la mayor capacidad de un sistema de antenas para CDMA.

## ■ Introducción

Las compañías operadoras de sistemas PCS (Personal Communication System, sistema de comunicación personal) que operan sistemas CDMA (Code Division Multiple Access, acceso múltiple por división de código) están actualmente completando la primera fase de diseño e instalación de sus emplazamientos de celdas y están comenzando la fase de optimización. La optimización es una etapa crítica que puede afectar significativamente a las prestaciones y a la capacidad de un sistema CDMA. Están disponibles un número de técnicas que pueden utilizarse para optimizar las prestaciones globales del sistema durante esta etapa (por ejemplo maximizando la cobertura y la capacidad, o minimizando las llamadas perdidas y la tasa de tramas erróneas).

## ■ Optimización de la red

### *Traspaso continuo*

Uno de los métodos más sencillos para limitar la capacidad del sistema es tener una zona de traspaso continuo (soft handover) demasiado grande. Durante el traspaso continuo, el aparato móvil está en comunicación con varias estaciones base al mismo tiempo. Se establece un enlace con la celda siguiente antes de romper el enlace con la celda actual. Los sistemas CDMA obtienen varias ventajas al em-

plear traspaso continuo, que incluyen menos llamadas perdidas, menor potencia de transmisión para el aparato móvil e interferencias reducidas. Sin embargo, como tantas veces sucede, no es posible tener demasiado de una cosa buena. Si la zona de traspaso continuo es demasiado grande, la capacidad del sistema se reducirá porque dos estaciones base están cursando la misma llamada durante el traspaso continuo, como puede verse en la **Figura 1**. De este modo, el traspaso continuo es un compromiso entre capacidad y prestaciones del sistema.

La cantidad ideal de traspaso continuo (es decir, el porcentaje de todas las llamadas dentro de la zona de traspaso continuo) es aproximadamente del 25 al 40%. La necesidad de optimizar el solape entre sectores

es una razón por la que los operadores de CDMA están desplegando antenas con abertura angular horizontal de 65° y de 90°, en lugar de las tradicionales antenas con abertura angular horizontal de 105° y de 120° utilizadas en los sistemas celulares AMPS (Advanced Mobile Phone System, sistema telefónico móvil avanzado). Los operadores deben asumir también que los parámetros T\_ADD, T\_DROP y T\_TDROP, que se refieren al ajuste de los niveles que deciden la lógica de traspaso (handover), están correctamente fijados para unas prestaciones óptimas.

Por lo que se refiere al uso de aberturas angulares horizontales más estrechas, los ingenieros de radiofrecuencias (RF) deben ser muy cuidadosos cuando toman esta decisión crítica

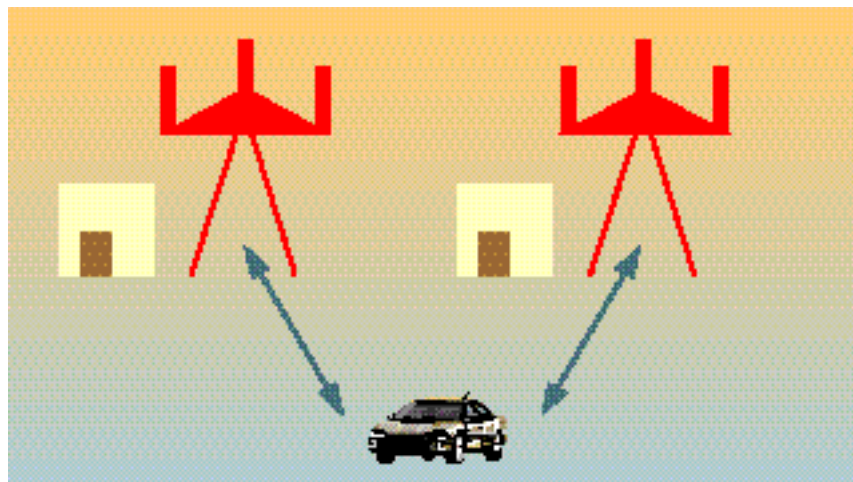


Figura 1 - Ambas celdas están activas en la zona del "traspaso continuo".

tica. Aunque la tendencia ha sido utilizar antenas con abertura angular más estrecha –con excelentes resultados–, existen excepciones. Un operador que desplegó antenas con abertura angular horizontal de  $80^\circ$  en unos pocos emplazamientos relativamente elevados, quedó frustrado con los resultados. En esta aplicación se produjeron caídas de prestaciones importantes en el área de cobertura entre sectores. Una regla general empírica es que, a medida que aumentan las alturas de las torres y el radio del emplazamiento, la abertura angular horizontal deberá aumentarse. Muchos operadores con los que trabaja Alcatel están desplegando antenas con abertura angular horizontal de  $90^\circ$  para sus emplazamientos de CDMA, mientras que algunos están utilizando antenas con abertura angular horizontal de  $65^\circ$ , en particular en áreas urbanas densas.

### Contaminación del piloto

Otro método de optimización es minimizar las áreas afectadas por la contaminación del piloto, que puede producir pérdida de llamadas y disminuir la capacidad. Las señales piloto actúan como radiofaros para notificar a los usuarios potenciales la existencia de una estación base CDMA. Los aparatos móviles utilizan estas señales piloto para la comparación de intensidades de potencia que es esencial en el proceso de traspaso. La señal piloto es el canal más fuerte, comprendiendo el 20% de la potencia total radiada en una señal CDMA. Cada sector CDMA envía su propia señal piloto pero utiliza la misma frecuencia. La contaminación del piloto se produce cuando un aparato móvil se encuentra en una posición en la que se reciben varias señales piloto con intensidades más o menos iguales. Conduciendo por la ciudad y midiendo las señales del enlace ascendente y del enlace descendente para crear un mapa de la cobertura del sistema mostrará en estas zonas un aumento sensible en la tasa de tramas erróneas.

