

58  
2es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PCS (SISTEMAS DE COMUNICACION PERSONAL)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA AREA ELECTRICA ELECTRONICA PRESENTA

IVONNE ESTRADA GARDUÑO

Director de Tesis: Ing. Gustavo Adolfo Olivos Rojas

CIUDAD UNIVERSITARIA 1988



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

259206



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

Página

INTRODUCCIÓN .....	1
--------------------	---

## CAPÍTULO I

ESTRUCTURA CELULAR .....	5
DISTRIBUCIÓN DE LAS LLAMADAS EN PROCESO .....	9
DIVISIÓN CELULAR .....	24
SISTEMAS CELULARES .....	35
MEDICIONES DE PROPAGACIÓN Y MODELOS PARA CANALES INALÁMBRICOS .....	44
TRÁFICO DE SEÑALIZACIÓN GENERADO POR LAS COMUNICACIONES PERSONALES .....	57

## CAPÍTULO II

NORMATIVIDAD .....	67
TDMA .....	72
IS-54 .....	78
GSM .....	80
CDMA .....	86
SISTEMA IS-95 .....	101

## CAPÍTULO III

RADIOLOCALIZACIÓN (PAGING) .....	104
----------------------------------	-----

## CAPÍTULO IV

TECNOLOGÍAS DE LOS SATÉLITES MÓVILES .....	116
--	-----

## CAPÍTULO V

LAN COMUNICACIONES INALÁMBRICAS .....	122
---------------------------------------	-----

## CAPÍTULO VI

ACCESO WIRELESS LOCAL LOOP (WLL) .....	135
--	-----

CAPÍTULO VII

APLICACIONES ALTERNAS ..... 141

CAPÍTULO VIII

COMUNICACIONES INALÁMBRICAS EN MÉXICO ..... 146

CAPÍTULO IX

ESTRATEGIAS PCS ..... 153

CAPÍTULO X

SWITCHING (CONMUTACIÓN) ..... 159

CAPÍTULO XI

SISTEMAS IMPLEMENTADOS, APLICACIONES Y EQUIPOS ..... 164

CAPÍTULO XII

DISEÑO ..... 182

CONCLUSIONES ..... 188

APÉNDICE ..... 196

GLOSARIO ..... 214

BIBLIOGRAFÍA ..... 218

## INTRODUCCIÓN.

### LAS TECNOLOGÍAS DEL FUTURO EN LA ESFERA DE LAS TELECOMUNICACIONES.

El mercado del futuro estará dominado por cuatro tecnologías de convergencia:

- \* celular,
- \* satélite móvil,
- \* servicios de comunicación personal (PCS, *Personal Communication Service*), y
- \* mensajes avanzados

Estas tecnologías inalámbricas combinadas con servicios interactivos de televisión por cable, serán el medio de comunicación de la generación siguiente.

"Celular" es el término comúnmente utilizado para designar la operación de telefonía en el espectro de frecuencias de 800 MHz, mientras que una frecuencia de transmisión de 1.9 GHz es conocido como PCS.

Con PCS se espera ofrecer a los usuarios viajar de un lugar a otro de manera directa. Más allá de esto, los carriers de PCS buscan emular todas las características y servicios ofrecidos por los carriers de línea, así como, desarrollar nuevas capacidades para tener un mundo inalámbrico.

Aunque algunos tipos de servicio celular están operando en aproximadamente 95% de los E.U., la penetración actual dentro de este mercado es del 10% al 12%.

### NORMAS.

La primer llamada telefónica se realizó en 1876, 121 años después, la tecnología continúa con la reforma en las comunicaciones. Con la tecnología se han mejorado las características del teléfono y la calidad de voz. Con el movimiento del celular de analógico a digital y las numerosas normas seguidas por los sistemas PCS, las normas han llegado a ser demasiado importantes en el diseño de los teléfonos. En la industria inalámbrica, con la entrada de los sistemas PCS, la tecnología se ha saturado de acrónimos y normas. La habilidad de trabajar con una o más normas colocará diseños nuevos y restara costos debido a la necesidad de incluir más de un transmisor de radio en cada teléfono.

Habrá un énfasis en las tecnologías Acceso Múltiple de División de Código (CDMA, *Code Division Multiple Access*) y Sistema Global para la Movilidad (GSM, *Global System for Mobility*) de modo dual, al igual que una necesidad de teléfonos con características avanzadas.

Con la evolución de las normas viene la capacidad de ofrecer mayor número de características. Algunas características que ofrecen las compañías son:

- \* restricción de llamadas,
- \* forma de Identificación de llamada (ID, *Identification*), para impedir la entrada de llamadas no deseadas como las largas distancias,
- \* transmisión discontinua, y
- \* teléfono en modo de descanso para ahorrar batería

## MANEJO DE DATOS.

La transmisión de datos que permite enviar mensajes cortos a los teléfonos inalámbricos puede ser la característica más sobresaliente con la que cuentan los teléfonos inalámbricos. Estas características avanzadas como lo son los mensajes cortos de texto y el correo de voz, incrementarán la flexibilidad de los dispositivos.

Se espera que la tecnología de paging y telefonía converjan, para que los teléfonos ofrezcan las características que paging distribuye actualmente.

## PESO.

Desde que los primeros teléfonos inalámbricos fueron diseñados, los fabricantes se han encaminado a crear teléfonos más pequeños para facilitar la portabilidad.

La batería juega un papel importante en el diseño del tamaño; ya que se requiere que la vida de la batería sea grande también se requiere de una batería grande.

Para poder tener el tamaño que se quiere en la generación siguiente de teléfonos, se necesita la cooperación de los fabricantes de teléfonos y baterías. Los carriers, fabricantes de teléfonos, fabricantes de baterías y otros jugadores de la industria necesitan trabajar en conjunto para desarrollar productos que sean atractivos en todas las divisiones del mercado. Los carriers necesitan ofrecer servicios y características que los consumidores quieran, mientras que los fabricantes necesitan ofrecer productos de calidad que puedan entregar las características deseadas.

Una de las características nuevas que la generación siguiente de teléfonos poseerá es la habilidad de permanecer en modo de descanso, para conservar potencia y añadir vida a la batería. También se está trabajando para poder reemplazar la batería durante una llamada sin que se tenga una caída de la llamada.

## SEGURIDAD.

El uso ilegal de los servicios inalámbricos concierne a los fabricantes y al usuario final. La adición de Números de Identificación Personal (PIN, *Personal Identification Number*) y los números de autenticación para activar los teléfonos ayudan a detener el uso ilegal. Los teléfonos de la generación siguiente, por ejemplo el sistema PCS 1900, añade seguridad

utilizando tarjetas de Módulo de Identificación del Usuario (SIM, *Subscriber Identity Module*); el sistema GSM Europeo ya utiliza estas tarjetas. En el sistema GSM se coloca la información sobre una tarjeta inteligente.

Los algoritmos de seguridad están programados dentro de la tarjeta, y se asigna un número PIN a cada tarjeta, la cual debe ser enterada y responder exitosamente antes de que cualquier llamada se complete. Después de que el PIN correcto es enterado, el centro de autenticación envía y encripta la demanda al SIM, y únicamente el SIM correcto regresará la respuesta correcta. Esto asegura que las tarjetas sean reportadas como robadas cuando no se tiene autorizado su uso. La tarjeta SIM puede ser utilizada con cualquier tecnología.

## MERCADO.

En el desarrollo de teléfonos más personalizados se crean otros cambios. Los teléfonos deben tener uso sencillo en la interface y en las funciones, para que puedan ser aceptados por el consumidor, el cual no entiende las diferencias en la tecnología utilizada. Otra clave para entrar al mercado consumidor son los teléfonos de activación fácil.

Un aspecto que el diseño de teléfonos necesita observar en el mercado consumidor es el tamaño del teléfono. Los consumidores se han identificado con un cierto nivel de confort con los teléfonos que se extienden del oído hacia la boca y que utilizan el tamaño del teléfono tradicional de línea.

## TENDENCIAS.

Actualmente más jugadores del mercado inalámbrico han formado alianzas para utilizar tecnologías nuevas.

Por ejemplo, compañías como Bell Atlantic Nynex Mobile en E. U. implementan transmisión de datos PCS, este es un producto con cuatro facetas de línea:

- \* fax.
- \* circuitos de conmutación de datos.
- \* paquetes de datos (CDPD, *Cellular Digital Packet Data*), y
- \* entrada de tecnologías de modem mancomunadas

El servicio AT&T Wireless Service es un servicio inalámbrico para paquetes de datos, el cual actualmente tiene disponibilidad comercial en paquetes de datos digitales celular en 12 mercados. El servicio inalámbrico para paquetes de datos se basa en una norma abierta que permite una cobertura en cualquier lugar donde se tenga cobertura celular de voz, y es ideal para transacciones breves incluyendo:

- \* mensajes cortos.
- \* telemetría, y
- \* sesiones interactivas

Compañías como Ericsson y Sprint han combinado tecnologías para tener en operación el primer sistema en línea de E.U., Sprint Spectrum, de American Personal Communications. Ericsson contribuyó con la tecnología digital GSM; Sprint Spectrum es líder en el mercado de la división celular, en áreas con población de alta densidad; el producto de esta unión es un sistema que ofrece características avanzadas como:

- \* llamado ID,
- \* bloqueo de llamada,
- \* transmisión y recepción de fax, y
- \* mensajes de texto.

## CAPÍTULO I

## ESTRUCTURA CELULAR

El sistema telefónico móvil utiliza una estructura de células hexagonales "panal", con una estación base al centro de cada célula la cual provee el radio de cobertura de la célula y la conecta a la Red Pública Telefónica (PSTN, *Public Switched Telephone Network*). El modelo de células hexagonales proporciona mejor cobertura de área. En la fig. 1 se muestran 3 posibles métodos de cobertura en un área particular.

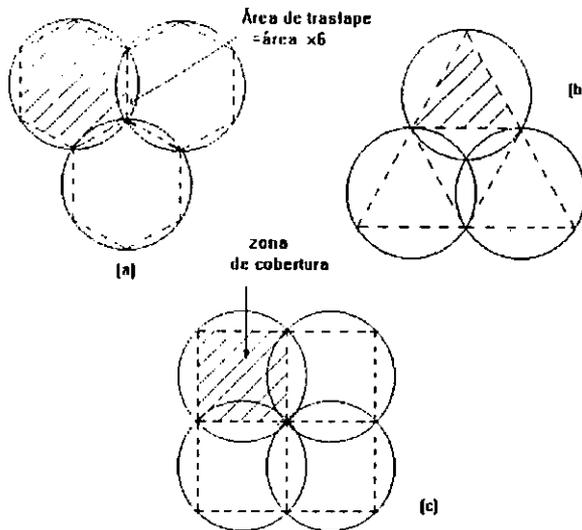


Fig. 1 Estructuras celulares. (a) Hexágono regular; (b) Triángulo regular; (c) Cuadrado regular.

En la tabla 1 se muestran las características de los tres principales tipos de células; en donde se observa que la célula hexagonal proporciona más ventajas que las otras dos estructuras y por lo tanto es la más utilizada; sin embargo, es conveniente el uso de una estructura triangular únicamente en áreas de difícil propagación las cuales requieren de un traslape profundo de las zonas de radio.

Célula	Distancia del centro	Zona de cobertura	Área de traslape	Ancho de traslape	Número mínimo de frecuencias
Triángulo	$r$	$\approx 1.3 r^2$	$\approx 3.7 r^2$	$r$	6
Cuadrado	$r\sqrt{2}$	$2 r^2$	$\approx 2.3 r^2$	$0.59 r$	4
Hexágono	$r\sqrt{3}$	$\approx 2.6 r^2$	$\approx 1.1 r^2$	$0.27 r$	3

Tabla 1. Características de las tres estructuras celulares.

El movimiento del usuario (roaming) dentro de las células, la comunicación con la estación base en la cancelación de células de salida y la comunicación con la estación base de las células entrantes se conoce como "Handoff" en Norteamérica y "Handover" en Europa. Cada estación base transmite una frecuencia diferente a la célula colindante. El handoff es realizado cuando la señal recibida de la estación base es muy baja para sobrepasar el umbral. En el límite entre dos células el usuario se encuentra bajo la operación de dos o tres estaciones base, y el enlace de ida y regreso puede pasar entre las estaciones base, la recepción del usuario móvil experimenta cambios en la fuerza del campo dependiendo del medio ambiente.

No existen realmente células hexagonales, la señal en el contorno de cada célula no produce un modelo preciso como los de la figura 1, sino que se encuentra distorsionado y es de la forma de un rompecabezas.

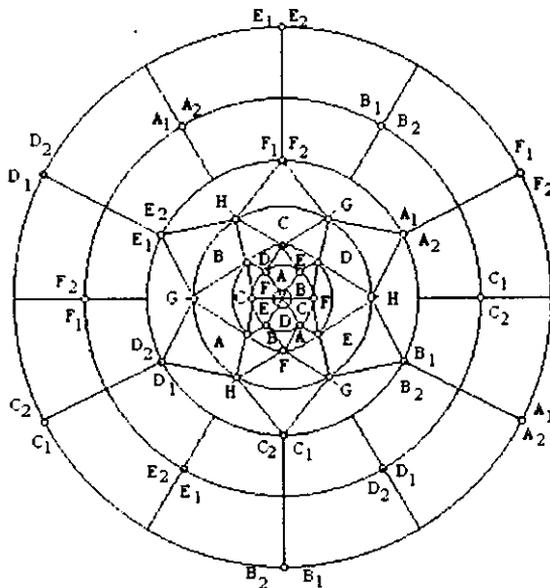


Fig. 2 Ejemplo de un plan nominal celular concéntrico.

Se puede decir que las células nominales son hexagonales. El diámetro de una célula nominal varía dependiendo de la densidad de tráfico. El centro de una ciudad es la más poblada con decrementos graduales en la población de los alrededores; esto lleva a que las células tengan un diámetro pequeño, con incrementos graduales cuando se mueven hacia el exterior. Un ejemplo del plan de células nominales se muestra en la fig.2, en la cual se indica la localización de las estaciones base, las letras representan los grupos de frecuencia. Este es un modelo circular concéntrico, donde las estaciones base se localizan en las esquinas del punto de la célula (6 por círculo).

Para que el ancho de banda disponible se utilice eficientemente y se incremente el número de usuarios se utiliza un mecanismo de reutilización de frecuencia el cual es construido dentro de la estructura celular.

En el diagrama de la fig. 3, las células se encuentran agrupadas dentro de grupos de siete, cada grupo tiene el mismo diseño de las siete estaciones base de frecuencia. La distancia entre diferentes estaciones base utilizando la misma frecuencia es  $D$ , la cual en este caso es 4.6 veces el radio de la célula  $R$ .

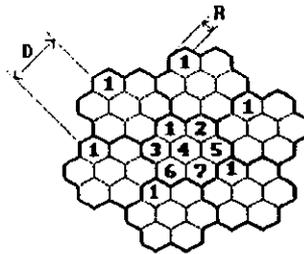


Fig. 3 Reutilización de frecuencia utilizando una estructura celular hexagonal.  $D/R = 4.6$ .

Se verifica la fuerza de la señal en el contorno de cada célula dentro de toda el área del sistema para evitar que la señal se deforme, y que dos llamadas se interfieran. Nótese que cada célula puede utilizar únicamente un séptimo de los canales disponibles dentro del sistema. Existe una relación entre la interferencia y la capacidad del canal. Si el número de células en el modelo se incrementa, la distancia entre estaciones base de idéntica frecuencia será muy grande. La interferencia cocanal correspondiente disminuirá. Desafortunadamente, la capacidad del sistema disminuirá debido a que el número de canales por célula es:

$$\frac{\text{Número total de canales por repetidor}}{\text{Número de células dentro del repetidor (estaciones base)}}$$

Para una célula hexagonal, el número de células dentro del modelo repetidor pueden ser únicamente 3, 4, 7, 9, 12 y múltiplos de estos valores. El número de siete células es el más utilizado en los sistemas de radio celular debido a la degradación por la interferencia cocanal y a la capacidad del canal.

La estructura de células pequeñas ha evolucionado por dos razones principales:

- a) el incremento en el límite de la potencia disponible
- b) incrementar la capacidad

Las estaciones base móviles tienen gran potencia de salida y por lo tanto un radio de cobertura de 50 km o más, el movimiento de los teléfonos móviles está restringido a la distancia de la trayectoria por únicamente unos cientos de metros. Por ejemplo, una transmisión con una potencia de 5 mW puede realizarse de manera confiable en una distancia de 300 m. Las células de un tamaño de menos de 1 km de radio se denominan microcélulas, y proporcionan una gran capacidad en el sistema. El incremento en la capacidad del canal es inversamente proporcional al cuadrado del radio de una microcélula. Reduciendo el radio de una célula de 8 km a 150 m se incrementa la capacidad en la red por un factor de más de 2500. La capacidad se puede aumentar mediante la división de la célula. Como el tamaño de la célula disminuye, la distancia entre las estaciones base de idéntica frecuencia también decrece. Esto puede ser compensado por el control de potencia radiada de la estación base y/o la estación móvil. Un proceso para reducir la interferencia cocanal es utilizar el contorno de seis células con antenas direccionadas en cada estación base. La mayoría de las organizaciones de telecomunicaciones han optado por FM analógico para microcélulas digitales de radio móvil.

Los modelos de repetidores son necesarios para altas demandas de tráfico en áreas donde las células no adyacentes pueden interferir con otras. Cada célula es servida por una estación base al centro y ayudada en el tráfico con antenas direccionales y más canales de radio. Utilizando una antena direccional se soluciona el problema de las señales de radio sombreadas "shadowing", mediante tres antenas alternadas en las esquinas de la célula.

Una característica de las redes de radio celular es su habilidad para satisfacer los incrementos de demanda, ya que utilizan más canales de radio y antenas dentro de la célula y por lo tanto se disminuye el tamaño de la célula. Únicamente un número limitado de canales de radio pueden estar disponibles en una célula al mismo tiempo, y esto limita el número de conversaciones telefónicas simultáneas. El número de canales en una célula es determinado por la fórmula de Erlang.

Cuando el tamaño del sistema se satura, son necesarias estaciones radio base adicionales para más canales, reduciendo el tamaño de la célula e incrementando la reutilización de frecuencias; lo cual es realizado sin deteriorar la calidad de la voz. La mezcla de técnicas analógicas y digitales presenta problemas en la transición. Las frecuencias de operación para los sistemas analógicos y digitales deben ser diferentes para no ocasionar una interferencia cocanal excesiva.