Los aparatos móviles actuales utilizan receptores rake de cuatro ramas, que son esencialmente un conjunto de

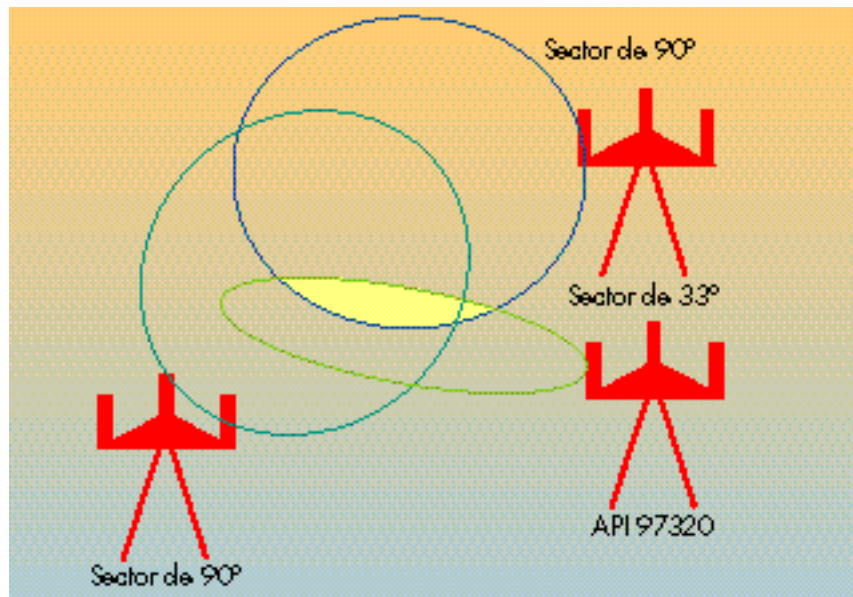


Figura 2 - Uso de un sector de  $33^\circ$  para minimizar la contaminación del Piloto.

cuatro receptores. Una rama se utiliza para escanear las señales piloto, mientras que las otras tres están a la escucha de pilotos.

Para evitar la contaminación del piloto, los operadores pueden utilizar inclinación hacia abajo de la antena 1, giro del azimut y selección cuidadosa de la abertura angular horizontal. Algunas compañías operadoras en área urbanas céntricas han estado utilizando antenas de sector de  $33^\circ$  para minimizar la contaminación del piloto, como se muestra en la **Figura 2**. A menudo se utilizan en emplazamientos situados sobre puentes, ya que las señales se propagan sobre el agua a distancias significativamente mayores.

Algunos operadores de CDMA están utilizando antenas inclinables hacia abajo de forma eléctrica ajustables continuamente para minimizar la contaminación del piloto. Cuando las antenas son inclinadas hacia abajo de forma mecánica, la energía liberada por los laterales de la antena no se reduce en el horizonte y puede producir contaminación del piloto en emplazamientos cercanos. Las antenas inclinables hacia abajo de forma eléctrica reducen la energía en el horizonte, tanto de frente como por los laterales de la antena. En situaciones en las que la contaminación del piloto es causada por la radiación lateral de antenas de un emplazamiento cercano, una antena inclinable hacia abajo ajustable

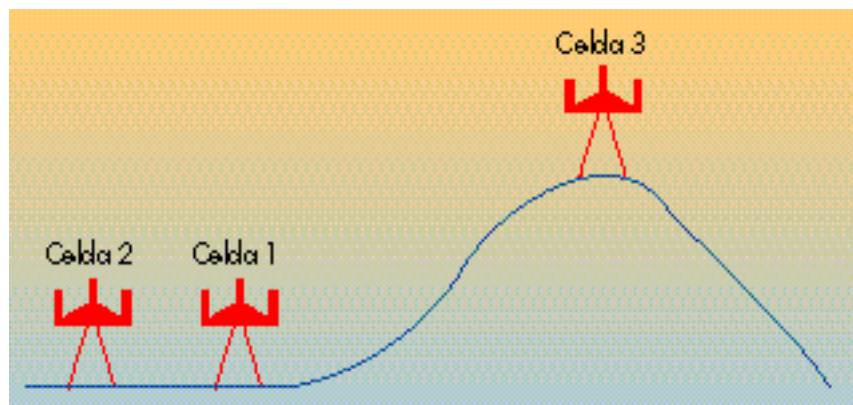


Figura 3 - La celda 3 no debería estar en la lista de vecinos de la celda 1, mientras que la celda 2 sí debería estar.

---

de forma continua puede ajustarse, mientras se realizan las pruebas de funcionamiento después de cada ajuste, para optimizar la zona de cobertura y reducir la contaminación del piloto.

### **Listas de vecinos**

Otro método de optimizar los sistemas CDMA, que es a menudo ignorado, es modificar la lista de vecinos que incluye los emplazamientos CDMA próximos, que ofrecen el mejor traspaso potencial. Es importante evitar el traspaso a un sector que solamente podría proporcionar una buena cobertura durante un corto periodo de tiempo, tal como el emplazamiento elevado de la **Figura 3**. Mediante la modificación de la lista de vecinos, el aparato móvil será instruido sobre qué vecinos buscar primero para un buen traspaso. Si el aparato móvil realiza el traspaso al emplazamiento equivocado, la llamada puede perderse y la capacidad malgastarse.

### **Diseño de antena**

Finalmente, es importante asegurar que el sistema de antenas minimiza la adición de ruido y de interferencias al sistema CDMA, puesto que ambos pueden limitar significativamente la capacidad del sistema. La intermodulación de antena es una fuente de ruido y de interferencias. Los operadores deberían asegurarse de que las antenas de sus sistemas son lo suficientemente robustas como para que su característica de intermodulación no disminuya con el tiempo. También necesitan entender los compromisos y el impacto potencial de la utilización de la diversidad de polarización en sistemas PCS 2.

### **Conclusiones**

Este artículo ha descrito varios métodos para optimizar los sistemas CDMA. Como los operadores han descu-

bierto durante el año pasado, la optimización es una etapa crucial en el camino hacia una cobertura superior del sistema. Continuaremos aprendiendo más sobre estos nuevos sistemas CDMA a medida que continúe la optimización.

### **Referencias**

- 1 A. Singer: "Selecting PCS/DCS Antennas", Mobile Radio Technology, Julio 1997.
- 2 A. Singer: "Space vs Polarization Diversity", Wireless Review, Febrero 1998.

**Andy Singer** es Director de Marketing Técnico de Celwave en Marlboro, New Jersey, EE.UU.

# CANCELACIÓN DE INTERFERENCIAS DE POLARIZACIÓN CRUZADA Y COMBINACIÓN EN BANDA BASE EN MÓDEMS SDH

G. GUIDOTTI  
A. LEVA  
R. PELLIZZONI

Alcatel ha desarrollado un módem para sistemas de radio SDH, que utiliza codificación de canal avanzada y filtrado adaptativo.