## DISTRIBUCIÓN DE LAS LLAMADAS EN PROCESO.

### ARQUITECTURA.

Las principales entidades funcionales en una red celular son:

- \* Estaciones de Usuarios Celulares (CSSs, *Cellular Subscriber Stations*).
- \* Estaciones Base (BSs, *Base Stations*).
- \* Centros de Conmutación Móvil (MSCs, *Mobile Switching Centers*).
- \* Registros de Localización Local (HLRs, *Home Location Registers*).
- \* Registros de Localización de Visitantes (VLRs, *Visitor Location Registers*).

En la fig.4 se muestra la configuración de una red celular.

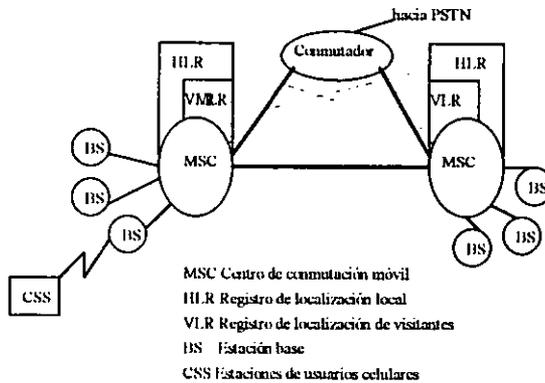


Fig 4 Sistema celular actual.

**Estaciones de usuarios celulares:** Los CSSs finalizan el enlace de radio del lado del usuario en la interface usuario red. Estas son referidas de manera rutinaria a la Estación Móvil (MSs, *Mobile Stations*), y mantienen una o más de las siguientes normas en Norte América de "interfaces aéreas":

- \* TIA/EIA-553 en los sistemas celulares analógicos.
- \* TIA IS-54 en TDMA de sistemas celulares digitales de banda angosta.
- \* TIA IS-95 en CDMA de sistemas celulares digitales de banda ancha.

Las capas físicas asociadas con cada una de estas tres tecnologías citadas tienen diferencias considerables, sin embargo, la llamada de control para las tres es esencialmente la misma. Se tienen cambios en el control de la llamada en el nivel de la interface aérea cuando es necesario, esto es:

- Cuando la serie de servicios ofrecidos por el servicio celular se expande de manera significativa (cuando la multimedia inalámbrica llegue a ser una realidad).
- Dependiendo del nivel de inteligencia asociado con los cambios CSS.

Esto último puede acompañar a mover terminales tontas soportadas por agentes inteligentes en la red, y/o mantener terminales inteligentes con redes tontas.

**Estaciones Base:** Las estaciones base tienen como tarea principal terminar el enlace de radio del lado de la red de la interface usuario red. En esta tarea se involucran elementos de control así como RF, IF, y procesos banda base. En algunas implementaciones los controladores se colocan con los transreceptores, en otras un controlador soporta transreceptores remotos múltiples. A pesar de la localización física los controladores BS están limitados a la información procesada directamente relacionada con el establecimiento, conservación y liberación de uno o más enlaces de radio. Esto es, los controladores BS manejan canales que son parte de las conexiones.

**Centros de Conmutación Móvil:** El MSC llama a las funciones de procesamiento que son ejecutadas por la oficina central y:

- \* Selecciona y coordina el nivel de la emisión de parámetros del sistema.
- \* Proceso de registros CSS.
- \* Manejo de dudas de registro de localización.
- \* Manejo de procesos paging.
- \* Selecciona la mejor BS en el manejo de una llamada.
- \* Establece conexiones entre el PSTN y el BS asignado al manejo de la llamada.
- \* Coordina las actividades handoff.

Cuando un CSS es puesto en servicio éste es asignado a un MSC local. Los switches línea-tierra encaminan las llamadas localizadas en el CSS hacia el MSC local; entonces el MSC es responsable de la localización CSS y de direccionar las llamadas.

**Registros de Localización Local:** Los HLRs son utilizados para soportar el roaming automático; cada sistema tiene asociados uno o más HLRs responsables del mantenimiento de una serie de registros para cada grupo CSSs. Las entradas HLRs para cada CSS incluyen:

- \* Número de Identificación Móvil (MIN, *Mobile Identification Number*) con el cual el CSS responde.
- \* Número Electrónico Serial (ESN, *Electronic Serial Number*) "incendiado" dentro del CSS durante su fabricación.
- \* Establecimiento de características a las cuales el CSS está suscrito (perfil de los usuarios).

- \* Establecimiento del perfil y datos (llamada de ida on/off e ida de números, respectivamente).
- \* Un apuntador (Código Punto y Número de Subsistema) al último VLR que ha suministrado al HLR el registro de información concerniente al CSS.

Cuando el CSS es puesto en servicio este es asignado a un HLR y también se le asigna el MIN. Las normas TIA IS-41 definen la interface entre el HLR y otras componentes (MSCs y VLRs) para permitir al HLR operar como una unidad "stand-alone" en la señalización de la red, varias implementaciones tienen co-localizados al HLR con MSC y VLR. En cualquier caso los HLRs pueden ser accedidos por VLRs remotos y MSCs mediante el SS7 y/o el X.25 basados en redes.

**Registros de Localización de Visitantes:** Los VLRs son utilizados junto con los HLRs para soportar roaming automático. La función de los VLRs es: asistencia en la localización CSS en la transmisión de una llamada, y actúan como una zona local de almacenamiento temporal de la información de los usuarios, esta información se obtiene principalmente de los HLRs por la transferencia del perfil durante el registro CSS. Mediante el perfil de los usuarios disponibles locales se reduce el tráfico en la señalización de las redes intersistema y se mejora el tiempo de organización de la llamada.

Los VLRs pueden operar como unidades stand-alone, o pueden localizarse con los MSCs. Esta colocación es un cambio de factores:

- \* Soporte de los procedimientos de localización haciendo más eficiente la operación VLR como unidades stand-alone para servir a MSC's múltiples.
- \* Soporte en tiempo real de la distribución de llamadas en el suministro del servicio perfil hacia los MSCs, esto puede dar ventajas a la co-localización VLRs y MSCs.

## ALGORITMOS.

A continuación se describe como la localización CSS es guiada mientras se libera y como se localiza el CSS durante la llamada; considerando el caso general en el cual los VLRs y HLRs operan en una configuración stand-alone.

**Seguimiento de Estaciones de Usuarios Celulares:** El BS emite una serie de parámetros en canales selectos que facilitan al CSS determinar si, y cuando deben presentarse en la red. Los CSSs pueden ser forzados a registrar una sobrecarga periódicamente sobre la terminación (timer) cuando se mueven de un área geográfica o zona de un sistema a otro, y/o cuando están alrededor de una potencia baja.

**Localización CSS y Distribución de Llamadas:** El HLR/VLR fue creado para soportar el roaming automático; el servicio de roaming más atractivo para suministrar servicio es la distribución automática de llamadas. Varios aspectos del roaming automático son dirigidos directamente por/y durante el proceso de registro incluyendo:

- \* Validación CSS (establecer el mérito de crédito del usuario).

- \* Autenticación CSS (verificación que el CSS es verdadero).
- \* Transferencia del perfil del usuario (para facilitar la ubicación del servicio).

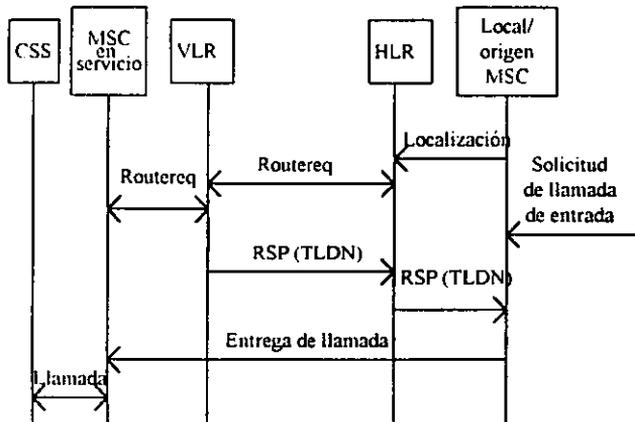


Fig. 5 Transmisión de una llamada en un sistema celular actual.

En la fig. 5 se observa como los HLRs, VLRs y MSCs trabajan de manera conjunta durante una llamada automática; se observa como el CSS ha sido registrado asumiendo que los VLRs operan como unidades stand-alone.

Las llamadas al CSS son encaminadas mediante el PSTN al MSC asociado con los dígitos marcados por la llamada "partita" (entrada de la solicitud de llamada). Durante la recepción de la llamada el MSC envía un mensaje de localización al HLR del CSS, para el direccionamiento y manejo de la llamada (*Locate*). El HLR valida y autentica al CSS y ejecuta la protección de la llamada entrante. Debido a que el VLR puede soportar MSCs múltiples y de que el HLR es actualizado únicamente cuando el CSS cruza los límites VLR, es posible que el roam CSS de un MSC sirva de un área a otra sin que el HLR sea actualizado. Así en vez de contactar el servicio MSC directamente, el HLR contacta al último VLR desde el cual se recibe la localización actual (*Routereq*). El VLR en turno contacta el servicio MSC para tener instrucciones de la transmisión de la llamada (*Routereq*). Después de obtener la respuesta de la ruta solicitada, el servicio MSC verifica la ocupación/desocupación del CSS; si el CSS se encuentra desocupado el servicio MSC asigna un Número de Directorio Local Temporal (TLDN, *Temporary Local Directory Number*) a la llamada y manda este al HLR (vía VLR) que lo solicita en respuesta al mensaje-RSP (TLDN); el HLR transmite el TLDN al lugar MSC el cual entonces hace la llamada de ida (establece el circuito de voz) al servicio MSC sobre las facilidades disponibles, este es el PSTN (*Call Delivery*). Finalmente, el servicio MSC llama al CSS para determinar el servicio BS, localiza las fuentes en el tronco de la conexión BS con el servicio MSC, asigna al CSS un canal de voz/tráfico, e instruye al CSS para alertar al usuario.

Debido a que la terminación MSC contiene el estado de la llamada y provee servicios al CSS, el MSC se convierte en un ancla que permanece en la conexión durante toda la llamada. Como resultado de esto se pueden tener rutas ineficientes cuando el CSS requiera de un handoff durante la llamada, debido al ancla MSC en la conexión.

## ARQUITECTURA DE DISTRIBUCIÓN EN EL PROCESAMIENTO DE SISTEMAS PARA PCS.

La arquitectura de control provee cuatro funciones principales: seguimiento móvil, localización móvil durante la transmisión de la llamada, control de llamada y control de conexión.

- Seguimiento Móvil se nombra al acto de grabar la posición aproximada de un CSS;
- Localización Móvil es el acto de determinar la localización exacta del CSS para transmitir una llamada;
- Control de Llamada es la invocación y coordinación de servicios durante una llamada;
- Control de Conexión es la dirección y Transmisión de la Trayectoria de comunicación sobre la cual la información del usuario puede ser intercambiada.

Las funciones del Control de Llamada y Control de Conexión están separadas en términos de procesamiento y protocolos. Muchos de los servidores y protocolos definidos en esta arquitectura están basados en la Arquitectura de Distribución en el Procesamiento de Llamadas (DCPA, *Distributed Call Processing Architecture*).

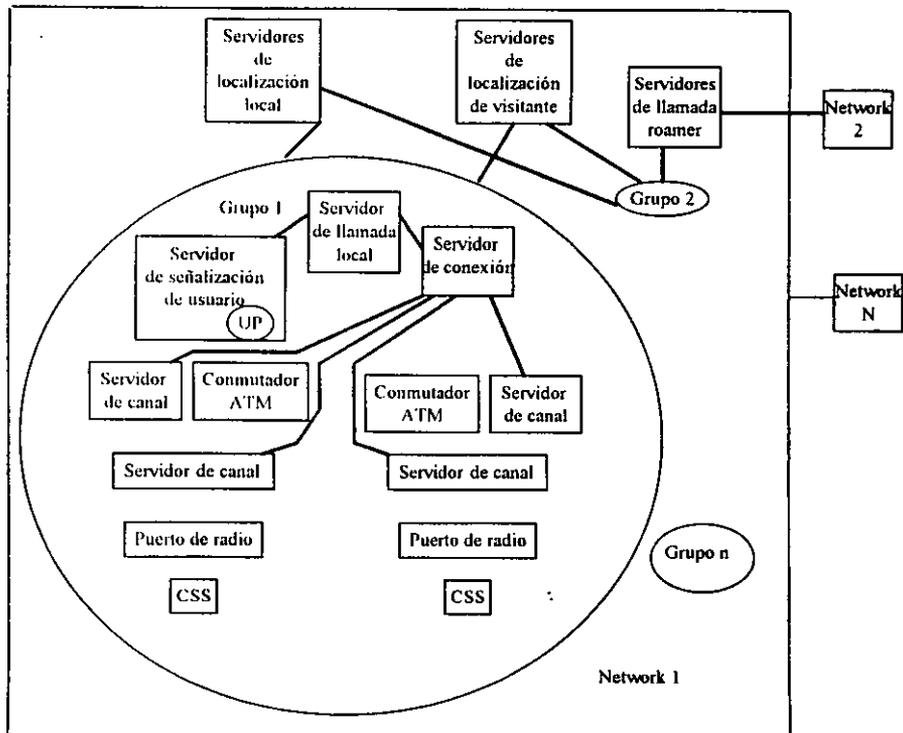


Fig. 6 Configuración multi-red en un grupo base.

A continuación se da una arquitectura de grupo en base a la red, como se observa en la fig. 6, en la cual cada red esta dividida dentro de grupos; estas se enfocan en extensiones para proveer PCS.

Dentro de cada grupo están:

- \* servidores de llamada local.
- \* servidores de señalización de usuarios.
- \* servidores de conexión, y
- \* servidores de canal

Fuera de estos grupos se localizan:

- \* servidores de llamada roam.
- \* servidores de localización de visitantes, y
- \* servidores de localización local

Los Servidores de Llamada mantienen el estado de la red durante la llamada, invocan los servicios a favor del usuario y facilitan la negociación entre usuarios y servidores; mantienen el Modelo del Estado de Llamada Básica (BCSM, *Basic Call State Model*) de la red inteligente; proveen la llamada de la función de control. Los Servidores de Llamada Local son asignados para servir a los CSSs que están dentro de la red local. Los Servidores de Llamada Roam están asignados al CSS que es actualizado en roaming dentro de otra red. Por lo tanto un CSS siempre es servido por el Servidor de Llamada dentro de la red local; los Servidores de Llamada tienen acceso a todos los servicios de información del perfil de los usuarios.

El Proceso Usuario se comunica con su Servidor de Llamada a través de un enlace directo de señalización del Servidor de Señalización Usuario. Este enlace termina en el Servidor de Llamada Local dentro del grupo CSSs en la red local y en el Servidor de Llamada Roamer de la red local para los CSSs actualizados en roaming. El Proceso Usuario se comunica con la terminal móvil a través del BS actualizado que sirve a la terminal. El Proceso Usuario recibe la solicitud de llamadas del CSS, y puede planear estas solicitudes dentro de solicitud de llamadas más avanzadas.

Los Servidores de Conexión son responsables de establecer la trayectoria de comunicación sobre la cual la información del usuario (voz o datos) es transmitida, ejemplo control de conexión. Los Servidores de Conexión ejecutan funciones de direccionamiento dependiendo de la localización CSS y de la calidad de servicio deseado en la conexión. Los Servidores de Conexión interactúan con los Servidores de Canal en el implemento de la conexión. Un Servidor de Canal Radio Port dirige el tráfico de canal asignado a su interface aérea.

Cada red contiene Servidores de Localización múltiples los cuales son responsables de rastrear la localización de la terminal móvil dentro de la red; los Servidores de Localización no están asociados con un grupo, pero rastrean el movimiento de las terminales móviles a través de las fronteras del grupo. Los Servidores de Localización de Visitantes rastrean la localización del grupo visitante CSSs. Los Servidores de Localización Local rastrean el grupo CSS dentro de la red casera, y el Servidor de Localización de Visitantes rastreado en su CSS es actualizado en roaming.

Las diferencias claves en esta arquitectura y la arquitectura celular actual son:

- \* Los Procedimientos Usuario son colocados dentro de la red para soportar servicios avanzados mientras se limita el tráfico de señalización en la interface aérea, esto permite a los protocolos de la interface aérea permanecer estables. Esto no se necesita en los sistemas actuales debido a que los CSS son simples en términos de funcionalidad.
- \* El Procesamiento de Llamadas MSCs es distribuido en varios servidores disminuyendo la complejidad y el costo de los recursos de conmutación y evitando la necesidad de un ancla MSC.
- \* La localización de funciones de rastreo de los registros de localización son sumadas a los Servidores de Localización. Una diferencia clave se encuentra en que los Servidores de Localización no mantienen la información del servicio del perfil, por lo tanto, el problema sobre la colocación de los VLRs en los sistemas celulares actuales cambia en este sistema y los Servicios de Localización no dan el servicio de información de perfil, pero ayudan en el direccionamiento de la movilidad. Los Servidores de Localización de Visitante son utilizados para rastrear únicamente a los CSSs a otras redes mientras que los Servidores de Localización Local rastrean directamente a los CSSs en su red local.

## ALGORITMOS.

Cuando se diseña la arquitectura y procedimientos deben considerarse dos factores:

- \* tiempo de establecimiento de la llamada, y
- \* carga de señalización

El tiempo para el establecimiento de la llamada es afectado por la localización de los servidores involucrados en el establecimiento de la llamada, el número de trabajos de señalización que deben llevarse a cabo para completar la llamada, y el flujo del proceso de las tareas requeridas para completarla. En la carga de señalización debe considerarse el mensaje de señalización que viaja fuera del área localizada, el cual puede congestionar los enlaces de señalización de larga distancia. Esta es una función del Servidor de Localización y del Control de dirección de datos.

## RASTREO MÓVIL.

En el rastreo móvil se tiene como tarea conocer la localización aproximada del CSS. En la fig. 7 se muestra el registro Power-up para CSS en su red local. Cuando una estación móvil es colocada se genera el mensaje Registration que contiene el MIN y el perfil de aplicación. Este perfil contiene la información requerida por el procedimiento usuario de manera que puede imitarse al CSS. Por ejemplo, si la terminal móvil se encuentra en X-"ventana" esta información estará contenida en el perfil de aplicación, de manera que cualquier solicitud de llamada que llega requiere X-"ventana" para operar en la terminal móvil; el procedimiento usuario puede aceptar o

rechazar la llamada. El mensaje Registration es pasado del BS que recibe hacia el Servidor de Localización Local del CSS. Este Servidor de Localización Local es arreglado y asignado de acuerdo al MIN del CSS.

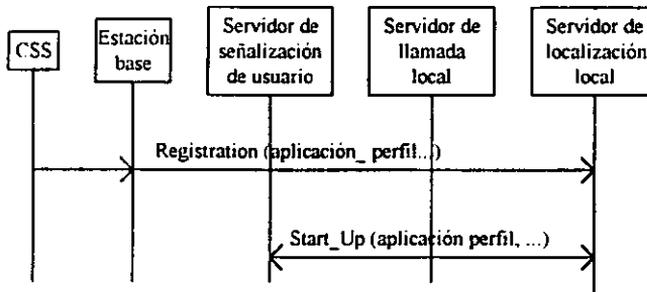


Fig.7 Registro Power - Up, móvil local.