## ■ Introducción

Alcatel ha desarrollado una atractiva arquitectura para la nueva generación de sistemas de radio con reutilización de frecuencias y/o diversidad espacial. El receptor utiliza dos antenas con polarización cruzada en diversidad. Las dos señales de diversidad con polarización común se aplican al demodulador, que realiza tanto la combinación en banda base como la cancelación de interferencias.

Los canales disponibles para señales STM-1 de 155 Mbit/s tienen anchuras de banda de 28, 29, 29,65, 30 y 40 MHz. Los canales con anchuras de banda entre 28 y 30 MHz son adecuados para una modulación 128-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, modulación de amplitud en cuadratura), mientras que puede utilizarse una modulación 32-QAM para los canales de 40 MHz. Los dos módems QAM funcionan con la misma velocidad binaria y las dos velocidades de símbolos están cercanas la una a la otra. Por consiguiente, es posible desarrollar un sólo tipo de equipo, que puede ser configurado para implementar ambos módems.

Las principales características del equipo son:

- Codificación multinivel (MLC, Multi-Level Coding).
- Filtro de transmisión FIR (Finite Impulse Response, respuesta de impulso limitado) de 36 derivaciones con coeficientes programables.

- Filtro de recepción FIR adaptativo espaciado fraccionalmente de 19 derivaciones (en un filtro espaciado fraccionalmente, las derivaciones del filtro están separadas fracciones de la duración T del símbolo, en este caso T/2).
- Combinador en banda base/cancelador para sistemas en diversidad con reutilización de frecuencias en una placa hija enchufable.
- Gestión completa de la trama SDH (Synchronous Digital Hierarchy, jerarquía digital síncrona).
- Capacidad de insertar hasta tres trenes de tráfico lateral de 2 Mbit/s, consistiendo el tráfico lateral en trenes adicionales de datos que se añaden al tráfico principal, sin exceder la anchura de banda permitida.

La mayoría de estas características son proporcionadas por tres nuevos circuitos ASIC (Application Specific Integrated Circuit, circuito integrado de aplicación específica). El primero es un filtro FIR adaptativo espaciado fraccionalmente, que realiza la ecualización del canal en el lado receptor. Este ASIC se utiliza también para realizar la combinación en banda base de las señales de diversidad y/o para la cancelación de interferencias. [1]

El segundo ASIC decodifica el código MLC y se encarga de la gestión de la trama SDH, mientras que el tercero, que forma parte del modulador, implementa la codificación MLC y el filtro FIR de transmisión de 36 derivaciones.

Las principales mejoras de este nuevo diseño con respecto al anterior 2 son el uso de un ecualizador FSE (Fractionally-Spaced Equalizer, ecualizador espaciado fraccionalmente) en lugar de un filtro espaciado en baudios, la posibilidad de realizar combinación y/o cancelación y el uso de codificación MLC, en lugar de codificación BCH (Bose, Chaudhuri, Hocquenghem).

## ■ Filtros Fijos y Adaptativos

El diseño de los filtros es un aspecto crucial en la mayoría de los sistemas de transmisión de datos.

En los sistemas digitales de radio de gran capacidad, la eficiencia espectral es una condición importante. Frecuentemente, ésta hace necesario utilizar un filtro de Nyquist con un bajo factor de atenuación progresiva, para permitir el mínimo número de puntos de constelación para la anchura de banda y la velocidad binaria dadas.

Una vez que se ha fijado la velocidad de símbolos mediante una adecuada selección del tamaño de la constelación y del esquema de codificación, los principales objetivos son obtener una baja ISI (Inter-Symbol Interference, interferencia entre símbolos), una solución de compromiso óptima entre adaptabilidad y robustez frente al ruido, un elevado rechazo del canal adyacente y una baja radiación fuera de banda.

En el diseño de Alcatel, el filtrado se divide entre filtros FIR digitales y fil-

tros Butterworth analógicos. Los filtros analógicos de 9 polos están situados después del convertidor digital-analógico (DAC, Digital-Analog Converter) en el lado de transmisión y antes del convertidor analógico-digital (ADC, Analog-Digital Converter) en el lado de recepción. Nueve polos pueden parecer un número elevado, pero es necesario un diseño de este tipo para agudizar la respuesta en frecuencia de los filtros, controlando con ello el espectro fuera de banda en el lado de transmisión y suprimiendo las interferencias del canal adyacente (ACI, Adjacent Channel Interference) en el lado de recepción.

El diseño del filtro FIR de transmisión es tal que la función de transferencia global de los filtros de transmisión, incluyendo el filtro FIR, el filtro de Butterworth y otros posibles filtros, por ejemplo los filtros de frecuencia intermedia (FI) y/o los filtros de radiofrecuencia (RF), corresponde a la raíz cuadrada de un filtro de Nyquist. Puesto que el filtro FIR tiene un número finito de derivaciones, debería aceptarse alguna diferencia entre el objetivo y la función de transferencia real. El método de diseño minimiza una función de coste ponderada, que asigna un peso grande a la emisión fuera de banda y pesos menores a las diferencias dentro de la banda.

De hecho, mientras que la radiación fuera de banda produce ACI, que sólo puede ser parcialmente compensada en el lado de recepción, la distorsión dentro de banda puede ser adecuadamente compensada en el lado de recepción.

El filtro digital del receptor es un filtro FIR adaptativo espaciado fraccionalmente de 19 derivaciones que minimiza el error cuadrático medio (MSE, Mean Square Error). Lleva a cabo de forma adaptativa la mejor solución de compromiso (en el sentido del MSE) entre ISI, ruido térmico y ACI. De esta forma, puede compensar las distorsiones inducidas por un canal que varía en el tiempo y las inevitables imperfecciones en los filtros de RF, que afectan típicamente a la función de transferencia cerca de la frecuencia de Nyquist.

Por lo que se refiere al algoritmo adaptativo, además del algoritmo MSE

mínimo clásico, hemos implementado un algoritmo ciego que permite una adquisición rápida cuando no está disponible una estimación fiable de los datos. Un factor importante en la adaptación de un FSE es su estabilización. Es bien conocido que los FSE sufren de monotonía de la función de coste cerca del punto de régimen permanente. En la literatura se han propuesto varias contramedidas para resolver este problema. Alcatel ha elegido utilizar una versión modificada del algoritmo de Uyematsu y Sakinawa 3, 4.