El Servidor de Localización Local procesa Registration y determina el origen del mensaje en el grupo del CSS. El Servidor de Localización Local actualiza la grabación local y asigna un Servidor de Señalización Usuario dentro del grupo; este selecciona el CSS en base al MIN. El Servidor de Localización Local instruye inmediatamente al Servidor de Señalización Usuario hacia el Procedimiento Usuario enviándole el mensaje Start-Up. Este mensaje contiene la aplicación perfil para el usuario. El Servidor de Señalización de Usuario comienza el Procesamiento Usuario. El algoritmo para asignar el Servidor de Señalización Usuario se basa en el MIN del CSS y se localiza siempre en el mismo grupo así como el Servidor de Llamada Local. El Servidor de Llamada Local no requiere notificación explícita por parte del Servidor de Señalización Usuario en donde se ejecuta el Procedimiento Usuario; estos pueden derivar la información de ellos mismos utilizando la misma asignación de algoritmo que funciona en el Servidor de Localización.

La segunda parte del rastreo móvil requiere un registro que depende del movimiento CSS; debido a que el CSS en movimiento entre el BSs de un grupo no requiere actualización, cada BS tiene un enlace de señalización provisional para cada Servidor de Señalización de Usuario. Cuando se recibe un mensaje de señalización por un BS, este es direccionado hacia el Servidor de Señalización de Usuario.

El Servidor de Señalización de Usuario direcciona el mensaje hacia el Proceso Usuario convenientemente discriminando el MIN del CSS que genera el mensaje.

Cuando el CSS cruza la frontera del grupo este es asignado a un Servidor de Señalización de Usuario nuevo mediante el Servidor de Localización; en este caso el Proceso Usuario debe migrar su localización actual hacia el Servidor de Señalización de Usuario nuevo. El Proceso debe migrar y no simplemente ser reinstalado, debido a que contiene el estado actual del CSS que debe preservarse.

Este tipo de registro CSS local se muestra en la figura 8.

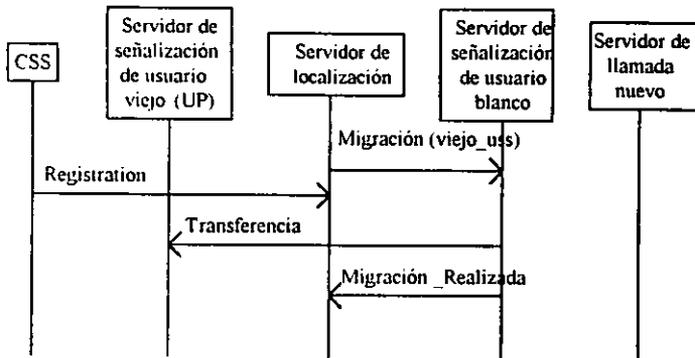


Fig. 8. Cambio de grupo, móvil local.

Cuando el CSS determina su nuevo grupo este genera el mensaje **Registration**; este mensaje contiene solamente el MIN; el Servidor de Localización recibe el mensaje y determina la nueva localización CSS. El Servidor de Localización Local asigna un Servidor de Señalización de Usuario y lo instruye para migrar el Proceso Usuario.

El Servidor de Señalización de Usuario nuevo y el Servidor de Señalización de Usuario viejo se comunican para migrar el Proceso Usuario; cuando la migración finaliza el Servidor de Localización es notificado para que responda a preguntas sobre la localización del móvil mediante la dirección del Servidor conveniente. El nuevo Servidor de Llamada no requiere actualizarse debido a que puede localizar el Servidor de Localización de Usuario conveniente mediante el MIN de cualquier móvil con el cual desea interactuar.

En el flujo del Registro por roaming del grupo base CSS, el mensaje **Registration** no se propaga por el Servidor de Localización Local debido a que este necesita conocer solamente al Servidor de Localización de Visitante que rastrea actualmente el grupo de localización CSS.

Una característica clave del método de rastreo es que solamente un Servidor de Localización debe ser actualizado sobre el cambio de grupo; esto es debido a que los Servidores de Localización no están asociados con los grupos de switch, pero si con las redes y el MIN del CSS.

Esto reduce la carga de señalización durante el movimiento de procesos de dirección; para CSS en su red local solamente el Servidor de Localización Local es actualizado cuando este se mueve. Para CSS roaming solamente se actualiza al Servidor de Localización de Visitante.

Cuando el CSS cambia de zona, en los sistemas actuales se tienen dos cambios de señalización. Los VLR nuevos registran al CSS con el HLR, y el HLR de los registros CSS hacia el VLR viejo. En el CSS roaming se tienen los mismos cambios de señalización pero estos son realizados sobre los enlaces de señalización Inter-network. Un análisis comparativo de este sistema y un sistema con la norma IS-41 muestra que este sistema reduce la carga de señalización inter-red en un 20% debido a la movilidad de la dirección. Una segunda característica de este sistema es que los servicios que no son de perfil tienen una carga baja debido a que el servicio de información perfil es accedido por los Servidores de Llamada, los cuales no están asociados con los conmutadores. Para el roaming del móvil el perfil de información es accedido por los Servidores de Llamada Roamer que sirven actualmente al CSS. Para móviles locales, el Servidor de Llamada Local accesa la información perfil de las bases de datos que pueden estar distribuidas

por varios Servidores de Llamada en la misma red; por lo tanto, el servicio de información perfil es conservado siempre en la red local CSS.

**Localización Móvil y Distribución de Llamadas:** En la fig. 9 se muestra la transmisión de una llamada hacia un móvil en la red local.

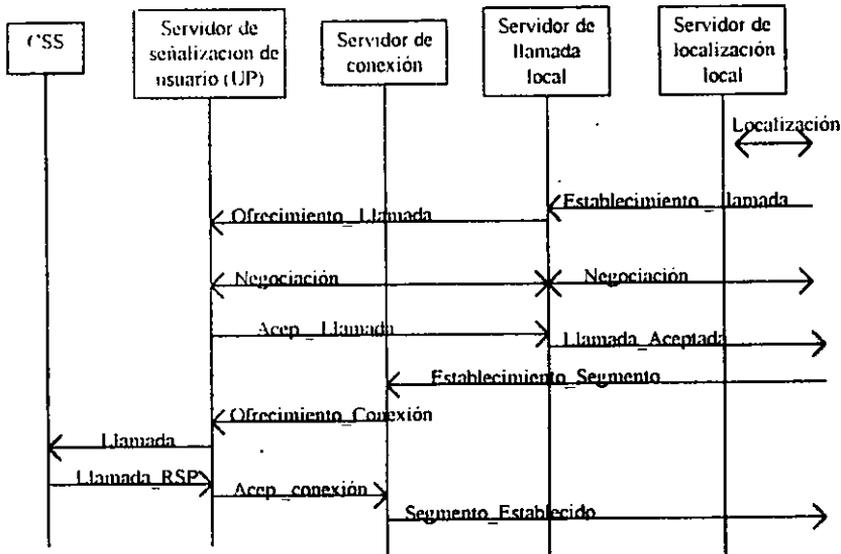


Fig. 9 Entrada de una llamada

La red de llamada invoca la operación Locate en el Servidor de Localización Local para la llamada móvil, ya que este servidor rastrea el grupo actual del móvil y regresa la dirección del Servidor de Llamada y del Servidor de Conexión que sirven al móvil en su grupo.

La parte de la llamada de la red Pública opera una llamada Set-Up hacia el Servidor de Llamada Local del móvil; este servidor de llamada verifica los servicios suscritos por la llamada móvil, como por ejemplo, la llamada de ida invoca los servicios y ofrece la llamada al Proceso Usuario. En la operación Offer -Call se incluyen los servicios aplicación de información y aplicación de información específica en la llamada; el Proceso Usuario requiere negociaciones que pueden realizarse a través del Servidor de Llamada. En este ejemplo, el Proceso Usuario acepta la llamada, en este instante cualquier servicio que es invocado en favor del CSS es activado, la aceptación de la llamada regresa a la parte del grupo red.

Cuando la llamada de la red recibe la aceptación, se puede proceder a establecer una conexión, mientras que en el direccionamiento de la conexión, la operación del grupo de llamada de red genera la operación SetUp-Segment hacia el Servidor de Conexión de la llamada móvil.

El grupo de llamada no requiere la localización exacta del móvil y puede comenzar el establecimiento de la conexión sin la asignación del TLDN.

Después de recibir la invocación Setup-Segment, el servidor de Conexión da un Offer-Connection hacia el Proceso Usuario. Este Proceso Usuario llama al CSS, si esta llamada resulta exitosa se acepta la conexión. La respuesta Accept-Connection incluye la localización exacta CSS: hasta este momento el Servidor de Conexión determina la ruta de paso del switch a CSS. Esta ruta puede incluir uno o más switches Modo de Transferencia Asíncrono (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*) y un BS. El Servidor de Conexión interactúa con el Servidor de Canal asociado para localizar las fuentes de transporte por ejemplo, el Servidor de Canal Port Radio es responsable de proveer canales inalámbricos convenientes sobre los cuales el móvil se comunica. Una vez que los Servidores de Canal responden al Servidor de Conexión, este responde a la llamada de la red indicando el segmento de la conexión que se ha establecido.

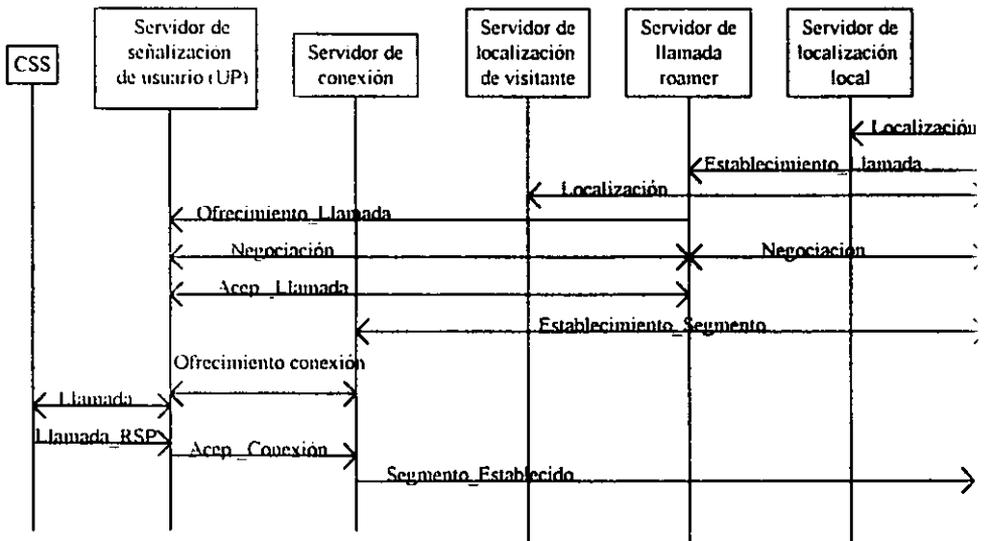


Fig. 10 Transmisión de una llamada, móvil roaming.

En la fig. 10 se muestra la transmisión de una llamada roaming CSS; la diferencia principal es que la respuesta Locate del Servidor de Localización da las direcciones del Servidor de Localización de Visitante de la llamada móvil que esta siendo rastreada y la dirección del Servidor de Llamada Roamer asignado al CSS. Esto produce una segunda operación Locate invocada por la llamada de la red en el Servidor de Localización de Visitante. La respuesta a esta solicitud incluye la dirección del Servidor de Conexión que servirá a la llamada CSS. El Servidor de Llamada Roamer sirve a la llamada CSS, en este caso la fase de control de llamada es realizada simultáneamente con la fase de localización; el Servidor de Llamada Roamer es responsable de invocar cualquier servicio a favor del CSS durante la fase de Localización Móvil de la llamada establecida, por lo que la red local siempre provee servicios al CSS aun cuando esté en roaming.

La característica clave de estos procedimientos es que el control de servicio y la localización móvil ocurren principalmente en paralelo para los usuarios roaming, la llamada de la red no requiere conocer la localización exacta de la llamada, los servicios son provistos siempre por la red local CSS con lo que no se requiere del ancla MSC. En otros sistemas una vez que la llamada ha sido transmitida al MSC local la fase de localización de la llamada establecida debe completarse antes de que ocurra otra acción. Esto es debido a que los servicios son ofrecidos por MSC en los sistemas actuales, y por lo tanto establecida la conexión y el servicio de control no pueden operar hasta que se conozca la localización exacta del móvil.

En MSC los servicios deben ofrecerse por la red visitante en casos de roaming de los móviles; por lo que se requiere que el servicio perfil sea de carga descendente "down-loaded" entre las redes, ya que puede causar que la carga de señalización se incremente. Además, los servicios pueden ofrecerse ubicuamente cuando todos los servicios provistos tengan el software conveniente para dar el servicio. Otra consecuencia del ofrecimiento de servicios MSC es que la terminación MSC involucrada en la configuración original de la llamada debe permanecer durante toda la llamada; la inclusión de esta ancla MSC en la trayectoria de conexión que resulta del movimiento CSS, puede ocasionar que se tenga un manejo ineficiente.

## **BENEFICIOS.**

Existen ventajas claves de la arquitectura y procedimientos que se proponen a continuación cuando se compara con los sistemas celulares existentes:

- \* Cantidad de tráfico aéreo reducido debido a la señalización.
- \* Menor tiempo de conexión en los tiempos de establecimiento.
- \* Menor cruce-grupo y cruce -red de tráfico de señalización.
- \* Mayor ubicuidad de ofrecimiento de servicios.
- \* Direccionamiento más eficiente.

**Tráfico Aéreo Reducido:** Los canales de señalización de la interface aérea son un obstáculo en los sistemas celulares; estos son una fuente crítica ya que son repartidos por CSS múltiples; por lo tanto la congestión en los canales de señalización puede disminuir el funcionamiento CSS.

Se reduce la cantidad de tráfico de señalización en la interface aérea introduciendo el Proceso Usuario en la red; el Proceso Usuario finaliza los procedimientos complejos de la negociación que se requieren, como son servicios avanzados. Solo algunos mensajes de señalización se cambian en la interface aérea. Un segundo beneficio del Proceso Usuario es que estos son responsables de la llamada al CSS cuando la llamada es transmitida. Este solamente llamará a CSS cuando la llamada es aceptada.

Los gastos incurridos en el mantenimiento del Proceso Usuario en la red contrariamente al mantenimiento CSS deben emigrar dependiendo del movimiento CSS. Si el Proceso Usuario no emigra, es asignado al Servidor de Señalización Usuario en base al MIN y anclado ahí, las llamadas relacionadas con el cambio de señalización requerirán distancias grandes para la transacción, las cuales incrementarán la carga de señalización en la red durante el tiempo de la llamada.

**Tiempo Inferior en el Establecimiento de las Llamadas:** Los tiempos de establecimiento de la llamada son bajos debido a:

- \* los usuarios roaming.
- \* la localización móvil, y
- \* al servicio de control que es ejecutado en paralelo en este sistema

Esto es posible debido a que el servicio de control es provisto por servidores separados de los switches e independiente de la localización exacta CSS; por lo tanto, el Servidor de Llamadas es localizado, y el servicio de control puede realizarse en paralelo con la búsqueda del grupo en cual se localiza el CSS. Una segunda característica de este sistema es que reduce el establecimiento de llamada, y la llamada de recepción en la red no requiere la localización exacta de la llamada CSS, pero debe conocer la localización aproximada.

El Servidor de Conexión de Llamada que se localiza cerca de la llamada móvil, es responsable de completar la conexión en base a la localización del móvil. La tercera razón es que los tiempos de establecimiento de llamada son inferiores y solamente se requiere de una base de datos para localizar a los usuarios en su red local, mientras que en los sistemas actuales se requiere realizar más preguntas, como se observa en la fig. 5 y 9.

**Cargas Inferiores de Señalización en la Red:** La carga de señalización es reducida reestructurando los métodos de almacenamiento de datos en los sistemas actuales y manteniendo enlaces directos de señalización hacia la red local. Se requieren los CSSs para registrar mediante un Servidor de Localización (un Servidor de Localización de Visitante si CSS esta en roaming o un Servidor de Localización Local si el móvil esta en su red local) un mensaje de señalización menor que se genera cuando el móvil se encuentra en movimiento. Además, el servicio de información perfil es almacenado en bases de datos que son accedadas por los Servidores de Llamada sin que se tenga carga descendente, como el movimiento CSS; en lugar de esto, es accesado mediante el Servidor de Llamada durante el establecimiento de la llamada; los CSS mantienen enlaces de señalización directos hacia el Servidor de Llamada en su red local.

La manera de realizarlo es tener más copias del servicio de información perfil del CSS; en los sistemas actuales el servicio perfil es conservado por el HLR y posiblemente por el VLR, en este sistema las copias de los servicios de perfil deben ser accesibles cuando se requieran por los Servidores de Llamada. El número de copias puede reducirse poniendo los servicios perfil en bases de datos distribuidas.

**Ubicuidad de los Servicios Ofrecidos:** Los servicios son ofrecidos ubicuamente, ya que los móviles reciben siempre los servicios de la red local mediante el Procedimiento Usuario señalando a los Servidores de Llamada con su red local; por lo tanto, esto no concierne a la capacidad del servicio de una red en donde el móvil está de visita, en su lugar las redes visitantes proveen sólo los servicios de transporte. El gasto general para proveer este servicio se localiza en los mensajes de señalización que deben viajar del roaming CSS hacia el Servidor de Llamada Roamer, el cual puede requerir una distancia de señalización mayor.

**Ruteo Eficiente:** En los sistemas actuales la terminación MSC mantiene el estado de la llamada para el CSS activo. Como el CSS durante la llamada en movimiento activa la terminación original MSC este se convierte en una ancla MSC que permanece durante la conexión. Esto puede permitir tantas rutas ineficientes como movimientos CSS. En este sistema, los protocolos de señalización son terminados en los servidores y no en los elementos de conmutación. Por lo tanto en los movimientos CSS, la ruta de conexión puede ser modificada cambiando cualquier conmutación innecesaria.

En la fig. 11 se muestra el flujo simplificado para un handoff inter-switch, se muestran mensajes sin respuesta por simplicidad. Además, se observa un móvil dirigido por handoff. en este sistema se mantiene la asistencia móvil y el manejo handoff usado en los sistemas actuales. La terminal móvil solicita un handoff del BS actual. Este BS fomenta la solicitud al BS original. El BS original conoce el switch actual involucrado en la conexión, switch I. Esto genera un mensaje SETUP SEGMENT hacia el BS actual, instruyéndolo a establecer un segmento entre el BS nuevo y el switch. El BS establece este segmento el cual pasa por el switch II. Una vez que este procedimiento se completa, el BS actual informa al Servidor de Conexión que existe una ruta nueva mediante el mensaje UPDATE. El Servidor de Conexión puede decidir en cualquier instante un re-direccionamiento de la conexión cambiando el switch I.

En un handoff activo esto ocurre entre los BSs y switches dentro de un grupo, el único servidor al cual se le debe notificar es al Servidor de Canal. Para handoffs activos esto ocurre entre grupos, el Proceso Usuario debe emigrar, el Servidor de Llamada involucrado en la llamada original debe actualizarse como la localización del Procedimiento Usuario, y el Servidor de Conexión localizado en un grupo nuevo involucra ahora un segmento de dirección en la conexión.

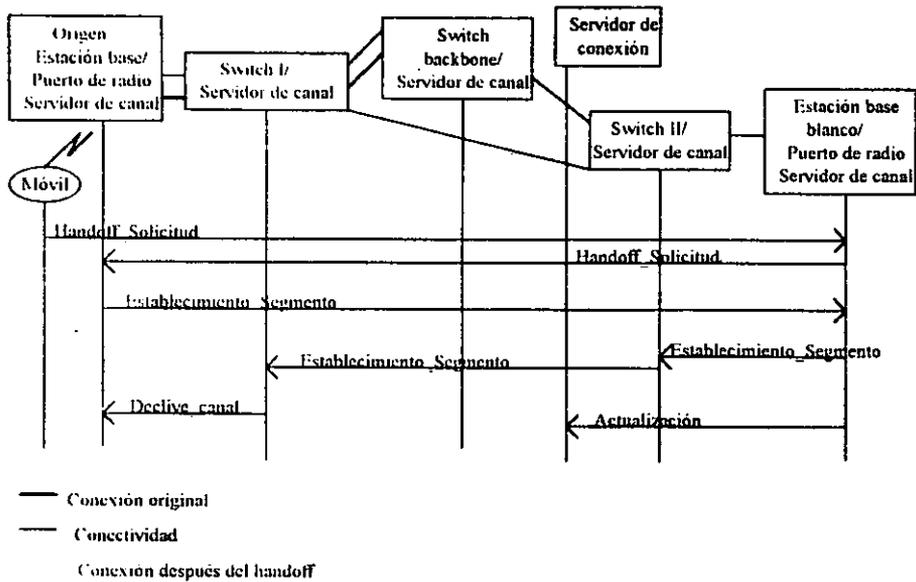


Fig. 11 Flujo handoff simplificado.

## **DIVISIÓN CELULAR.**

Se dice que la arquitectura de División Celular mejora el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones. El siguiente modelo permite cambiar el tamaño de la célula para servicios y número de usuarios diferentes. El tamaño de la célula asegura el mejor funcionamiento posible y la mejor calidad de servicio que puede derivarse del modelo.

La arquitectura celular utiliza células dentro de las cuales se puede tener una transmisión entre el usuario y la estación de radio. El tamaño de la célula depende del rango de transmisión de la estación base y del número de usuarios. Con el incremento en la demanda de los servicios celulares, el número de usuarios se incrementa afectándose la calidad del servicio y el tamaño de la célula.

La arquitectura de las redes de telecomunicaciones de alta velocidad y servicios han proporcionado infraestructura a varios tipos de servicios incluyendo voz, datos y video, y permiten la comunicación entre cualquier localidad deseada. Este tipo de comunicación se realiza utilizando redes de conmutación de alta velocidad, redes inalámbricas y redes celulares.

La investigación en el área de las redes de telecomunicaciones y servicios crece rápidamente al igual que emergen tecnologías nuevas. Las redes de alta velocidad que utilizan tecnología de banda ancha y soporte de servicios multimedia para voz, datos y video, requieren sistemas de software para proporcionar los servicios y manejo de redes. Se requiere una arquitectura en los sistemas de telecomunicaciones como vehículo para analizar, diseñar y evaluar los sistemas grandes.

La arquitectura del software en los sistemas de telecomunicaciones celulares e inalámbricos no ha sido modificado aún; una de estas razones es la falta de comprensión del software de telecomunicaciones, el cual involucra sistemas complejos y grandes; otra razón es el crecimiento rápido de los servicios de telecomunicaciones.

Las redes inalámbricas, celulares y de banda ancha tendrán un uso común en el futuro, y requerirán un software para suministrar los servicios de redes inteligentes. En resumen, las aplicaciones multimedia requerirán una arquitectura eficiente y confiable.

La tarea principal de los sistemas de telecomunicaciones es el proceso de las llamadas; en donde se incluye identificación de llamadas de entrada, establecimiento de la trayectoria de comunicación el tiempo que dure la conexión, y desconexión de la llamada después de que la conversación ha finalizado.

## RED CELULAR.

Un ejemplo de la arquitectura de red celular se muestra en la fig. 12.

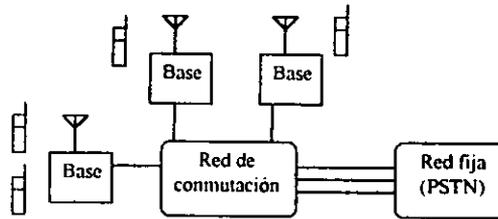


Fig. 12 Arquitectura de la red celular

El elemento principal de esta red son: estaciones base (también conocidas como radio base), red central de conmutación, líneas de tierra, PSTN y usuarios móviles. En un sistema celular, existe únicamente una estación base por célula; esta consiste en un transmisor/receptor, que se comunica directamente con los usuarios en la célula. Cada estación base se conecta mediante líneas de tierra a la red central de conmutación. La red de conmutación realiza decisiones importantes como son: localización de canal y handoff de la célula; esta red de conmutación es entonces conectada a la PSTN.

Durante una llamada, el usuario ingresa el número telefónico y presiona el botón de transmisión; la estación base reserva algunos canales de control después de que el usuario se ha comunicado. Todas las estaciones base dentro de la red celular monitorean constantemente los canales de control y cuando el comando "send" se solicita, la estación base con la señal más fuerte toma el control. Mediante esto se enruta la solicitud del usuario a la red de conmutación. Si un canal está disponible, la red de conmutación asigna este canal al usuario y regresa la asignación del canal a los usuarios actuales de la estación base. La base entonces, envía la asignación al usuario y se crea la comunicación. Cuando la conversación termina, la terminal del usuario envía la señal de desconexión a la estación base, que retransmite la señal a la red de conmutación; esta red está entonces libre de la asignación previa de canal y puede localizar a otro usuario.

Cuando un usuario se mueve a otra célula, entonces se considera el handoff; si en el handoff se tiene un canal disponible este canal se asigna al usuario y se procede a la comunicación del usuario; cuando no existen problemas la transición en el handoff debe ser transparente.

Una red celular consiste de estaciones de transreceptores múltiples con una cantidad apropiada de frecuencias disponibles; el sistema permite que la reutilización de frecuencias de radio localice más usuarios en la red. La distancia de reutilización es la distancia entre dos células que utilizan la misma frecuencia (en la fig. 13 se muestran dos grupos de siete-células con una distancia de reutilización). La reutilización de frecuencias puede maximizarse controlando el sitio de transmisión de potencia; esto permite establecer cualquier distancia de reutilización que se desee. De esta manera, el mismo grupo de canales utilizados en el primer grupo de células puede ser reutilizado en el segundo.

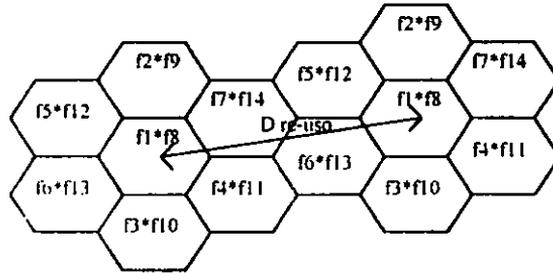


Fig 13 Dos grupos de siete células con reutilización de distancia.

En áreas urbanas de densidad elevada el número de canales disponibles puede incrementarse a través de la división de células y el uso de microcélulas; que toman la idea de la reutilización de frecuencia. La sectorización se realiza dividiendo células de densidad elevada dentro de tres o seis subcélulas, esto se realiza mediante una estación base con antenas direccionales, con lo que se incrementa el número de canales disponibles efectivos de tres a seis veces, respectivamente (la célula dividida se muestra en la fig. 14).

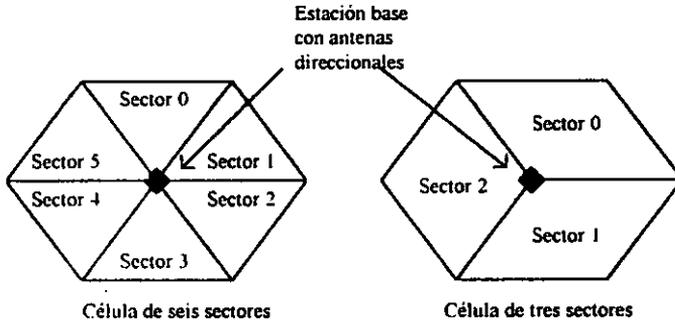


Fig 14 Sectorización de células.

En las microcélulas se utilizan células pequeñas, pero en lugar de subdividir células grandes dentro de unas pequeñas, las microcélulas se colocan en diseños de grupos grandes donde se requieran. De manera sucesiva las microcélulas se pueden implementar hasta que exista un número adecuado de canales disponibles.

Existen varios problemas originados por la operación de la red celular. Un problema de la reutilización de frecuencias es la interferencia de canal adyacente (cercano), que ocurre cuando una señal fuerte es emitida de un canal adyacente al canal de interés. Similarmente a la interferencia del canal adyacente se tiene la interferencia "co-canal" (co-channel). Debido a que los canales pueden reutilizarse en células adyacentes, la estación base que utiliza el mismo canal para usuarios diferentes puede interferir con algún otra. Finalmente, se tiene el problema del medio ambiente en el que la red celular opera; las montañas, colinas y valles actúan como reflectores grandes causando problemas multitrayectoria (multipath); la atmósfera puede causar pérdida de trayectoria, los edificios causan problemas de recepción. Idealmente las estaciones

base se localizan en el centro de la célula, pero si el centro de la célula es un centro comercial o si esta rodeado por edificios altos se debe seleccionar otra alternativa para su localización. Además de la reutilización de frecuencias, la localización de canales dinámicos incrementa el número efectivo de canales disponibles. En la localización de un canal dinámico, el canal se coloca únicamente cuando el usuario lo requiere. Consecuentemente, existe un grupo de canales, cada uno de los cuales puede localizarse para un usuario activo. Un usuario activo utiliza el canal determinado tiempo; una vez que el canal es liberado este puede ser localizado para otro usuario. Con un canal de localización dinámica, un solo canal maneja usuarios múltiples, incrementándose grandemente el número de canales disponibles para un número grande de usuarios. Problemas como la interferencia de canales adyacentes y la interferencia co-canal se resuelven evitando el uso de canales adyacentes y co-canales en células adyacentes. Así, se mantiene una separación mínima entre las células que reutilizan las frecuencias. El problema del medio ambiente es más difícil de resolver; la multirayectoria por ejemplo, puede reducirse utilizando antenas de dirección múltiple; otra solución posible es el uso de microcélulas. Las microcélulas utilizan una potencia de localización menor, y la localización de la transmisión es menos propensa a la multirayectoria. En las estaciones base, si estas no pueden localizarse en el centro del área, entonces puede utilizarse la dirección de antenas o microcélulas. Ambas soluciones involucran un costo extra de antenas o estaciones base.

## ARQUITECTURA CELULAR DE DIVISIÓN.

El tamaño de la división de la red y la división de los límites puede determinarse de la siguiente manera. Como primer paso la red celular total es considerada una división. El tiempo de espera promedio para que un canal este disponible es calculado para cada célula en la división de la red utilizando el Teorema 1 (ver apéndice). En la arquitectura de una sola división no se ajustan las células. En el paso siguiente las células más congestionadas son utilizadas para dividir a la red en partes. Las células más congestionadas son definidas a través del tiempo de espera promedio máximo para que un canal este disponible (Teorema 1). La división de los límites se determina para que el tiempo de espera promedio para que un canal este disponible encuentre los requerimientos en el funcionamiento de la arquitectura. Los requerimientos de funcionamiento dependen del tipo de arquitectura celular e inalámbrica. La división de los límites se dibuja alrededor de grupos de células congestionadas para que la división y el tamaño de la célula disminuyan, reduciéndose la congestión de la célula y el retardo handoff.

Ya que el tráfico en la red cambia, las mediciones del funcionamiento son recalculadas y la división de los límites puede cambiar. Este método es utilizado para distribuir la carga entre la división de la red y entre las células.

La red es dividida en partes con características similares de tráfico, incluyendo la congestión de la red. Las partes congestionadas de la red se caracterizan por células pequeñas al igual que las partes no congestionadas. El método de división incluye funcionalmente, dependencia y comunicación entre las componentes de la arquitectura celular y entre la célula y la arquitectura de conmutación.

El algoritmo que divide a la red celular en partes es el siguiente:

```
[1] Considerar a la red total como una parte.  
[2] for cada división en la red do  
[3]   for cada célula en la división de la red do  
[4]     Calcular el tiempo promedio de espera para que un canal este disponible  
         utilizando el Teorema 1.  
[5]     Determinar y señalar las células congestionadas dentro de la división de la red  
         utilizando los requerimientos de funcionamiento.  
[6]   endfor  
[7] endfor  
[8] if existe un número de células congestionadas then  
[9]   Determinar los grupos de células congestionadas  
         (los grupos consisten de células vecinas inmediatas) en la red.  
[10]  Dibujar los límites alrededor de los grupos de células congestionadas  
[11]  Añadir una célula en cada división congestionada  
[12]  Ir al paso [2]  
[13] endif  
[14] Stop.
```

Este algoritmo describe un método para la arquitectura de división, que controla la congestión en un sistema celular mediante la reducción del tamaño de la célula dentro de la división de la red. La arquitectura propuesta también permite mejorar el funcionamiento en el sistema mediante la disminución del tiempo de espera promedio para que un canal este disponible. En la arquitectura celular, las células en partes congestionadas pueden ser tan pequeñas como las células en partes no congestionadas.

## MODELO DEL FUNCIONAMIENTO CELULAR.

El modelo permite cambiar el tamaño de la célula para servicios y número de usuarios diferentes; el tamaño de la célula asegura el mejor funcionamiento y calidad del servicio posible.

Las comunicaciones inalámbricas pueden causar congestión en las redes de conmutación de alta velocidad dependiendo del volumen de llamadas, origen, y arquitectura de la red. En áreas congestionadas donde los servicios celulares son utilizados ampliamente, las redes de conmutación de alta velocidad pueden llegar a congestionarse. En resumen, la calidad de las comunicaciones celulares puede disminuir por el rango de frecuencias que se permiten para un número limitado de llamadas dentro de la célula. El modelo de la arquitectura de telecomunicaciones permite la evaluación de estas limitantes.

El funcionamiento de la red celular puede ser utilizado para determinar la división y el tamaño de la célula. La medición utilizada en el funcionamiento del modelo es el tiempo de espera promedio para que un canal este disponible cuando se establece una llamada y proceso handoff.

El funcionamiento de la red celular es evaluado en el Teorema 1. Se considera número de canales por usuario, y diferentes condiciones en el tiempo de espera promedio de un canal. Si existe al menos un canal por usuario en una célula, entonces no existe tiempo de espera y el canal es localizado sin retardo. Esto se aplica en el establecimiento de una llamada y el handoff. Si existe menos de un canal por usuario en una célula, entonces se tiene algún tiempo de espera y el canal es localizado únicamente después de que alguna conversación termina o cuando algún usuario deja la célula debido al handoff.

El modelo del proceso de llamada celular se pone en una línea de espera para solicitar la llamada y el handoff, mientras se espera tener un canal de radio inactivo. En los sistemas celulares existentes, la solicitud de la llamada y el handoff son rechazados inmediatamente (obstruidos) si no se tiene un canal de radio disponible. En algunos casos, este modo de operación puede ser modificado reintentando la asignación de un canal de radio para la llamada un corto tiempo después de que el primer intento para encontrar un canal inactivo fracasa. Sin embargo, desde la perspectiva del usuario, existe un tiempo de espera involucrado si el canal no está disponible, y el modelo del proceso de una llamada celular se aproxima al tiempo real de espera.

### MODELO CELULAR.

El modelo considera la densidad de usuario de la célula, porcentaje de usuarios móviles, tamaño de la célula, tamaño del grupo, duración promedio de las llamadas, y velocidad de las unidades móviles.

Un grupo de siete-células que se muestra en la fig. 15 fue utilizada en la simulación. Las estaciones base fueron colocadas en el centro de cada célula, y una vía interconecta las células construidas. Durante la simulación el número de canales disponibles estuvo especificado; estos canales fueron divididos entre las células y los sectores; se utilizaron uno, tres, o seis-sectores de la célula. Los usuarios móviles y fijos se generan independientemente. Los usuarios se generan aleatoriamente en tiempo y localización.

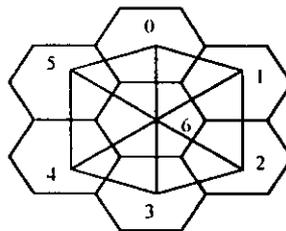


Fig. 15 Grupo de siete células con muestra de las trayectorias.

Los parámetros del modelo de simulación son:

**CELLMAX** .- número máximo de usuarios activos en una célula.

**MOBILEMAX** .- porcentaje máximo de usuarios móviles en el grupo, donde el usuario móvil viaja entre las células.

**SPEEDMAX** .- velocidad máxima posible de un usuario móvil.

**CALLMAX** .- duración máxima de las llamadas de los usuarios.

**RADIUS** .- radio de la célula.

En el modelo de simulación los usuarios móviles se encuentran en las direcciones donde viajan. Esta dirección es generada aleatoriamente, pero depende del número de la célula de origen debido a que no todas las células soportan todas las direcciones (excepto para el centro de la célula). Un usuario móvil viaja durante la duración de la llamada y puede cruzar varias células; en cada célula la dirección de viaje es generada aleatoriamente.

## RESULTADOS.

El tiempo de espera promedio para que un canal este disponible depende del número de canales, usuarios en la célula, y duración de la llamada en la célula para cada usuario. El tiempo de la llamada es el tiempo que dura la toma de una llamada en la célula. Para los usuarios fijos (no-móviles) este tiempo puede ser muy grande, mientras que para los usuarios móviles este tiempo puede ser muy breve. La longitud de la llamada impacta el número de canales ocupados y el tiempo de espera promedio.