### ■ Principio de Funcionamiento del Combinador/Cancelador

La reutilización de frecuencias ha probado ser una técnica efectiva para doblar la capacidad de los sistemas digitales de radio. No obstante, incluso cuando se usan antenas de elevada discriminación de polarización cruzada (XPD, Cross-Polarization Discrimination), el comportamiento de la polarización cruzada en los canales degradados producida por el desvanecimiento de la señal, debido a caminos múltiples o por las precipitaciones, pueden limitar severamente el comportamiento del sistema. La cancelación adaptativa de la XPI (Cross-Polarization Interference, interferencia de polarización cruzada) es, por consiguiente, empleada usualmente. Los canceladores de interferencias de polarización cruzada (XPIC, Cross-Polarization Interference Cancelers) tradicionales se implementan como filtros transversales lineales interconectados, que hacen uso de la señal recibida polarizada ortogonalmente para suprimir la XPI.

Los actuales sistemas de reutilización de frecuencias con diversidad espacial de Alcatel emplean combinadores MiBS (Minimum Bit error rate Strategy, estrategia de mínima tasa de errores de bits) de FI y demoduladores de doble polarización con XPIC digitales. Aquí, se presenta una atractiva arquitectura para la nueva generación de sistemas con reutilización de frecuencias y/o diversidad espa-

cial. El receptor emplea dos antenas con polarización cruzada en diversidad. En cada polarización, las dos señales de polarización común en diversidad se convierten de RF a FI mediante dos osciladores locales sincronizados. Las señales de FI con polarización común se convierten coherentemente a banda base, donde se realizan simultáneamente tanto la combinación en diversidad como la cancelación de la XPI. Estas funciones se implementan mediante un FSE digital por cada rama en diversidad.

Los mismos demoduladores pueden usarse en sistemas de diversidad espacial convencionales (sin reutilización de frecuencias), proporcionando combinación en banda base de alta calidad. Pueden también emplearse en sistemas de reutilización de frecuencias sin diversidad espacial. En sistemas de reutilización de frecuencias con diversidad espacial, la estrategia propuesta reduce significativamente los costes y mejora el comportamiento, en comparación con la solución basada en dispositivos de combinación y de cancelación separados.

### ■ Arquitectura del Receptor

En sistemas con reutilización de frecuencias que utilizan diversidad espacial, las operaciones de combinación en diversidad y de cancelación de la XPI pueden realizarse mediante dispositivos separados, pero los receptores que se obtienen resultan que están por debajo del óptimo. Como es completamente intuitivo, combinadores de FI y filtros adaptativos para ecualizadores/XPIC con criterios de control independientes no son capaces de contrarrestar, de forma sinérgica, tanto el desvanecimiento de la señal debido a caminos múltiples, como la XPI. Además, la estrategia anterior requiere que las cuatro señales en diversidad con polarización cruzada sean convertidas coherentemente de RF a FI mediante cuatro osciladores locales sincronizados conjuntamente.

Una mirada más cercana al par de señales en diversidad con polarización común muestra que, cada una de ellas, es-



tá formada por una componente con polarización común (deseada), posiblemente afectada por la ISI, y una componente XPI procedente de la transmisión polarizada ortogonalmente. El receptor propuesto se basa en la observación de que las componentes XPI anteriores pueden utilizarse para cancelar las interferencias. Además, en este caso, la cancelación de la XPI puede realizarse usando el mismo filtro adaptativo que contrarresta el desvanecimiento de la señal, debido a caminos múltiples por medio de la combinación en diversidad. En otras palabras, utilizando el par de señales en diversidad con polarización común, pueden realizarse simultáneamente tanto la combinación en diversidad como la cancelación de la XPI.

La arquitectura del receptor se muestra en la **Figura 1**.

En cada polarización, las dos señales en diversidad recibidas se convierten de RF a FI mediante dos osciladores locales sincronizados. Las señales de FI con polarización común resultantes se convierten entonces coherentemente a banda base, donde tiene lugar el procesamiento de la señal.

La **Figura 2** muestra el diagrama de bloques del demodulador. Tanto la combinación en banda base como la cancelación de la XPI, son realizadas por un FSE digital por cada rama en diversidad. Las técnicas de ecualización espaciada fraccionalmente son muy atractivas para el comportamiento y la compacidad del receptor; ha sido propuesta una nueva y efectiva técnica de estabilización del FSE 4, 5, que proporciona una buena velocidad de convergencia y un comportamiento estable.

Una ventaja importante de la arquitectura del sistema propuesta es su flexibilidad. En efecto, el mismo demodulador puede utilizarse para sistemas de diversidad espacial convencionales (sin reutilización de frecuencias), sistemas con reutilización de frecuencias (sin contramedidas de diversidad) y sistemas con reutilización de frecuencias y con diversidad espacial. Además, cuando se compara con la solución basada en dispositivos de combinación y de cancelación separados, esta técnica es más barata y requiere un receptor significativamente menos complejo. Nótese que las propiedades de la ecualización espaciada fraccionalmente hacen al FSE insensible a errores en la fase de muestreo y asegura un filtrado óptimo en presencia de distorsión de canal y ruido, por lo que no son necesarios filtros de recepción adaptados.

Además, la solución propuesta proporciona un comportamiento superior en presencia tanto de un desvanecimiento de señal plano/selectivo, como de interferencias de polarización cruzada, como resultado de una implementación totalmente digital y de la adopción de un único criterio de control para combinación de diversidad y ecualización/cancelación de la XPI. También, ofrece posibilidades mejoradas de rechazo de interferencias del canal adyacente y del propio canal.

Los efectos de la reducción de calidad que resultan de la propagación y del ruido fueron estudiados en 2, y demostraron las excelentes prestaciones del combinador/cancelador conjunto en un ambiente realista. En la implementación presente del receptor, es necesario recuperar el sincronismo del reloj y de la portadora. El reloj se recupera mediante el detector de Gardner. Debería seleccionarse la mejor de las dos señales recibidas, en base a un criterio adecuado, y alimentarse al detector. Nótese que el comportamiento de los filtros espaciados fraccionalmente es insensible al instante de sincronización, de forma que sólo tiene que sincronizarse la frecuencia del reloj. Además, debido a los filtros espaciados fraccionalmente, el receptor con XPIC/combinador solamente requiere un ajuste grueso del retardo diferencial entre los dos caminos.