En el experimento de simulación se utilizaron 200 canales disponibles y siete células por grupo con seis sectores por célula. En los 200 canales para grupos de siete-células se obtuvieron  $(200/7) = 28$  canales por célula. Con seis sectores por célula, se permitió obtener  $(6 \times 28)$ , esto es, 168 canales disponibles efectivos por célula. El radio de la célula fue de 50 unidades. Se consideraron seis casos diferentes y se hicieron 10 simulaciones para cada caso. El promedio, tiempo de espera máximo, y tiempo de handoff para usuarios móviles para diferentes parámetros del modelo en seis casos se muestran de la Tabla 2 a la 7. Estos resultados dependen de la dirección de viaje de los usuarios móviles, y si suficientes usuarios móviles dejan las células, el tiempo de espera puede caer a cero. Esto sucede cuando existe al menos un canal por usuario.

En el experimento de simulación existen 168 canales por célula para servir a un máximo de 200 usuarios por célula ó 0.84 canales por usuario; esto significa que no existen suficientes canales por usuario.

Los datos del experimento muestran que el tiempo de espera promedio y la mayor parte del tiempo de handoff son más pequeños cuando el porcentaje de usuarios móviles es del 50 (caso 3). En comparación al caso de 66 de usuarios móviles (caso 1) el tiempo de handoff promedio fue menor a tres veces el caso del 50 de usuarios móviles  $(4.04/1.2 = 3.37)$  (fig. 16). Esto es debido a que los usuarios móviles requieren más handoffs, y debido a que no existen suficientes canales por usuario se incrementa el tiempo de espera. Sin embargo, disminuyendo el porcentaje de usuarios móviles no siempre disminuye el tiempo de espera. En la tabla 6 (caso 5) el porcentaje de usuarios móviles fue reducido a 33, pero el tiempo de espera handoff promedio se incrementó tres veces en comparación al 50 de usuarios móviles  $(3.49/1.2) = 2.91$ .

La razón fue que los usuarios fijos (no-móviles) tuvieron ocupados los canales. Así, aunque se tiene poco handoff, existen también pocos canales disponibles para los usuarios móviles y el tiempo de espera se incrementa.

Caso 1 CELLMAX = 200, MOBILEMAX = 66, SPEEDMAX = 2, CALLMAX = 600										
Tiempo de espera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio	50	50	50	50	1	55	50	65.3	30	56.1
Handoff	43	1	71	11	1	66	1	119	1	90
Máximo	83	50	100	50	0	102	50	160	30	115
Promedios: promedio-4.57 s; handoff-4.04 s; máximo-7.40 s.										

Tabla 2 Promedio, handoff, y tiempo de espera máximo (1/10 s unidad) para diferentes parámetros del modelo (caso 1)

Caso 2: CELLMAX = 200, MOBILEMAX = 66, SPEEDMAX = 2, CALLMAX = 1200										
Tiempo de espera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio	123.5	63.7	82.4	0	160.5	50	50	50	91.8	68
Handoff	161	87	112	0	193	2	2	41	216	111
Máximo	194	101	145	0	229	50	50	50	253	136
Promedios: promedio-7.4 s; handoff-9.25 s; máximo-12.08 s.										

Tabla 3 Promedio, handoff, y tiempo de espera máximo (1/10 s unidad) para diferentes parámetros del modelo (caso 2)

Caso 3. CELLMAX = 200, MOBILEMAX = 50, SPEEDMAX = 2, CALLMAX = 600										
Tiempo de espera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio	50	0	50	50	8	50	40	50	16	1
Handoff	5	0	1	6	0	60	1	43	0	0
Máximo	50	0	50	50	8	93	40	88	16	0
Promedios: promedio-3.15 s; handoff-1.2 s; máximo-3.95 s.										

Tabla 4 Promedio, handoff, y tiempo de espera máximo (1/10 s unidad) para diferentes parámetros del modelo (caso 3)

Caso 4. CELLMAX = 200, MOBILEMAX = 50, SPEEDMAX = 2, CALLMAX = 1200										
Tiempo de espera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio	50	55.6	83.9	50	103.7	50	50	243	50	50
Handoff	129	100	130	21	177	8	5	248	5	58
Máximo	146	129	154	50	217	50	50	281	50	100
Promedios: promedio-7.86 s; handoff-8.81 s; máximo-12.27 s.										

Tabla 5 Promedio, handoff, y tiempo de espera máximo (1/10 s unidad) para diferentes parámetros del modelo (caso 4)

**Caso 5: CELLMAX = 200, MOBILEMAX = 33, SPEEDMAX = 2, CALLMAX = 600**

Tiempo de espera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio	58.6	55.7	0	51.3	50	50	50	0	53.3	50
Handoff	48	57	0	61	43	51	14	0	74	1
Máximo	93	98	0	107	84	100	50	0	110	50

Promedios: promedio-4.19 s; handoff-3.49 s; máximo-6.92 s.

Tabla 6 Promedio, handoff, y tiempo de espera máximo (1/10 s unidad) para diferentes parámetros del modelo (caso 5)

**Caso 6: CELLMAX = 300, MOBILEMAX = 66, SPEEDMAX = 2, CALLMAX = 600**

Tiempo de espera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio	79.7	215	208	177.1	155.9	196	169.5	95.5	301.5	333
Handoff	177	266	223	242	250	270	228	223	341	332
Máximo	224	300	263	273	292	293	268	235	373	374

Promedios: promedio-19.31 s; handoff-25.5 s; máximo-28.95 s.

Tabla 7 Promedio, handoff, y tiempo de espera máximo (1/10 s unidad) para diferentes parámetros del modelo (caso 6)

En el experimento siguiente la duración de la llamada se incremento de 1 a 2 minutos como se muestra en la fig. 17. Esto causo que el tiempo de espera fuera del doble para el caso de 66 de usuarios móviles y el cuádruple para el caso de 50 de usuarios móviles. La razón, es que los usuarios fijos conservan los canales ocupados. El número máximo de usuarios se incremento a 300 dando una razón de (168/300) ó 0.56 canales por usuario.

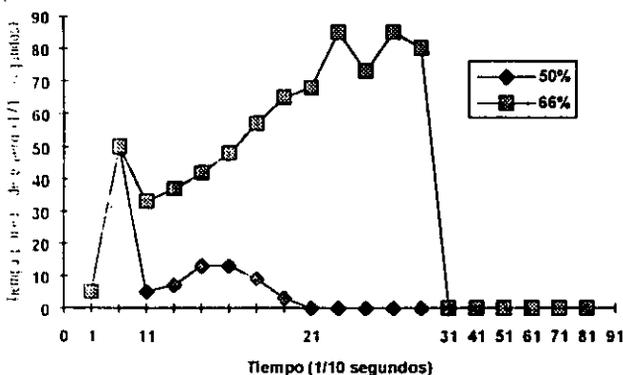


Fig 16. Tiempo promedio de espera para que un canal este disponible para diferentes porcentajes de usuarios móviles.

Como se muestra en la fig. 18, el tiempo promedio de espera se incrementa significativamente en este caso. Finalmente, se probó el efecto del radio de la célula en el tiempo de espera handoff, la

fig. 19 muestra que radios pequeños tienen un tiempo de espera grande para el mismo número de usuarios en la célula. La razón es que un radio pequeño causa handoffs frecuentes.

En la fig. 16, 17, y 18 el tiempo de espera promedio cae a cero cuando suficientes usuarios móviles dejan la célula para permitir un canal por usuario.

Estos resultados muestran que el número de canales por usuario y el tiempo de la llamada tienen un impacto significativo en el funcionamiento de las redes celulares. Cambiando el tamaño de la célula y dividiendo la red se cambian estos números y el funcionamiento mejora de acuerdo a los requerimientos. Para la misma densidad de usuarios en la red, células pequeñas permiten pocos usuarios por célula, y así mas canales por usuario. Esto disminuye el tiempo de espera promedio para que un canal este disponible.

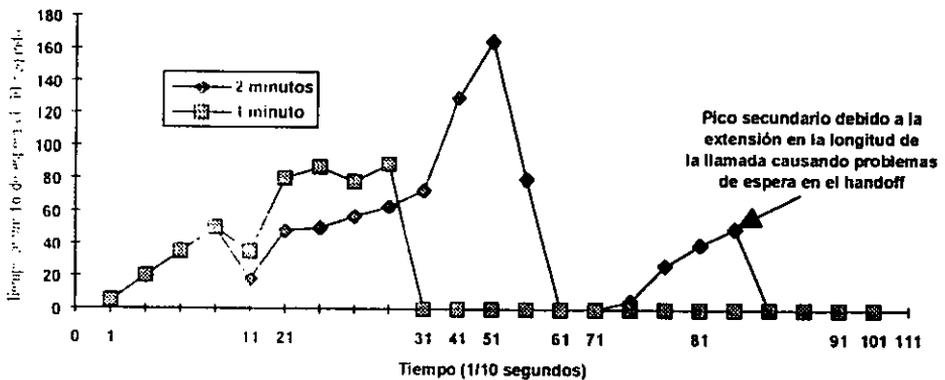


Fig. 17 Tiempo promedio de espera para que un canal este disponible para promedios diferentes del tiempo de una llamada en una célula.

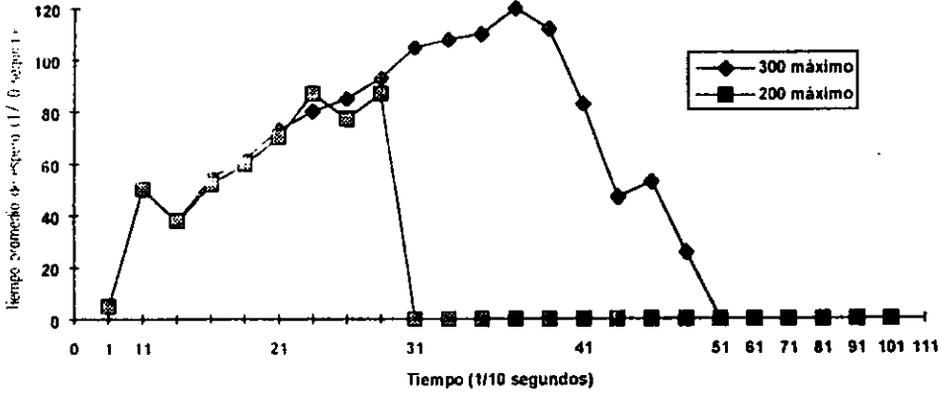


Fig. 18 Tiempo promedio de espera para que un canal este disponible para un número diferente de usuarios en una célula.

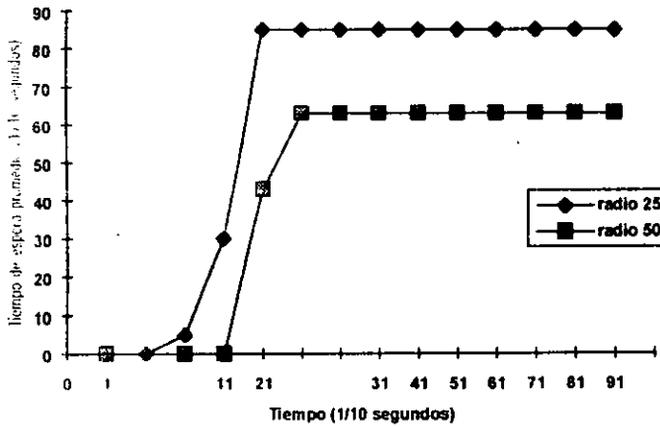


Fig 19 Tiempo de espera promedio para que un canal este disponible para radios de células diferentes.

## SISTEMAS CELULARES.

Los factores más importantes para que la eficiencia espectral de una red se incremente no es el lenguaje eficiente, codificación de canales, modulación, y protocolos sino el despliegue eficiente de microcélulas. Esta técnica permite la reutilización del espectro.

Existen dos componentes principales en los sistemas radio móvil:

- a) Interface aérea que permite a los usuarios moverse mientras se realiza la comunicación vía radio de la Estación Móvil a otra componente.
- b) Red fija que interactúa con PSTN o la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN, *Integrated Services Digital Network*).

Lo complejo del radio celular público es la estructura de control que habilita a la red para conocer la localización MS y rastrear de donde el MS hace la llamada, cuando el equipo móvil esta encendido. El mecanismo de control actúa mediante un conjunto de protocolos que habilitan a las MS entre las Estaciones Base cuando viajan, y controla el nivel de potencia de radiación.

Sin embargo, el número de usuarios que una red puede soportar depende fundamentalmente de la Interface Aérea Común (CAI, *Common Air Interface*), por la cual los usuarios se comunican. La capacidad usuario depende fundamentalmente de:

- \* la cantidad disponible de espectro,
- \* tamaño de la cobertura de radio desde la BS, y
- \* cantidad de interferencia que el enlace de radio particular puede tolerar

## PLANEACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LA PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN.

**Grupos de células:** Debe conocerse cómo y dónde colocar las BSs, manejo del espectro de radio, y como optimizar el teletráfico. Aquí se considerará una red celular que utiliza Acceso Múltiple de División de Frecuencias (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*) o una combinación de Acceso Múltiple de División de Tiempo (TDMA, *Time Division Multiple Access*) y FDMA.

Una célula es el número de terminales móviles residentes dentro del área de cobertura de radio de un transceptor BS. Con el despliegue de las BSs las células son cubiertas (traslapadas) parcialmente por otras células en los límites, como se muestra en la fig. 20.

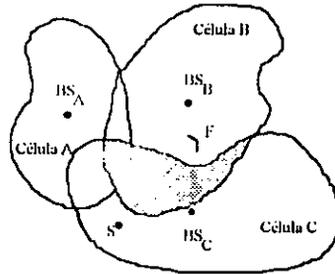


Fig. 20 Traslape de células con una terminal móvil que viaja de S a F.

Cuando el móvil comienza la llamada en la posición S de la célula C, este sigue la ruta punteada mostrada en la figura, y termina la llamada en la posición F de la célula B. En algún punto dentro de la región superpuesta el nivel de la señal recibida en el móvil es inferior al umbral del sistema y menor que el nivel de la señal recibida de BS<sub>B</sub>. La señalización entre el móvil, los BS<sub>B</sub>, y los centros de control es resultado de las instrucciones realizadas con el móvil, el cual es manejado por BS<sub>B</sub> para mantener la calidad de la llamada.

Las células están ordenadas en grupos, y cada grupo usa como entrada el espectro localizado disponible. El espectro es reutilizado repetidamente sobre áreas geográficas grandes, cada grupo contiene el mismo número de usuarios. En dos grupos de cuatro células, las células A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>, C<sub>0</sub>, y D<sub>0</sub> forman el grupo<sub>0</sub>, y las células A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> y D<sub>1</sub> el grupo<sub>1</sub>. Las células A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub> están asignadas al mismo conjunto de canales los cuales son un cuarto de los canales disponibles. Se aplica lo mismo a B<sub>0</sub> y B<sub>1</sub>, C<sub>0</sub> y C<sub>1</sub> y D<sub>0</sub> y D<sub>1</sub>. Los móviles en las células A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub> utilizan los mismos canales e interfieren unos con otros. Esta Interferencia Cocanal está dentro de los límites aceptables entre las células. A medida que el móvil viaja de una célula a otra (la cual puede estar en un grupo diferente) este es asignado a un canal diferente, lo que significa un mensaje de frecuencia diferente. Mientras los grupos utilizan todos los canales disponibles, el tamaño de la célula disminuye ocasionando que el tamaño del grupo disminuya y el número de canales por unidad de área se incrementa. La manera más efectiva de incrementar la capacidad de la red es disminuir el tamaño de la célula, aunque la infraestructura de la red aumente su complejidad.

La capacidad de la red depende también del número de células por grupo, con menos células por grupo la capacidad es mayor; con menos células el ancho de banda disponible en cada BS será mayor y se pueden desplegar más canales en cada BS. La relación entre el teletráfico en Erlang y el número de canales en el BS no es lineal; incrementando el número de canales BS el teletráfico aumenta.

## ESCENARIOS DE DESARROLLO.

Las BSs son colocados de acuerdo al rango máximo que puede acomodarse. Este rango depende de:

- \* características físicas del medio ambiente,
- \* frecuencia de propagación,
- \* ganancia de la antena, y
- \* características físicas del equipo

En la fase inicial la capacidad no es el problema principal por lo que se utilizan los grupos más grandes, estos ocasionan una interferencia cocanal casi imperceptible. Esta interferencia es provocada por móviles en grupos vecinos usando el mismo canal.

A medida que la red va creciendo, la capacidad llega a ser un factor importante. El tamaño del grupo disminuye mientras se mantiene la relación Señal Interferencia (SIR, *Signal to Interference Ratio*) para asegurar que la calidad del enlace sea aceptable; los sistemas de la primera y segunda generación de Telefonía Móvil Analógica (AMPS, *Advanced Mobile Phone System*) y GSM utilizan células grandes. Estas células tienen antenas localizadas en lo más alto de edificios grandes. Las antenas omnidireccionales son reemplazadas por antenas direccionales que dividen a la célula en sectores para evitar rentas adicionales sobre las BS's colocadas, y variaciones de los edificios; esta sectorización resulta generalmente al incrementarse el SIR, el cual mejora la calidad de la transmisión de radio. Si en la sectorización no se cambia el tamaño del grupo, entonces cada BS colocada tiene el mismo número de canales. Supóngase que cada célula es dividida en tres sectores, y los canales en cada sector son una tercera parte del total de canales; para el mismo bloque la probabilidad de carga de tráfico es tres veces la carga de tráfico en cada sector, y esta es menor que la carga de tráfico de la célula original antes de la sectorización. Si el tamaño del grupo disminuye cuando se introduce la sectorización, la carga de tráfico aumenta, ya que la disminución del tamaño del grupo aumenta el número de canales por sitio. Por ejemplo, cambiando un omni-grupo de 7 células por un grupo de 4 células con tres sectores por célula se tiene una ganancia en la carga de tráfico menor a 1.75.

El SIR mínimo aceptable (denotado por  $SIR_{\min}$ ) depende del sistema específico. Por ejemplo, en una red FDMA, el SIR promedio requerido es de aproximadamente 18 dB en desvanecimientos multirayectoria. En una transmisión discontinua (DTX, *Discontinue Transmission*; la transmisión se detiene mientras el usuario no está hablando), la potencia de transmisión está restringida a dar solo la potencia de recepción suficiente para asegurar la calidad del enlace, cada sistema puede permitir un  $SIR_{\min}$ . Los sistemas digitales TDMA incluyen técnicas adicionales como codificación, "traslape", y salto de frecuencia para alcanzar mejoras nuevas. Por ejemplo, un sistema GSM puede diseñarse con un  $SIR_{\min}$  de 9 dB, aunque es conveniente utilizar una figura alta. Con un  $SIR_{\min}$  inferior o bajo se habilitan pocas células por grupo.

## MICROCÉLULAS.

La capacidad requerida por la red, cobertura, y bajo costo del equipo e infraestructura requieren despliegues BSs pequeños, fáciles y "baratos". Las microcélulas son utilizadas en sistemas celulares aunque su tamaño y costo debe reducirse. Las BS son muy pequeñas y no tan caras en los sistemas inalámbricos, como el Sistema Inalámbrico de Telecomunicaciones Europeo (CT-2) y el Sistema Digital Inalámbrico de Telecomunicaciones Europeo (DECT), pero ya que no fueron diseñadas para redes celulares no proporcionan la capacidad que se requiere para PCS.

Las macrocélulas están interconectadas a centros de conmutación móviles en configuración estrella, lo que facilita la transmisión, como en los enlaces de 1.5 Mb/s (North-American T1 Standard) o 2 Mb/s (European). Algunas microcélulas son "sitios de radiación remota" principalmente, en donde las señales radio móvil RF o IF son transmitidas sobre un enlace óptico, o un enlace de radio punto a punto de microondas, que actúa como el centro físico de la microcélula.

Establecer un BS en sistemas de primera y segunda generación implica usar herramientas de planeación, estas predicen la cobertura de radio desde posiciones BS con errores en la "perdida de trayectoria" que exceden los 20 dB y requieren mantener las medidas de propagación. Las herramientas de planeación para las microcélulas de calle son más seguras siempre y cuando cumplan con la condición de que la antena BS este montada sobre una línea urbana. La propagación de las microondas en microcélulas está determinada principalmente por la topología de las calles y sus construcciones, y por lo tanto las microcélulas son irregulares si las calles lo son.

## MEZCLA DE CÉLULAS.

Existen muchos tipos de células, su tamaño y figura se determina por:

- \* niveles de potencia radiada,
- \* localización de la antena, y
- \* medio ambiente físico de vecindad

La microcélula de calle se determina por la topología circundante de la calle y sus construcciones. Cuando la altura de la antena BS se eleva hasta que aclare, y esta llega a ser superior a algunos edificios, se forman las minicélulas. Colocando la BS en la parte superior de los edificios más altos se producen las macrocélulas. Las células nodales proporcionan una capacidad de radio alta en el nodo de la red, esta es un tipo de célula telepunto. Se pueden formar picocélulas de pocos metros de diámetro, por ejemplo, la habitación de un edificio, células rurales grandes, megacélulas, células satelitales grandes (>500 km).

Al tener sistemas celulares multidimensionales, y células de muchos tamaños se mezcla la complejidad de la planeación de frecuencias. Puede adoptarse la partición del ancho de banda, por ejemplo, las microcélulas podrían dar un ancho de banda mayor, ser capaces de operar con una capacidad muy alta y mantener gran variedad de servicios. Las macrocélulas transnavegantes serían utilizadas para enfrentarse con "puntos muertos de radio" en la red microcelular y sostener los relevos, podrían utilizarse también para móviles vehiculares. Las macrocélulas utilizarían una

banda de frecuencia diferente al de las microcélulas de calle. Las microcélulas de oficina tendrían una banda única para protegerlas de la interferencia de móviles en las microcélulas de calle, pero se tendrían dificultades para proporcionar la frecuencia adecuada para las microcélulas de oficina en los edificios adyacentes y dentro de las construcciones; una desventaja es la disminución en la carga de tráfico total. La disposición de los métodos de canales dinámicos son considerados para aliviar las dificultades de la planeación de frecuencias.

## ESTACIONES HANDOVER EN SISTEMAS FDMA Y TDMA.

Como se mencionó anteriormente Handover (HO) o Handoff, es el procedimiento que ocurre cuando el MS cambia la comunicación de un BS a otro BS adyacente, cuando la señal recibida disminuye en el umbral del sistema. Existen dos tipos principales de Handover:

- a) Hard Handover (HHO): la comunicación del MS con un BS se separa antes de que se restablezca con el BS nuevo; es decir, se hace un rompimiento antes de ordenarse.
- b) Soft Handover (SHO): el BS existente y el BS nuevo que asumirá la responsabilidad de establecer la llamada de comunicación simultánea con el MS, proveen un radio máximo combinando diversidad en el móvil, y seleccionando diversidad al final de la red.

HHO es utilizado comúnmente en FDMA y TDMA, mientras que SHO se utiliza en CDMA. SHO tiene el privilegio de que la calidad del enlace se incrementa en donde más se necesita, es decir, en los límites de la célula.

La preparación para un HO puede ser un procedimiento complejo. Primero, la decisión de cuándo y dónde debe hacerse el HO, entonces ambos, el microteléfono y la red deben cambiar. El algoritmo de decisión utiliza generalmente el Indicador de la Fuerza de la Señal Recibida (RSSI, *Received Signal Strength Indication*) y la Tasa de Bits Erroneos (BER, *Bit Error Rate*) para detectar la necesidad del HO e identificar el canal libre en la célula vecina. Hay umbrales para RSSI y para BER, la histeresis y muchos sistemas pueden ser utilizados para excluir a los HHOs repetidos en TDMA. Existe un gran número de esquemas HO; algunos apuntan a minimizar la probabilidad de terminación forzada de llamadas en progreso, debido a fallas HO y a la degradación en la utilización de espectros. Por ejemplo, los canales pueden reservarse a los HHOs, y a los algoritmos que han sido adoptados de aplicaciones de la telefonía alámbrica para manejar cada reservación. Otra característica de los HHOs es el balance o disipación de la carga de tráfico a través de células vecinas. Por ejemplo, cuando la carga de teletráfico excede un umbral predeterminado, algunas llamadas cambian a células adyacentes para balancear la carga de teletráfico. Algunas células transnavegantes son utilizadas frecuentemente para ayudar a células pequeñas, las cuales no tienen temporalmente canales libres para el HHO. Este procedimiento habilita a las células pequeñas a operar con un canal de utilización elevada, incrementando la probabilidad de bloqueo conociendo que la célula transnavegante está disponible para dar los HHOs cuando se necesite.

Los sistemas celulares usan generalmente redes de cambio jerárquico y ejecutan una conmutación en línea en el tiempo de handoff. Las redes de cambio no jerárquicas, aunque ofrecen flexibilidad y facilidad de despliegue continuarán apareciendo en los sistemas de la tercera generación. Si los BSs son enlazados a una LAN óptica, los HHOs requieren paquetes

dirigidos al BS adyacente y permiten al MS comunicarse con el BS, lo que proporciona un mejor enlace. Los paquetes pueden ser redireccionados rápidamente sin carga en la red principal y también llevar a cabo diversidad en los HHO.

## ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANAL EN SISTEMAS FDMA Y TDMA.

La Asignación Dinámica de Canal (DCA, *Dynamic Assignment Channel*) puede operar con FDMA o TDMA, y con acercamientos a la segunda generación de CAIs. En la disposición del canal fijo (FCA, *Fixed Channel Assignment*) canales específicos de los sistemas TDMA o FDMA son asignados a cada BS. Con DCA no hay una relación fija entre las células y los canales que usan. Cada BS puede tener todos los canales disponibles a la entrada del grupo; y desplegarlos óptimamente implementando un HHO rápido al móvil, cuando la ruta perdida llega a ser muy grande o cuando el valor SIR cae debajo del umbral del sistema. Con DCA no hay planeación de frecuencias pero las BSs deben colocarse para asegurar que exista una cobertura contigua. Los algoritmos utilizados seleccionan las cargas y slots de tiempo apropiados para comparar la capacidad de ganancia FCA. DCA permite reutilizar frecuencias entre sectores de la misma célula. Los Sistemas Inalámbricos de Telecomunicaciones CT-2 y DECT utilizan DCA.

La asignación de canales puede hacerse mediante un sistema que se adapte a:

- a) la carga de tráfico en la BS
- b) la interferencia en los canales

En un sistema de tráfico adaptado cada célula examina el uso de canal en las células vecinas y en otras que puedan interferir; evitando aquellos canales que han sido asignados a un usuario nuevo. Un sistema simple y particular es el "prestamo de canal", en el cual se sigue una asignación de canal fijo, pero cuando una célula es sobrepuesta, ésta puede usar canales libres que corresponden a sus vecinos. Otro método es la localización "Markov", esta asigna a cada llamada nueva el primer canal que no esta siendo utilizado ni interferido. Los ordenamientos se optimizan en base a la interferencia entre las células y sus niveles de tráfico. A pesar del algoritmo, se requiere de la comunicación de canal que usa la información entre células o el controlador central.

En contraste, el sistema adaptado de interferencia permite distribuir algoritmos DCA que sean capaces de organizarse por sí mismos. El MS (y quizás su BS) controla la asignación de canales de una llamada sin la necesidad de comunicarse con otros BSs o con un controlador central. En una llamada nueva o en el requerimiento HHO la interferencia es medida en un subgrupo de los canales. Un canal es entonces asignado si ofrece un SIR adecuado. Si se escoge el canal con menos interferencia, se provee una calidad más robusta, mientras que la selección acordada en un orden predefinido puede obtener una capacidad grande. Si el canal no es encontrado, la llamada se bloquea, se forma en una fila o cae. Si un canal apropiado es asignado, la interferencia continua siendo medida y el HHO se inicia una vez más si el SIR llega a ser muy bajo.

Un ordenamiento eficiente es utilizar slots de tiempo inactivos para el monitoreo de interferencia y almacenar los resultados cuando la reasignación de llamada sea necesaria. Un MS y su BS pueden experimentar diferentes SIRs en el mismo canal y así, las medidas se tomarán en ambos al final del enlace. Estas mediciones pueden incluir BER o FER (*Frame Error Rate*), medición

de señales recibidas e interferencia, o estadísticas de la calidad de la señal derivadas del proceso de demodulación. Todos los sistemas celulares digitales proveen medidas de proporción de error y niveles de potencia, pero la precisión de las mediciones en la calidad de la señal puede no obstante ser pobre. Especificándose un umbral SIR mayor que el requerido en el enlace, puede lograr que se tenga fuerza en la medición.

El control en la potencia de transmisión disminuye la interferencia que uno o pocos usuarios causan a otros y mejora la calidad de las llamadas. Para que cada usuario incremente su potencia de transmisión cuando el SIR es inadecuado y disminuirlo cuando este es más que adecuado es el conjunto de niveles de potencia que permiten a todas las estaciones alcanzar el SIR adecuado. Cada método puede aplicarse en sistemas FCA, y son utilizados particularmente con interferencia adaptada (DCA). La Relación Señal de Radio Más Interferencia (SINR, *Signal to Interference Plus Radio*) de 10dB con potencias de transmisión iguales, provoca que los usuarios tengan muchas variaciones del SINR, después de realizar algunas correcciones su funcionamiento es igual y la potencia de transmisión disminuirá gradualmente hasta que los límites de ruido lleguen al nivel de destino.

En la fig. 21 se muestran los resultados de una simulación, las curvas muestran las cargas que pueden soportarse con una calidad de voz equivalente, para FCA y DCA se disponen de un total de 108 canales. De izquierda a derecha, cuando P (bloqueo) es del 1% vemos primero que FCA con tres conjuntos de canales puede mantener 25 Erlang por célula. Entonces DCA provee capacidad para 40 Erlang, con la misma calidad de voz, y DCA con control de potencia provee 65 Erlang. A la derecha, en el límite superior, si los 108 canales hubieran estado disponibles para cada célula sin restricción, la capacidad sería de 90 Erlang.

El control de potencia mejora el funcionamiento, y el proceso DCA no necesita realizar reasignación de canales en proporción a los errores de llamadas, aún con una demanda alta de usuarios. Para algunos operadores, la condición de auto organización, y el sistema "plug and play" es más importante que la ganancia en la capacidad.

Las emisiones importantes en DCA permanecen, debido a que DCA asigna canales mientras cierra el nivel SIR aceptable posible, la reasignación puede ser necesaria mientras otros usuarios vienen y van y mientras la señal deseada cambia. Los estándares celulares de la primera y segunda generación carecen de las medidas características de comunicaciones que se requieren para un DCA eficiente. El retardo puede controlarse buscando miles de canales, lo que puede tomar segundos o decenas de segundos, lo cual es inaceptable si ocurre en tiempo real mientras el usuario está operando la conexión. Esta consideración establece mediciones obvias del SIR y técnicas de búsqueda de canales.

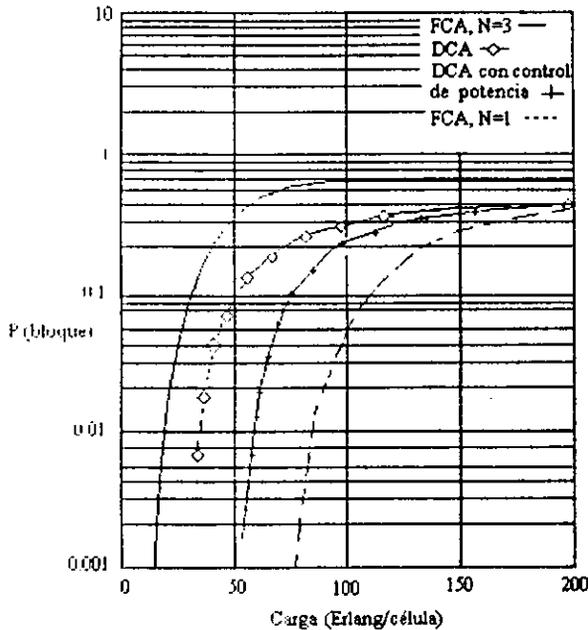


Fig. 21 Bloqueo del funcionamiento de FCA, DCA y DCA/control de potencia con 108 canales.

**SISTEMAS CDMA.**

CDMA tiene muchas virtudes, utiliza grupos de una sola célula, aunque exista interferencia entre células. Además, la sectorización provee ganancias en la capacidad aún en grupos de una sola célula, y la ganancia es proporcional al orden de la sectorización. Básicamente, las BSs en CDMA se colocan para proporcionar cobertura contigua suficiente en células superpuestas para Handover. No se requiere de una planeación de frecuencias en redes CDMA debido a que los grupos de una célula usan la misma frecuencia de carga. Sin embargo, los sistemas CDMA responderán igualmente a la propagación, y a la interferencia externa en formas impredecibles. Soft Handover es utilizado en CDMA, proporciona diversidad de estaciones base ya que el MS recibe transmisión de ambas BS, del BS original y del BS futuro. Asimismo, el MS tiene un número de receptores de banda base (tres o cuatro), los cuales se cierran sobre las rutas más fuertes de ambos, las BSs, y las salidas de estos receptores se combinan. Este arreglo permite a ambas BSs controlar la potencia de transmisión de los MSs. El SHO requiere el uso de canales en ambas BSs; en CDMA es deseable diseñar a las BSs para que tengan un número suficiente de canales para manejar ambos SHO, para móviles entre células, y softer handover (SHO) entre sectores de la misma célula. Cuando un HO en células transnavegantes utiliza una frecuencia de radio diferente, se ejecuta un HHO.

Cuando se emplean multicargas en CDMA, por ejemplo CDMA/FDMA, cada BS utiliza algunas o todas las cargas. Si las macrocélulas transnavegantes son desplegadas, estos pueden usar cargas diferentes de las utilizadas por las microcélulas para cumplir con los requerimientos de control de potencia, los cuales son significativamente más "afianzantes" que aquellos para los sistemas TDMA o FDMA.

## MULTIPLEXAJE ESTADÍSTICO.

Para llevar a cabo la utilización eficiente de los recursos del canal, el lenguaje de los usuarios puede ser multiplexado. Desgraciadamente, el multiplexaje crea otro problema, recursos insuficientes para acomodar todos los servicios requeridos en momentos de gran demanda. Para las transmisiones de paquetes de lenguaje, deben evitarse los retardos excesivos que son resultado de paquetes que llegan después del periodo de retardo aceptable. Para mantener una calidad del lenguaje, la proporción de caída debe ser baja, y puede desplegarse en el "post-procesamiento" del lenguaje recuperado que utiliza técnicas de sustitución de formas de onda.

El multiplexaje estadístico de usuarios puede llevarse a cabo solamente si hay un mecanismo de señalización efectivo que dispondrá los recursos del canal sobre la demanda. En un sistema de transmisión de paquetes, el control de la información constituye una parte importante del protocolo. Una buena técnica diseñada de acceso múltiple asegura que el sistema sea estable si el control de información se pierde o si se corrompe durante la transmisión. El control de información ayuda a proveer no solamente las funciones de llamada establecidas, mantenimiento de llamada, y limpieza de llamada, sino también funciones relacionadas con paquetes dinámicos disponibles, reservación, y reubicación en un sistema de multiplexaje estadístico. Con el advenimiento de microcélulas, la rapidez y seguridad de este control de información es aún más crucial. Cuando es necesario encapsular el control de información con datos de lenguaje, y tener redes de cambio de paquetes, se consume más ancho de banda. Dada la escasez de espectro de frecuencias en las redes inalámbricas, un sistema con independencia de canales de señalización y lenguaje integrado es digno de consideración. La cantidad de control de información, su frecuencia y grado de protección de error tienen impacto sobre el diseño final del protocolo de acceso múltiple.

## MEDICIONES DE PROPAGACIÓN Y MODELOS PARA CANALES DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICOS.

Para lograr la ubicuidad PCS se requieren nuevas y originales formas de clasificar los ambientes inalámbricos. Las comunicaciones personales inalámbricas en un principio utilizaron varios medios físicos sonido-radio-luz pero debido a la necesidad de vencer las limitaciones de las comunicaciones acústicas, las comunicaciones se enfocaron a la propagación de las ondas electromagnéticas.

El resultado de la propagación influye en los sistemas de comunicación personal de varias maneras. Primero en la distribución de la potencia principal sobre el área de interés para una comunicación confiable. La energía debe ser suficiente para el enlace en cuestión, pero si esta energía se sobrepasa se puede ocasionar interferencia co-canal (co-channel). Además, debido a que el enlace de radio experimenta variaciones grandes sobre distancias cortas, mediante la distribución estadística se ayuda a la distribución de desvanecimientos que dependen del ancho de banda de la señal. Segundo, se debe tener potencia suficiente para evitar tener errores cercanos. Como resultado de movimientos rápidos a través de ambientes dispersos, o dificultades ocasionadas por resonancia se origina la interferencia-inter-símbolo.

Los modelos de propagación para señales son de dos clases:

- a) Modelos estadísticos paramétricos, los cuales mediante un promedio describen el fenómeno para un error.
- b) Modelos específicos, estos modelos son de naturaleza determinística, caracterizando calles específicas, edificios, etc.

### FÍSICA DE PROPAGACIÓN.

Los mecanismos que gobiernan la propagación de radio son complejos y diversos, y pueden estar atribuidos a tres mecanismos básicos de propagación: reflexión, dispersión, y difracción.