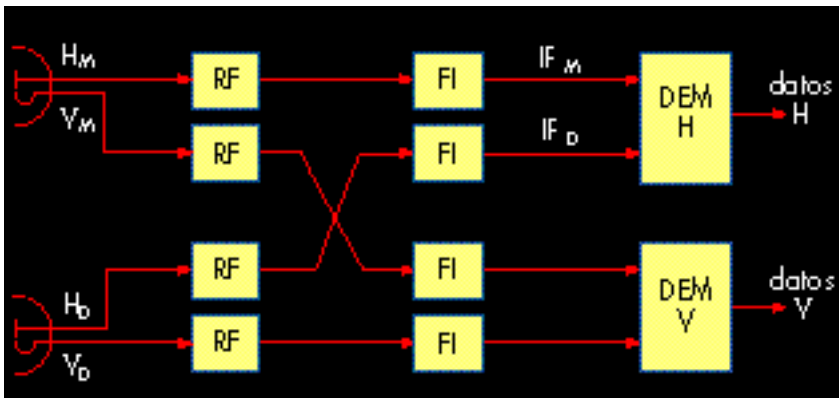


Figura 1 - Nueva estructura del receptor para diversidad espacial y reutilización de frecuencias con combinación en banda base y cancelación de XPI conjuntas.

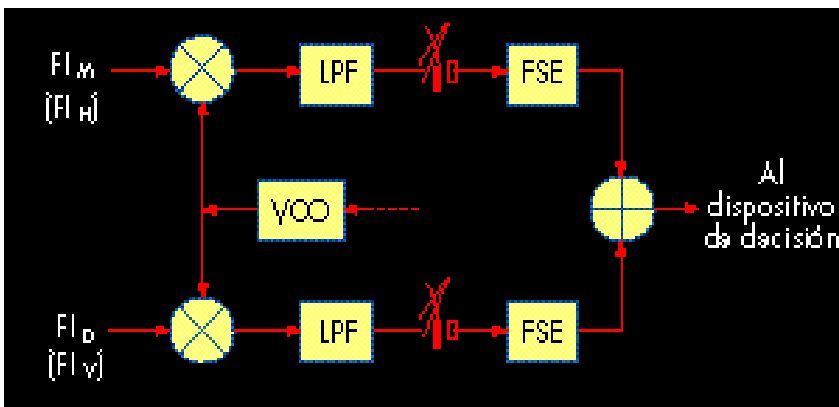


Figura 2 - Diagrama de bloques del demodulador; las entradas de FI son señales en diversidad con polarización común (en sistemas con reutilización de frecuencias y con diversidad espacial), o señales de doble polarización (en sistemas con reutilización de frecuencias sin diversidad espacial).

La sincronización de la portadora puede basarse en la conversión descendente sincrónica y en la demodulación coherente de las dos señales.

## ■ Comportamiento de la Combinación/Cancelación del Receptor

Consideremos la sección de polarización horizontal (H-Pol) del receptor de la **Figura 1**. Cada una de las señales H-Pol recibidas por las antenas principal y en diversidad están formadas por una componente con polarización común (deseada) y una componente de XPI procedente de la transmisión polarizada ortogonalmente. Los FSE de las ramas en diversidad actúan para producir componentes XPI de salida de la misma amplitud y de fase opuesta, cancelando de este modo las interferencias de polarización cruzada. De hecho, cada demodulador (por ejemplo DEM H ó DEM V, como se muestran en la **Figura 1**) está preparado para recibir una de las dos componentes (H ó V), pero recibe la otra componente a través de un camino diferente. De esta forma gira la fase y ajusta la amplitud de esta segunda componente para cancelar la interferencia no deseada. El comportamiento de cancelación de la XPI depende de la amplitud relativa y de la diferencia de fases entre las componentes de la XPI de los canales principal y en diversidad. Consecuentemente, despreciando el ruido térmico y la dispersión de canal, el único punto de funcionamiento potencialmente crítico está dado por:

$$\left| \frac{VH_m}{HH_m} \right| / \left| \frac{VH_d}{HH_d} \right| = \left| \frac{VH}{HH} \right|, \quad VH_m - HH_m = VH_d - HH_d \quad (1)$$

donde significa la fase de.

De este modo, cuando los caminos principal y en diversidad tienen el mismo nivel relativo y la misma fase relativa de interferencia, es muy difícil discriminar la señal deseada. Esta condición puede producirse en presencia de atenuación y despolarización.

El comportamiento del receptor en las proximidades de este punto de funcionamiento se ha calculado suponiendo que  $HH_m = HH_d = VH_m$ .

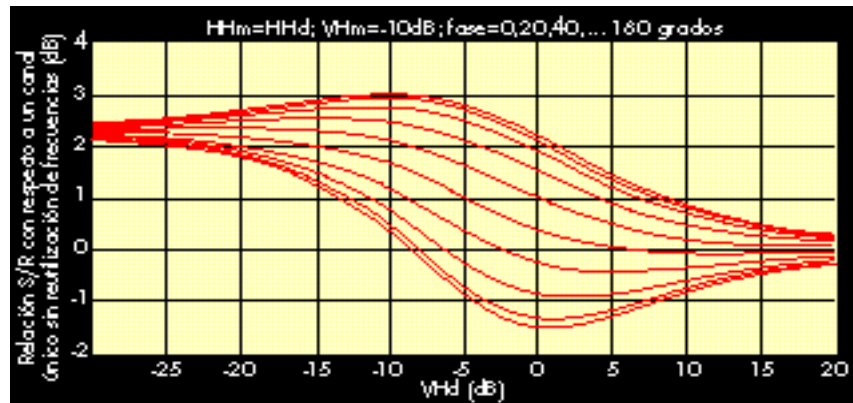


Figura 3 - Comportamiento de la relación S/R en función del nivel de la XPI del canal en diversidad (XPD = 10 dB en el canal principal; se supone la misma atenuación de la polarización común en las ramas en diversidad).

Algunos resultados numéricos se muestran en la **Figura 3**, que supone un desvanecimiento de señal no selectivo y  $HH_m = HH_d$ . Se da el comportamiento del receptor en función del nivel de la XPI en el canal en diversidad. Como se esperaba, el comportamiento de la relación señal/ruido (S/R), con respecto al caso de un canal único sin reutilización de frecuencia, depende fuertemente de la relación de potencias XPI/ruido, mientras que es bastante independiente del nivel de desvanecimiento de la señal con polarización común. Nótese que, como puede verse en la **Figura 3**, el punto de funcionamiento más crítico en términos de comportamiento del receptor es ligeramente diferente de la condición (1); corresponde a la situación en que el receptor descarta una de las dos señales en diversidad.

Además, de la figura podrían tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Moviéndose hacia el lado izquierdo (valores bajos de VHd), el sistema tiende a comportarse como un combinador puro, mostrando una ganancia característica de 2,5 dB.
- Moviéndose hacia el lado derecho (valores altos de VHd), el sistema tiende a comportarse como un cancelador puro (ganancia de 0 dB).
- La zona de transición (es decir, la parte central de la gráfica) muestra un margen limitado de comporta-

mientos, dependiendo de los diferentes valores de la fase de la XPI. Para algunos valores de fase, existe una ligera degradación (de alrededor de 1 dB) en la relación S/R, con respecto a un canal único sin reutilización de frecuencias, pero la probabilidad de un suceso de este tipo es muy pequeña.

De las discusiones anteriores, el comportamiento del receptor en condiciones de precipitaciones se degrada debido a la reducción en la XPD solamente para pequeñas atenuaciones de la polarización común.

## ■ Implementación y Medidas

### Implementación

Los principales objetivos del proyecto eran conseguir bajos costes y consumos de potencia, y un tamaño más pequeño. Estos objetivos se han conseguido mediante el rediseño de los circuitos analógicos y el desarrollo de tres nuevos circuitos ASIC. La tecnología adoptada es HCMOS de 0,5  $\mu$ m y 3,3 V.

En el modulador, una única pastilla realiza la decodificación CMI (Coded Mark Inversion, inversión de marcas codificadas), la regeneración de la SDH con inserción del tráfico lateral, la multiplexación para la protección del puntero de SDH, la codificación multinivel y el filtrado con conforma-

ción. Esta pastilla contiene 180.000 puertas equivalentes.

El demodulador está implementado en una única placa de 220x230 mm., en la que puede enchufarse una placa hija de 85x200 mm. para proporcionar las funciones opcionales del combinador en banda base/XPIC. Para el demodulador se han desarrollado dos pastillas. La primera, que tiene 280.000 puertas equivalentes, realiza las funciones de ecualización espaciada fraccionalmente y de combinación/cancelación; la segunda, con 300.000 puertas equivalentes, realiza la decodificación multietapa. Incluye dos decodificadores de Viterbi de 64 estados, el regenerador de la SDH y el codificador CMI. Un microprocesador incorporado a la placa asegura una configuración y un control sencillos.

El reducido consumo de energía ha hecho posible el utilizar una estructura ligera sin disipador de calor. Consecuentemente, un armazón de ETSI (European Telecommunications Standards Institute) puede incluir cuatro módems (completos con el combinador/XPIC), cuatro fuentes de alimentación y dos conmutadores de 2x2 Mbit/s.

### Medidas

La **Figura 4** muestra el BER (Bit Error Rate, proporción de errores en los bits) como una función de la relación portadora/ruido (P/R) para am-

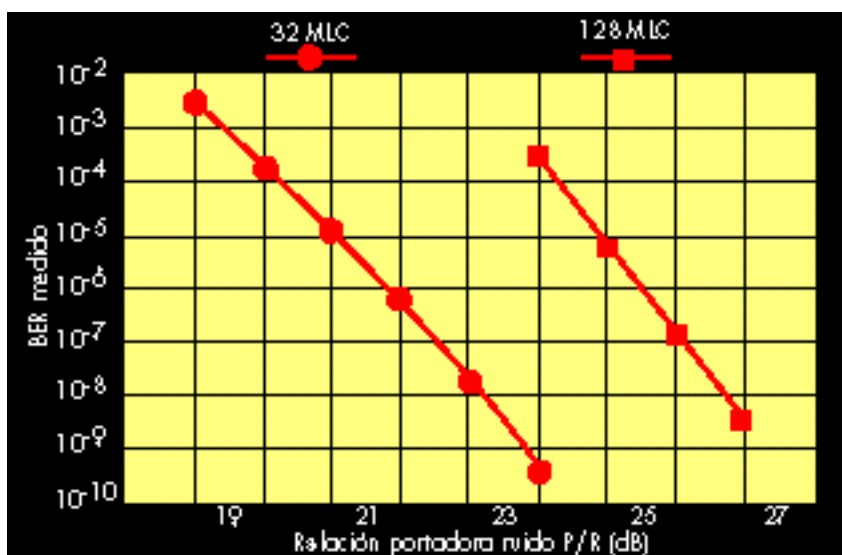


Figura 4 - BER medido en función de la relación P/R.

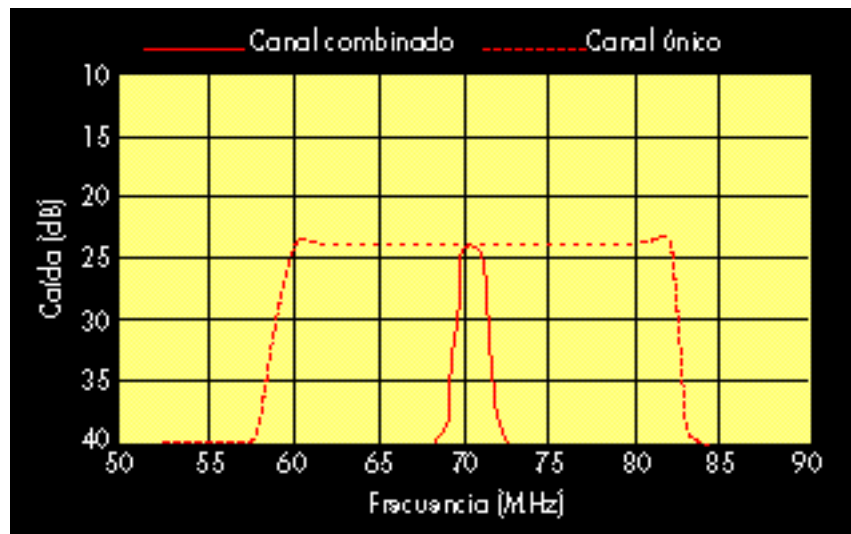


Figura 5 - Signaturas de un canal único y de canales combinados.

bas modulaciones 32-QAM (código 4.7/7) y 128-QAM (código 6.3/7).

Para evaluar el comportamiento como una función del desvanecimiento de señal selectivo, la signatura (fase mínima para un BER = 10<sup>-3</sup>) de la modulación 32-QAM se muestra en la **Figura 5**. Para evaluar el combinador en banda base, esta figura ilustra también la signatura medida en el camino principal, mientras que el camino en diversidad está afectado por una caída fija de 30 dB a 700 MHz. La reducción de área es notable. Al mismo tiempo, esta estructura realiza la cancelación de la polarización cruzada.