- a) La reflexión ocurre cuando la propagación de una onda electromagnética incide sobre una obstrucción de dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda de radio. Las reflexiones sobre la superficie de la tierra y de edificios producen ondas, que pueden interferir de manera positiva o negativa en el receptor.
- b) La difracción ocurre cuando la trayectoria de radio entre el transmisor y el receptor es obstruida por un cuerpo impenetrable. Basado en el principio de Huygen, las ondas secundarias se forman detrás del cuerpo de obstrucción, aunque no se tenga una línea de vista (LOS, *Line-of-Sight*) entre el transmisor y el receptor. Mediante la difracción la energía de radio frecuencia (RF, *Radio Frequency*) viaja en ambientes urbanos y rurales sin una trayectoria LOS. Este fenómeno es también llamado "sombreado", porque el campo difractado puede alcanzar al receptor al igual que cuando este se encuentra bajo la sombra de un cuerpo.

c) La dispersión ocurre cuando el canal de radio tiene objetos de dimensiones del orden de la longitud de onda o menores a la onda de propagación. La dispersión causa que la energía del transmisor sea "re-radiada" en varias direcciones.

Este resultado es el más difícil de predecir en los sistemas de comunicación personal inalámbricos. Por ejemplo, en los sistemas microcelulares urbanos, los postes y las señales de las calles dispersan energía en varias direcciones de manera que proporcionan una cobertura RF a localizaciones que no reciben energía mediante la reflexión y difracción. Estos tres mecanismos se ilustran en la fig. 22.

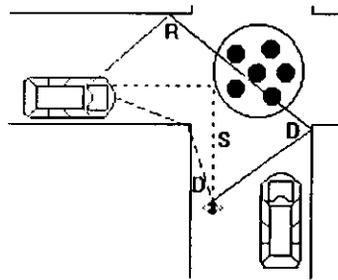


Fig. 22 Bosquejo de los tres mecanismos de propagación: reflexión (R), dispersión (S), y difracción (D).

Como el radio móvil se mueve sobre un área de cobertura los tres mecanismos de propagación tienen impacto en la señal recibida, por ejemplo, si el móvil tiene una trayectoria LOS clara a la estación base la difracción y la dispersión no dominan la propagación; igualmente si el móvil se localiza en la calle de un área metropolitana sin una trayectoria LOS a la estación base, se tiene una probabilidad grande de que la dispersión y difracción dominen la propagación. Como el móvil se mueve sobre distancias pequeñas la potencia de la señal de banda angosta recibida tendrá una fluctuación grande aumentando las escalas de desvanecimientos. La razón de esto es que el campo es la suma de diversas contribuciones de diferentes direcciones y aleatoriedad de fases; está suma actúa como una señal de ruido, esto es, desvanecimientos Rayleigh. En escalas pequeñas de desvanecimientos, la potencia de la señal recibida puede variar de tres a cuatro veces el orden de la magnitud (30 o 40 dB) cuando el receptor se mueve fracciones de una longitud de onda. Como el móvil se mueve fuera del receptor sobre distancias grandes, el promedio local de la señal recibida disminuirá gradualmente. Usualmente el promedio local de la señal se calcula sobre movimientos del receptor de 5 a 40 longitudes de onda. En la fig. 23 se muestran los efectos de escalas pequeñas de desvanecimientos y variaciones grandes en las escalas de la señal para sistemas de comunicación de radio interiores; los desvanecimientos rápidos de la señal se producen cuando el receptor se mueve, pero el promedio local de la distancia cambia más lentamente.

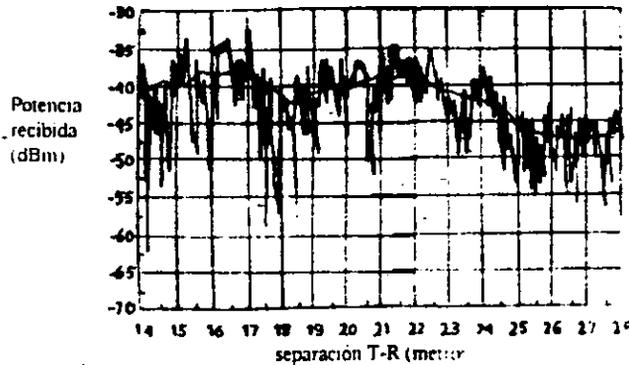


Fig. 23 Niveles típicos de la señal recibida para un sistema de comunicación interior de radio. Con escalas pequeñas de desvanecimientos se producen cambios de nivel de nivel de más de 20 dBm o más, donde el nivel promedio de la señal local cambia más lentamente con respecto a la distancia.

En un sistema móvil de radio son de interés dos resultados en el canal de radio: Presupuesto de Enlace (link budget) mejor conocido como "Cálculo de Enlace" y Tiempo de Dispersión. El Presupuesto de Enlace se determina por la cantidad de potencia recibida que puede esperarse en una distancia o localización en particular del transmisor; esto determina fundamentalmente los requerimientos de potencia del transmisor, área de cobertura y vida de la batería. El tiempo de dispersión aumenta debido a la propagación multitrayectoria por lo que duplicados de la señal transmitida alcanzan al receptor con retardos de propagación diferentes. El tiempo de dispersión natural del canal determina la tasa de datos máxima que puede transmitirse sin ecualización y la exactitud de los servicios de navegación como la localización de vehículos.

## PARÁMETROS DE PROPAGACIÓN.

**Perdida de Trayectoria.**- Los cálculos del Presupuesto de Enlace requieren de una estimación del nivel de potencia para poder calcular la razón señal a ruido (SNR, *Signal-to Noise-Ratio*), o la Razón Portadora Interferencia (C/I, *Carrier-to Interference*). Debido a la interferencia en los sistemas móviles de radio (ocasionada por la dispersión de otros usuarios dentro de un mismo canal) los efectos térmicos y los realizados por el hombre son a menudo insignificantes en comparación con los niveles de la señal de los usuarios cocanal. Así, entender los mecanismos de propagación en los sistemas inalámbricos es importante no solamente para predecir la cobertura de un usuario móvil en particular; sino también para predecir las señales de interferencia que experimentan los usuarios de otras fuentes RF.

PL (*Path Loss*) denota la Pérdida de Trayectoria y es la potencia local promedio de la señal recibida relativa a la potencia de transmisión. Esta es una cantidad útil debido a que la potencia de la señal recibida es usualmente medida como el promedio local del espacio; contrariamente a un valor instantáneo. En los canales radio móviles reales no se utiliza el espacio libre. Un modelo general PL utiliza un parámetro  $n$ , para denotar la relación de la ley de potencia entre la distancia y la potencia recibida. PL (dB) es expresada en función de la distancia ( $d$ ), como:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log(d/d_0) + X_\sigma \quad (1)$$

donde  $n = 2$  para el espacio libre, y es generalmente alta para canales inalámbricos.

El término  $PL(d_0)$  da un PL en una distancia de referencia  $d_0$  cercana, la cual se localiza en el campo lejano de la antena de transmisión (1 km para sistemas móviles urbanos, 100 m para sistemas microcelulares y 1 m para sistemas interiores) y  $X_\sigma$  denota el cero principal para una variable aleatoria (en dB), la cual refleja la variación en la potencia promedio recibida que ocurre cuando se utiliza el modelo PL. Debido a que el modelo PL es para distancias de separación entre el transmisor y el receptor, y no para características físicas del ambiente de propagación, es natural que varias mediciones tengan la misma separación T-R, pero no se tienen variaciones grandes de los valores PL. La precisión de un modelo PL se mide por la desviación estandar  $\sigma$  de la variable aleatoria  $X_\sigma$ . con valores pequeños de  $\sigma$  se refleja una exactitud mayor en el modelo de predicción PL.

En la fig. 24 como ejemplo, se muestran los valores PL medidos como función de la distancia en cinco ciudades de Alemania y muestra la superposición del modelo y los valores medidos.

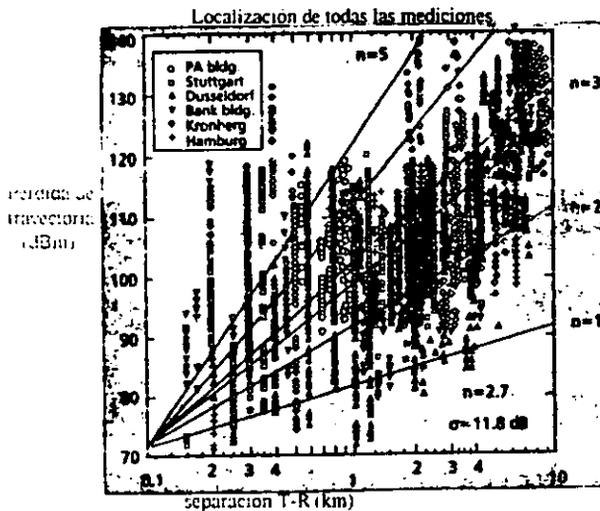


Fig. 24 Ejemplo de un mapa de dispersión de la pérdida de trayectoria vs. la distancia, medida en cinco ciudades en Alemania. La pérdida de trayectoria tiene para el espacio libre tiene como referencia  $d_0 = 100$  m. El valor de  $\sigma$  tiene un valor de 11.8 dB durante una amplitud grande de valores PL relativos a una línea recta.

Este tipo de "delineamiento" se llama "scatter plot", y es útil para evaluar rápidamente las tendencias y variaciones de la pérdida de trayectoria a lo largo del sistema de radio. Para lograr valores bajos de  $\sigma$ , se requiere de más información acerca del ambiente, ambiente de sitios específicos o utilizar distancias de cobertura pequeñas cuando se utiliza el modelo PL.

**Amplitud del Retardo Multitrayectoria.**- El tiempo de dispersión tiene variaciones grandes en un canal radio móvil debido a la dispersión y reflexión que ocurren en localizaciones aleatorias, y que producen respuestas aleatorias en el canal multitrayectoria. Debido a que el tiempo de dispersión depende de la relación geométrica entre el transmisor, receptor, y el ambiente físico circundante, son importantes los modelos estadísticos en los parámetros del tiempo de dispersión así como promedios rms. Para demostrar como las características multitrayectoria pueden cambiar rápidamente obsérvese la fig. 25, la cual muestra uno de los peores casos de tiempo de dispersión en la multitrayectoria reportado en los sistemas radio celulares en Estados Unidos.

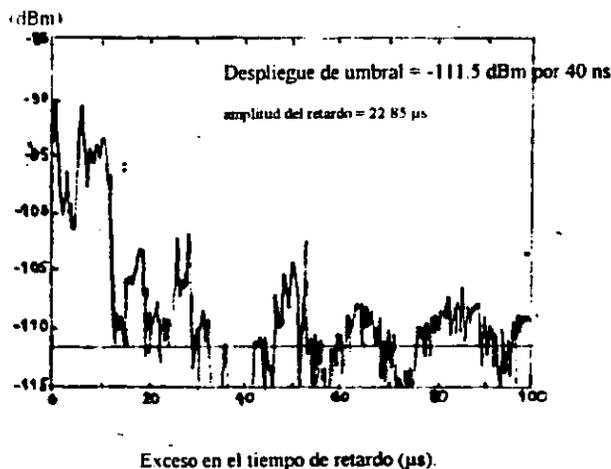


Fig. 25 Uno de los peores casos de tiempo de dispersión multitrayectoria observado en un sistema radio celular. Mediciones realizadas en San Francisco California en (1996)

En la fig. 25 se indica la energía multitrayectoria abajo de 18 dB de las primeras señales que llegan con un exceso de retardo de 100  $\mu$ s en la propagación. Esto corresponde a un exceso en la distancia de viaje de 30 km cuando el receptor se movió solamente algunos metros, las características multitrayectoria observadas llegan a ser más flexibles con un exceso de retardo de no más de 10  $\mu$ s. En los sistemas celulares urbanos, el peor caso de exceso de retardo (99 % de nivel de probabilidad) para "ecos" dentro de 10 dB de la señal máxima, son menores a los 25  $\mu$ s. Usualmente un canal de sonido es utilizado para transmitir una señal de banda ancha la cual es recibida en localidades diversas dentro del área de cobertura deseada. Este canal puede operar en

el dominio del tiempo o de la frecuencia. La respuesta en el dominio del tiempo se observa en la fig. 25.

Estadísticas de tiempo importantes se pueden derivar del perfil de retardo de potencia, y pueden ser utilizadas para cuantificar el tiempo de dispersión en canales móviles.

## PROPAGACIÓN EXTERIOR.

La reutilización de frecuencias se obtiene utilizando una estructura celular de zonas de cobertura de estaciones base. En los textos se observan usualmente estructuras panel de células de forma hexagonal; desafortunadamente el ambiente real cambia las condiciones de propagación de manera que esta célula, definida como el área en la cual PL esta abajo de un valor dado, tiene una forma irregular. Además, en lugares aislados, las células están contenidas dentro de otras, quizá debido a variaciones de altura en la naturaleza de la tierra o de estructuras hechas por el hombre. Incrementando la potencia para una cobertura total de localizaciones se pueden crear otros problemas. A través del lugar de la estación base de la antena y para cierto alcance seleccionado se tiene un diseño de radiación, para la forma de alcance de la célula.

Las células se clasifican usualmente de acuerdo al tamaño en macrocélulas y microcélulas. En la tabla 8 se presentan algunas características distintivas de las células.

	Macrocélula	Microcélula
Radio de la célula	1-20 km	0.1-1 km
Potencia Tx	1-10 W	0.1-1 W
Desvanecimiento	Rayleigh	Nakagami-Rice
Amplitud de retardo rms	0.1-10 $\mu$ s	10-100 ns
Máxima tasa de bit	0.5 Mb/s	1 Mb/s

Tabla 8. Parámetros típicos para macrocélulas y microcélulas.

a) **Macrocelulas.**- La Pérdida de Trayectoria promedio es la que permanece después de promediarla sobre desvanecimientos rápidos ocasionados por la multitrayectoria. Las macrocélulas fueron la base para los sistemas de la primera generación para usuarios móviles, y generalmente se tienen estaciones base en puntos altos como los sistemas de radiodifusión, con cobertura de varios kilómetros. Los desvanecimientos Rayleigh rápidos corresponden a una distribución de ruido, pero variaciones lentas tipo sombras son descritas por un registro de distribución normal, esto es, la Pérdida de Trayectoria promedio en dB tiene una distribución normal, esto puede deberse a que la Pérdida de Trayectoria promedio es resultado de una dispersión de "onda" sobre obstáculos grandes.

En principio la planeación se basó en fórmulas empíricas. En 1968 se hizo la primer medición en el ambiente Japonés, y las curvas derivadas han sido transformadas en fórmulas paramétricas. Este fue un modelo útil en la pérdida de trayectoria (o fuerza de campo) como una ley simple para la potencia, en donde el exponente "n" puede variar como función de la frecuencia, altura de la antena, etc. Expresado simplemente, en una escala "log log", esta es una dependencia lineal ec. 1. La relación es empírica, pero ha resultado útil no únicamente en el ambiente Japonés, sino también en otros ambientes.

Los modelos han sido mejorados con un número de factores de corrección que dependen de la cobertura en la tierra, grado de construcción de áreas, bosques y áreas rurales, y en algunos casos suplementados con uno o dos "filos de cuchillo de difracción": "knife-edge". Ni las Teorías Geométricas de Difracción (GTD, *Geometrical Theory of Diffraction*) ni las Teorías Uniformes de Difracción (UTD, *Uniform Theory of Diffraction*) son exitosas en las macrocélulas debido a que en la ida se tiene distribución múltiple en zonas de transición. El resultado de la predicción de potencia conduce normalmente a una norma de desviación de errores de entre 6 y 10 dB. La habilidad de las computadoras y el uso de bases de datos topográficos no han producido un rompimiento real para predicciones mejores.

En el dominio del tiempo también puede modelarse utilizando bases de datos geográficos, con lo que se ha conseguido éxito en regiones montañosas y ciudades grandes.

### b) Microcélulas.-

**b.1) Sistemas microcelulares.-** Los sistemas microcelulares han atraído gran atención por que con ellos se pueden acomodar más usuarios por unidad de área de servicio que con los sistemas macrocelulares. Además, se permite el acceso mediante potencias portátiles bajas. La propagación microcelular difiere de la macrocelular, como se observa en la tabla 8, células de cobertura pequeña con una altura de antena baja, y potencia de transmisión baja producen características de propagación ligeramente parecidas cuando se compara con los sistemas macrocelulares. Amplitudes de retardo multitrayectoria pequeñas y desvanecimientos poco profundos implican la factibilidad de señales de transmisión de banda ancha sin técnicas de contramedición excesiva contra los desvanecimientos multitrayectoria.

Las microcélulas se planean frecuentemente en áreas urbanas donde se tienen teletráficos pesados. Si la altura de la antena transmisora es más baja que la altura de los edificios circundantes, entonces la mayor parte de la potencia de la señal se propagara a través de la calle. Como el área de cobertura se extiende a lo largo de las calles, a menudo se les nombra "street microcell". En áreas suburbanas, las microcélulas deben utilizarse para realizar la última conexión de milla en una red alámbrica. En este caso la cobertura de la célula debe de ser circular pero se ve afectada por edificios y obstáculos.

**b.2) Microcélulas de Calle.-** Se han realizado estudios respecto a la propagación de las microcélulas en la calle donde la mayor parte de la potencia de la señal se propaga a lo largo de la calle. Esto permite asumir una calle rectangular tipo enrejado con bloques de edificios de altura relativamente uniforme como se ve en la fig. 26a. En este caso, usualmente las curvas de pérdida de trayectoria a lo largo de LOS de la trayectoria se muestran caracterizados por dos pendientes y un punto de ruptura. El exponente de la pérdida de trayectoria es aproximadamente de dos, en una propagación en el espacio libre del transmisor arriba del punto de ruptura. Más allá del punto de ruptura el exponente de pérdida es cuatro, lo que implica una disminución grande de la fuerza de la señal como se ilustra en la fig. 26b. Este punto de ruptura es dado aproximadamente por  $2\pi h_b h_m / \lambda$  donde  $h_b$  es la altura de la antena base,  $h_m$  es la altura de la antena móvil. Sin embargo, si el receptor cambia el curso, en la esquina de la calle LOS a una no línea de vista (NLOS, *Non-Line-of-Sight*) de la calle, el receptor experimentará una disminución más grande de la fuerza de la señal de aproximadamente 20 dB como se muestra en la fig. 26c, aún cuando la variación depende de la extensión de la calle y de la distancia entre el transmisor y la esquina.

En una calle NLOS, la cobertura de la señal tiende a seguir una distribución Rayleigh. En una trayectoria LOS, la cobertura de la señal tiene una distribución Nakagami-Rice.