En el caso de combinación y cancelación de interferencias conjuntas, debe analizarse la reducción de calidad durante la propagación. Algunas medidas se muestran en la **Figura 6**. El eje y muestra la relación entre la señal deseada y la señal que interfiere, correspondiente a un BER de 10<sup>-3</sup>. Las cuatro señales están libres de distorsión y las señales con polarización cruzada están atenuadas para obtener la relación portadora/interferencia (P/I) deseada. Para evaluar el caso peor, suponemos el mismo valor de la relación P/I para ambos canales, principal y en diversidad. Sea M la fase relativa entre la señal deseada y la señal que interfiere en el canal principal, y D la fase relativa entre la señal deseada y la señal que interfiere en el canal en diversidad. El eje x en la **Figura 6** muestra la diferencia M - D. Nótese que el comportamiento del cancelador es muy bueno si la diferencia de fases es lo suficientemente grande, mientras que se degrada a medida que la diferencia de fases se aproxima a cero. El impacto de esta situación sobre el comportamiento del sistema ha sido estudiado en 2, donde se determinó que la perturbación producida por este fenómeno es despreciable.

Sin embargo, esta medida da solamente una idea preliminar del comportamiento del combinador/cancelador y deben realizarse más trabajos en

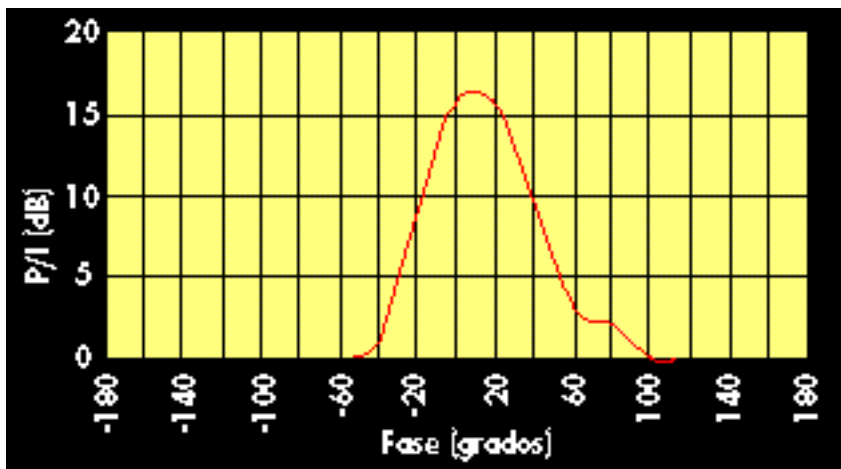


Figura 6 - Supresión de las interferencias en función de la fase relativa.

el futuro para definir un conjunto de pruebas estándar.

## ■ Conclusiones

Este artículo ha descrito un nuevo módem mejorado para sistemas de radio SDH que utiliza las técnicas más avanzadas de codificación de canal y de filtrado adaptativo. Sus principales características son:

- Eficiente esquema de codificación multinivel de velocidad ajustable, que combina flexibilidad con altas prestaciones.
- FSE, que utiliza un nuevo algoritmo de estabilización para contrarrestar los fenómenos de propagación selectiva.
- Mediante la utilización de la estructura de espaciado fraccional, se consigue la cancelación de interferencias de polarización cruzada, la combinación en banda base y la combinación/cancelación conjuntas.

La tecnología existente en la actualidad permite utilizar la integración en gran escala para reducir el consumo de energía. Las principales características del sistema son:

- Cuatro módems son alojados en un armazón estándar, con fuentes de alimentación y un conmutador de 2x2 Mbit/s.
- El XPIC/combinador se implementa como una placa hija opcional enchufable.

Además, se han presentado un conjunto de medidas de la calidad de funcionamiento.

## ■ Referencias

- 1 R. Pellizzoni, P. Balducci, A. Spalvieri: "An Enhanced Modemulator for SDH Radio Systems", ECRR '98, págs. 263-267, Bergen, Noruega, Junio 1998.

- 2 C. Luschi, F. Guglielmi, A. Spalvieri: "Cross-pol Interference Cancelling and Baseband Combining by Diversity Reception", ECRR '96, págs. 221-226, Bolonia, Italia, Mayo 1996.

- 3 T. Uyematsu, K. Sakaniwa: "A New Tap-Adjustment Algorithm for the Fractionally Spaced Equalizer", GLOBECOM '85, págs. 1420-1423, Diciembre 1985.

- 4 A. Spalvieri, C. Luschi, R. Sala, F. Guglielmi: "Stabilizing the Fractionally Spaced Equalizer by Prewhitening", GLOBECOM '95, volumen 1, págs. 93-97, Singapur, Noviembre 1995.

- 5 F. Guglielmi, C. Luschi, A. Spalvieri: "Metodo e circuiti di equalizzazione a spaziatura frazionata", patente italiana número MI95 A 000355, Febrero, 1995.

**Giovanni Guidotti** es Jefe de los laboratorios de desarrollo de equipos de microondas, dentro de la Transmission Systems Division de Alcatel en Concorezzo, Italia.

**Angelo Leva** es Ingeniero Jefe para aplicaciones de procesamiento digital de señales, dentro de la Transmission Systems Division de Alcatel en Concorezzo, Italia.

**Roberto Pellizzoni** es Jefe del laboratorio de equipos digitales para aplicaciones de microondas, dentro de la Transmission Systems Division de Alcatel en Concorezzo, Italia.

# ABREVIATURAS DE ESTE NÚMERO

<b>A</b>		<b>H</b>		<b>R</b>	
ACI	Interferencia del Canal Adyacente	H-pol	Sección de Polarización Horizontal	RACH	Canal Acceso Aleatorio
ADC	Convertidor Analógico-Digital	HR	Media Velocidad	RAP	Perfil de Acceso Radio en el Bucle Local
ADM	Multiplexor Adición/Extracción	HTML	Hypertext Markup Language	RAS	Servicio Acceso Remoto
ADSL	Bucle de Abonado Digital Asimétrico	HTTP	Protocolo Transferencia Hipertexto	RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
AFA	Asignación de la Frecuencia Adaptativa	<b>I</b>		RF	Radio Frecuencia
AIU	Unidad Interfaz Aire	ICC '92	Conferencia Internacional sobre Comunicación	RNRT	Red Nacional de Investigación en Telecomunicaciones
AMPS	Sistema Telefónico Móvil Avanzado	ICNIRP	Comisión Internacional sobre Protección de la Radicación No-Ionizante	RSC	Central Estación Radio
AMR	Velocidad Múltiple Adaptativa	IDUs	Unidades de Interior	RST	Terminal Estación Radio
AMU	Unidad de Gestión Aire	IEEE	Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos	<b>S</b>	
ASIC	Circuito Integrado de Aplicación Específica	IF	Frecuencia Intermedia	SAGE	Grupo de Expertos Seguridad Algoritmos
ATM	Modo de Transferencia Asíncrono	IFPEI	Identidad de la Parte Fija Internacional	SAR	Tasa de Absorción Específica
AuC	Centro de Autenticación	IMEI	Identidad de Equipo Móvil Internacional	SCC	Centro de Control de Satélites
<b>B</b>		IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales	SCPC	Un Canal por portadora
BBRA	Acceso Radio de Banda Ancha	IP	Internet/Protocolo	SDH	Jerarquía Digital Síncrona
BCCH	Canal Control Multidifusión	ISI	Interferencia entre Símbolos	SKT	Terminal de Abonado
B-CDMA	Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha	ISPs	Proveedores Servicio Internet	SMC	Centro de Gestión de Servicio
BCH	Bose, Chaudhuri, Hocquenghem	<b>L</b>		SMG	Grupo Especial de Móviles
BER	Tasa de Error por Bit	L2TP	Protocolo Túnel Capa 2	SN	Nodo de Servicio
BRA	Acceso Velocidad Básico	LAN	Red de Área Local	SNMP	Protocolo Único de Gestión de Red
BS	Estación Base	LMDS	Servicios Locales de Distribución Multipunto	SNR	Tasa Señal Ruido
BSC	Controlador Estación Base	<b>M</b>		SOHO	Pequeña Oficina en Oficina/Hogar
BSS	Subsistema Estación Base	MAC	Control de Acceso Medio	SONET	Red Óptica Síncrona
BTS	Estación Base Transceptora	MCC	Centro de Control de Misión	SQSG	Grupo Estratégico para Calidad de la Voz
<b>C</b>		MiBS	Estrategia de Mínima Tasa de Error de Bits	<b>T</b>	
C/I	Tasa Portadora a Interferencia	MLC	Codificación Multinivel	T&C	Telemetría y Comando
C/N	Tasa Portadora a Ruido	MOS	Puntuación Media de Opinión	TD	División de Tiempo
CBR	Velocidad Constante de Bit	MPMP	Microondas Punto-a-Multipunto	TDD	División Dúplex de Tiempo
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código	MS	Estación Móvil	TDM	Multiplexación por División en el Tiempo
CENELEC	Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica	MSC	Centro Conmutación de Móviles	TDMA	Acceso Múltiple por División en el Tiempo
CGS	Segmento Control Terrestre	MSE	Error Cuadrático Medio	TFO	Operación Sin Tándem
CMI	Inversión de Marcas Codificadas	MU	Unidad de Gestión	TMN	Red de Gestión de Telecomunicaciones
CPE	Equipo en Residencia Usuario	<b>N</b>		TT&C	Posicionamiento, Telemetría y Comando
CTS	Sistema de Teléfono Inalámbrico	NCP	Protocolo Control de Red	<b>U</b>	
<b>D</b>		NE	Emulador de Red	UBR	Velocidad no especificada de Bit
DAC	Convertidor Digital Analógico	NMS	Sistema de Gestión de Red	UMTS	Sistema de Telecomunicación Móvil Universal
DAVIC	Comité Video Audio Digital	<b>O</b>		UNI	Interfaz Usuario/Red
DCA	Asignación Canal Dinámico	O&M	Operación y Mantenimiento	USO	Obligación de Servicio Universal
DCCCH	Canal Dedicado de Control	OAM	Operación, Administración y Mantenimiento	UTRA	Acceso Radio Terrestre
DCS	Sistema Comunicación Digital	ODU	Unidad de Exterior	<b>V</b>	
DECT	Telefonía Digital Inalámbrica Mejorada	OMC	Centro Operaciones y Mantenimiento	VAD	Detección de la Actividad de Voz
DTCH	Canal Dedicado de Tráfico	OMS	Estación OAM	VBD	Datos en Banda Vocal
DTX	Transmisión Discontinua	<b>P</b>		VHE	Entorno de Hogar Virtual
DVB	Difusión de Video Digital	PBX	Centralita Privada de Abonado	VLSI	Integración a muy Gran Escala
<b>E</b>		PC	Ordenador Personal	<b>W</b>	
EFR	Velocidad Nominal Mejorada	PCH	Canal de Rastreo	WAN	Red de Área Amplia
ELSA	Software Electromagnético para Antenas	PCS	Sistema de Comunicación Personal	WAP	Protocolo Aplicación Inalámbrica
ETSI	Instituto Europeo de Normalización de Telecomunicaciones	PIN	Número de Identificación Personal	WBS	Estación Base Radio
EuMC	Conferencia Europea Microondas	PLMN	Red Móvil Pública Corporativa	W-CDMA	Acceso Múltiple en Banda Ensanchada por División de Código
<b>F</b>		PMP	Punto-a-Multipunto	WLL	Bucle Local Radio
FACH	Canal de Acceso Adelante	POP	Punto de Presencia	WWBS	Estación Base de Radio de Banda Ancha
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones	POTS	Servicio Telefónico Tradicional	WWTS	Terminales de Abonado WW
FDD	Duplexación por División de Frecuencia	PPP	Protocolo Punto-a-Punto	WWW	World Wide Web
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencias	PPTP	Protocolo Túnel Punto-a-Punto	<b>X</b>	
FIR	Respuesta de Impulso Limitado	PSTN	Red Telefónica Conmutada Pública	XBS	Estación Base Central
FMC	Convergencia Fijo/Móvil	PYME	Pequeña y Mediana Empresa	XPD	Discriminación de Polarización Cruzada
FOX	Extensor de Fibra Óptica	<b>Q</b>		XPI	Interferencia de Polarización Cruzada
FP	Parte Fija	QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura	XPIC	Canceladores de Interferencias de Polarización Cruzada
FR	Velocidad Nominal	QoS	Calidad de Servicio		
FRA	Asignación de Frecuencias				
FRAD	Dispositivo de Acceso Retransmisión de Tramas				
FSE	Ecuilibrador Espaciado Fraccionalmente				