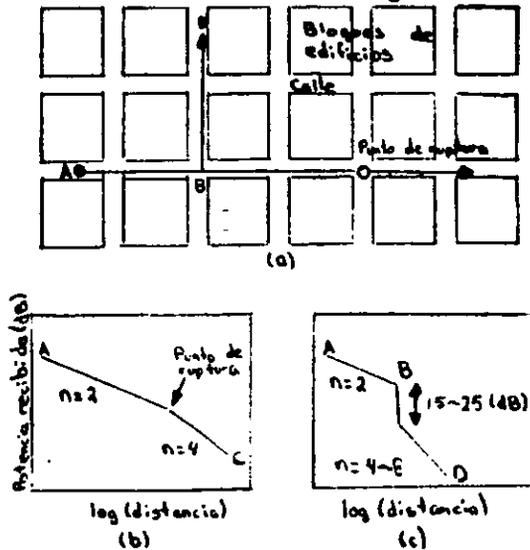


Fig. 2.1. Bloque ideal de calles urbanas: a) curvas de la pérdida de trayectoria a través de una calle LOS b) y a través de una calle NLOS.

**Modelado y Predicción.** Se han propuesto varios modelos de propagación para microcélulas de calle basados en la teoría del rayo-óptico. La predicción de cobertura microcelular basada en el modelo de rayo es exacta, si se compara con el sistema macrocelular. Un modelo de cuatro rayos consiste en un rayo directo, un rayo de reflejo de la tierra, y se asumen dos rayos reflejados por los muros de los edificios a lo largo de las calles. Para una exactitud mayor en la predicción con un costo en el tiempo calculado se utiliza un modelo de seis rayos con rayos de reflejo dobles por las paredes de los edificios.

Debido a la irregularidad en las estructuras de los edificios en las microcélulas, algunas veces se encuentran traslapes, huecos o no se tienen. Así, los métodos de medición base son adoptados para aumentar la exactitud de la predicción. El área de cobertura es afectada fuertemente por la localización de la antena de transmisión. Por ejemplo, cuando se instala en la intersección de calles en Manhattan, se tiene una propagación de onda a lo largo de la calle en cuatro direcciones con subsiguientes difracciones en las esquinas de encuentro; esto genera un área de cobertura similar a la forma de un rombo.

**PROPAGACION INTERIOR.**

Los sistemas interiores de comunicación de radio han tenido un incremento debido a la extensión de voz y servicios de comunicación de datos dentro de los lugares de trabajo. Exámenes recientes muestran una demanda enorme y aceptación por parte de los clientes a las comunicaciones inalámbricas interiores. Algunos sistemas inalámbricos se interconectan con

PSTN o con PBX local para suministrar una extensión parecida a los sistemas telefónicos convencionales, mientras que otros sistemas ofrecen servicios separados a PSTN. Los sistemas interiores pueden dividirse dentro de tres clases principales:

- a) sistema de telefonía inalámbrica
- b) sistemas celulares en edificios
- c) redes de área local (LANs, *Local Area Networks*).

Cada uno de estos tipos de sistemas es diseñado pensando en los canales interiores.

Para el diseño de los sistemas de comunicación interiores, se enlaza directamente el ambiente de propagación como: distancia entre los servidores, aumento de la vida de la batería portátil, expectativas de funcionamiento de clientes y presupuestos de enlaces de radio. La cantidad de interferencia RF que puede esperar el usuario cocanal es un parámetro importante, la cual es función directa de las características de propagación dentro de los edificios.

## PROPAGACIÓN DENTRO DE LOS PISOS DEL EDIFICIO.

Se han conducido mediciones de propagación por compañías de telecomunicaciones, laboratorios de investigación y universidades, estas mediciones muestran un tipo particular de edificio que tiene impacto directo en las características de propagación observadas. Esto ha motivado investigaciones para predecir la propagación interior utilizando modelos determinísticos o estadísticos.

Para diferenciar los fenómenos de propagación, se clasifican a los edificios por las siguientes categorías:

- \* hogares residenciales en áreas suburbanas,
- \* hogares residenciales en áreas urbanas,
- \* edificios de oficinas con paredes fijas (divisiones no flexibles),
- \* edificios con paredes de paneles móviles (divisiones flexibles),
- \* fábricas,
- \* tiendas, y
- \* arenas de deportes

Las divisiones no flexibles describen obstrucciones dentro del edificio que no pueden ser movidas fácilmente. Las divisiones flexibles describen obstrucciones móviles como paneles de muebles de oficina. Dentro de un edificio, la geometría de propagación puede ser clasificada como LOS donde el transmisor y el receptor son visibles uno a otro; o como una vista obstruida (OBS, *Obstruction Sight*) en donde los objetos en el canal bloquean la trayectoria de propagación visible. Las fábricas y tiendas contienen una gran cantidad de metal y a menudo tienen pocas divisiones fijas. Los edificios de oficinas, con muchas paredes de yeso y metal a menudo tienen características de propagación similares a residencias grandes o tiendas con muchas divisiones.

Existe un número importante de eventos de propagación que deben medirse o modelarse antes de diseñar un sistema inalámbrico seguro. Las mediciones realizadas por los investigadores han dado resultados similares, los cuales se resumen a continuación.

**Desvanecimiento Temporal para Terminales Fijas y Móviles.-** Para terminales fijas dentro de edificios, las mediciones han mostrado que el ambiente de movimiento de la gente de un extremo a otro del edificio a menudo origina un desvanecimiento Ricean.

En general, un receptor en movimiento dentro de un edificio experimenta un desvanecimiento Rayleigh para trayectorias de propagación OBS y un desvanecimiento Ricean para trayectorias LOS, sin considerar el tipo de edificio. El factor K Ricean puede variar de 2-10 dB para terminales portátiles dependiendo de la estructura del edificio y del número de componentes multitrayectoria que llegan al receptor.

**Amplitud de Retardo Multitrayectoria.-** Edificios que tienen poco metal y divisiones fijas usualmente tienen amplitudes de retardo rms pequeñas, del orden de 30 a 60 ns. Estos edificios pueden soportar un aumento en la tasa de datos de varios Mb/s sin una equalización. Sin embargo, edificios grandes con una distribución grande de metal y pasillos abiertos pueden tener amplitudes de retardo rms de hasta 300 ns. Estos edificios están limitados a tasas de datos de algunos cientos de kbs sin equalización.

**Perdida de Trayectoria.-** La pérdida de trayectoria es una medición de la atenuación promedio RF dentro de un edificio, y es medida por la señal recibida promedio sobre varias longitudes de onda en el receptor. La ec. 1 también describe la pérdida de trayectoria para sistemas interiores en donde la desviación estandar se deriva de la dispersión del terreno para los datos medidos. Un valor pequeño de  $\sigma$  implica que el modelo de pérdida de trayectoria da una predicción mejor para la pérdida actual dentro del edificio. La ec. 1 es adecuada para el análisis de los sistemas o simulaciones Monte Carlo en donde debe considerarse el impacto de un número grande de usuarios dentro de los edificios. En la tabla 9 se da un rango de valores típicos medidos.

Edificio	Frec (MHz)	n	$\sigma$ dB
Tiendas de "detalle"	914	2.2	8.7
Tiendas de abarrotes	914	1.8	5.2
Oficinas, divisiones fijas	1500	3.0	7.0
Oficinas, divisiones flexibles	900	2.4	9.6
Oficinas, divisiones flexibles	1900	2.6	14.1
<b>Fábrica LOS</b>			
Textil / química	1300	2.0	3.0
Textil / química	4000	2.1	7.0
Alimentos / cereales	1300	1.8	6.0
Industria metalmeccánica	1300	1.6	5.8
hogares suburbanos del interior a la calle	900	3.0	7.0
<b>Fábrica OBS</b>			
Textil / química	4000	2.1	9.7
Industria metalmeccánica	1300	3.3	6.8

Tabla 9. Exponente de la pérdida de trayectoria y duración estandar medida en diferentes edificios.

## PROPAGACIÓN ENTRE PISOS.

Predecir la cobertura de radio entre los pisos de los edificios es difícil, pero las mediciones han mostrado reglas de manejo generales que pueden aplicarse. Cuantificar las condiciones de propagación es importante en los sistemas inalámbricos interiores de edificios, y en los edificios multipisos que necesitan una distribución de frecuencias dentro del edificio. Para evitar la interferencia co canal, las frecuencias deben ser reutilizadas en pisos diferentes. El tipo de material entre los pisos tiene impacto en la atenuación RF entre pisos. El concreto fluido sobre metal es una técnica moderna de construcción en la cual se tiene una atenuación RF menor que en los tableros de acero soldado utilizados para separar los pisos de los edificios viejos. Edificios que tienen una planta cuadrada tienen niveles de atenuación grandes entre los pisos en comparación con los edificios rectangulares. Además, las ventanas con matiz metálico impiden la transmisión RF causando atenuación entre los pisos del edificio.

La pérdida entre los pisos no se incrementa linealmente en dB con el incremento de la distancia de separación, por el contrario, un factor de atenuación de piso (FAF, *Floor Attenuation Factor*) grande ocurre cuando el transmisor y el receptor están separados por un piso. La pérdida de trayectoria total se incrementa pequeña en proporción pequeña al incremento del número de pisos. Se considera que este fenómeno es causado por la difracción de la energía de radio a lo largo de los lados del edificio, así como a la dispersión de la energía de los edificios vecinos, que puede recibirse en pisos diferentes o en el mismo edificio. Valores típicos de atenuación entre los pisos son los 15 dB para un piso de separación y arriba del cuarto piso de separación se tienen de 6 a 10 dB por piso de separación. Para cinco o más pisos de separación, la pérdida de trayectoria se incrementa únicamente unos cuantos dB por cada piso adicional.

## EL AUXILIO DE LA COMPUTACIÓN EN EL DISEÑO DE LA PREDICCIÓN DE PROPAGACION PARA EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS.

Los modelos de propagación estadísticos no consideran los alrededores físicos que los dibujos de edificios proporcionan. La predicción de propagación utiliza la ayuda de la computación en el diseño de dibujos del ambiente interior para representar localizaciones físicas de las estaciones base, receptores, y divisiones. Por razones económicas, los transreceptores deben localizarse de modo estratégico para que únicamente porciones deseadas del edificio tengan la cobertura de radio. Las herramientas de CAD permiten el diseño de un sistema con funcionamiento interactivo en los sistemas anteriores. Bajo este cuadro interactivo los modelos de propagación pueden modificarse para suministrar un rango amplio de escenarios y añadir estaciones base, reposicionarlas, o suprimirlas. Además, se pueden ajustar los parámetros de propagación por el usuario según se requiera (como la portadora recibida en el umbral de ruido).

La ayuda de herramientas de diseño por computadora como el AutoCAD, pueden desplegar edificios de uno o más pisos; las divisiones del edificio pueden ser identificadas en AutoCAD y asignarles un atributo, de modo que se puedan aplicar modelos de propagación apropiados. Una manera simple y exacta de predecir la pérdida de trayectoria RF dentro de un edificio es calcular las divisiones entre la línea de dibujo del transmisor y el receptor, aplicando el factor de atenuación (AFs, *Attenuation Factors*) que puede utilizarse para cada división que intersecta la línea. Por medio de un proceso interactivo, parámetros tales como FAF y AF pueden ajustarse para una clase de edificios en particular. Las mediciones del ambiente pueden sumarse al modelado de las herramientas CAD para tener una exactitud mayor en mediciones de sitios futuros.

Las técnicas de predicción de propagación interior basadas en el trazo de rayos se utilizan para reconstruir posibles reflexiones de la superficie de las paredes de un edificio, esta aproximación puede acomodarse fácilmente con ayuda del diseño por computadora, y muestra la disminución de la desviación estándar  $\sigma$  de 4 dB en un rango dinámico de 50-60 dB dentro de los edificios.

## PENETRACION RF DENTRO DE LOS EDIFICIOS.

La fuerza de la señal recibida dentro de un edificio por un transmisor externo, la distribución de frecuencias con edificios vecinos o con sistemas exteriores son importantes en los sistemas inalámbricos. Al igual que las mediciones de penetración RF entre los pisos es difícil determinar modelos exactos de penetración. Sin embargo, se pueden tener algunas generalizaciones de los textos. En las mediciones para datos, la fuerza de la señal recibida dentro de un edificio se incrementa con la altura. En los pisos bajos de un edificio, el desorden urbano induce atenuaciones grandes y el nivel de penetración disminuye.

La penetración RF es función de la frecuencia así como de la altura dentro del edificio. Por ejemplo, mediciones realizadas en Liverpool mostraron que la pérdida de penetración disminuye con el incremento de la frecuencia. Específicamente, la atenuación de los valores de penetración de 16.4, 11.6, 7.6 dB fueron medidos al nivel del suelo de los edificios a una frecuencia de 441 MHz, 896.5 MHz, y 1400 MHz, respectivamente. Otras mediciones mostraron pérdida de penetración de 14.4, 13.4, y 12.8 dB para 900 MHz, 1800 MHz, y 2300 MHz respectivamente.

Mediciones realizadas frente a las ventanas indicaron 6 dB menos de pérdida de penetración que mediciones realizadas en partes del edificio sin ventanas.

Mediciones de la señal de radio dentro de 14 edificios en Chicago con siete transmisores celulares externos mostraron que, la pérdida de penetración en el edificio disminuye en proporción de 1.0-1.2 dB por piso desde el nivel del suelo y hasta el piso 15; y comienza a incrementarse arriba del piso 15. El incremento en la pérdida de penetración se atribuyó a efectos de sombras de edificios adyacentes. Otros reportes muestran una pérdida de penetración con una disminución de 2 dB por piso desde el nivel del suelo y se incrementa arriba del piso nueve.

Las mediciones han mostrado que el porcentaje de ventanas, en comparación con la cara de la superficie del edificio, tiene impacto en el nivel de pérdida de penetración RF, como la realizada con ventanas de matiz metálico. Los matices metálicos dan de 3-30 dB de atenuación RF. El ángulo de incidencia de la onda transmitida sobre la cara del edificio también impacta la pérdida de penetración.

## TRÁFICO DE SEÑALIZACIÓN GENERADO POR LAS COMUNICACIONES PERSONALES.

El desarrollo en las redes inalámbricas tendrá un efecto dramático en la industria y en la manera en la que las personas utilizan los servicios de información. El interés público en las comunicaciones inalámbricas crece rápidamente, en el transcurso de los años los mayores esfuerzos en las comunicaciones inalámbricas se han enfocado al radio de transmisión, en donde la meta es incrementar la eficiencia del espectro y la capacidad del canal de radio. La expansión de la capacidad del canal de radio será el objetivo principal en las redes inalámbricas.

Sin embargo, han surgido retos significativos para encontrar una alta-densidad, alta-movilidad, y ambiente multimedia. Los usuarios al acostumbrarse a las comunicaciones inalámbricas esperan establecer contacto en cualquier lugar, tiempo y por cualquier medio de comunicación. Los lugares con una carga extra en la red fija mantienen comunicación con la localización de los usuarios para suministrar una comunicación directa según el movimiento del usuario, e implementar procedimientos de seguridad. La expansión de las redes celulares se basa en las redes inteligentes (IN, *Intelligent Network*) para rastrear a los usuarios y entregar servicios mejorados. Los conmutadores y las bases de datos utilizan el Sistema de Señalización Siete (SS7, *Signaling System 7*) para comunicarse. Debido a que SS7 fue diseñado antes de que se tuviera una escala grande de redes móviles, es importante examinar la habilidad de los sistemas existentes para acoplarse a las necesidades futuras.

En las redes móviles, el Sistema de Señalización 7 conecta los centros de conmutación móviles, los registros de localización de visitantes, y los registros de localización locales. Las redes inalámbricas interactúan con las redes fijas existentes para extender los servicios de información a las terminales inalámbricas. En la fig. 27 se muestran los elementos de una red de información móvil basada en la arquitectura celular actual:

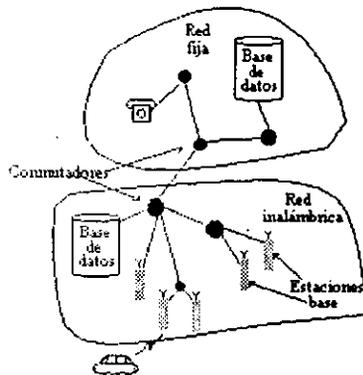


Fig. 27 Redes fijas, e inalámbricas y su interconexión.

**Estaciones Móviles:** son vehículos montados o terminales de usuario utilizadas por los usuarios para enviar y recibir información.

**Estaciones Base:** concluyen los protocolos de radio utilizados en la comunicación con las estaciones móviles. Las estaciones base, además, cuentan con líneas hacia el MSC.

**Centros de Conmutación Móvil:** establecen las llamadas a los usuarios móviles mediante las estaciones base, y mantienen conexión a otros MSCs y PSTN.

**Registro de Localización Local:** contiene los parámetros de los usuarios permanentes y características para un grupo de usuarios dentro de la red. Para cada usuario existe un indicador en el Registro de Localización de Visitante para asistir en el enrutamiento de las llamadas que se van recibiendo.

**Registro de Localización de Visitante:** es una base de datos dinámica, cuyos accesos de entrada cambian dependiendo del movimiento del usuario. El VLR contiene información de todos los usuarios dentro de una o más áreas de localización (grupo de células). El VLR obtiene los parámetros del usuario del HLR. Cuando un usuario llega a un área de localización, el VLR actualiza el HLR del usuario. Este funcionamiento autentifica y localiza temporalmente números telefónicos de localizaciones específicas, además, actualiza el HLR respecto al estado de servicios suplementarios.

El estudio de la demanda en el sistema de señalización y redes de bases de datos se ha enfocado principalmente al sistema GSM y ha considerado únicamente servicios básicos de voz y señales de señalización asociadas. Esfuerzos recientes han considerado la distribución de arquitecturas y el impacto de la capacidad de los servicios de voz e integración de datos.

Aquí, se podrá evaluar la carga de señalización generada por los usuarios inalámbricos; los resultados dependen de la elección de los protocolos, pero son independientes de los parámetros de tráfico en relación con el comportamiento de las llamadas del usuario y movilidad.

## **CARGA TOTAL DE SEÑALIZACIÓN.**

La movilidad que se tenga en las redes dependerá de procedimientos elaborados para transferir las llamadas en progreso de una localización a otra (Handover); registrar la localización actual de los usuarios activos de la red (localización actualizada); y asegurar que usuarios no autorizados no tengan acceso a la red (autenticación).

El origen y la terminación móvil requieren procedimientos adicionales de seguridad. En la red una llamada al usuario móvil primero pregunta al HLR la localización de la llamada de origen. Entonces la red llama al móvil para poder determinar la célula en la que se localiza. Antes de que la llamada sea establecida la red autentifica a la terminal para asegurar que se tenga acceso válido en la red. Entonces se le asigna una clave al enlace de radio y puede asignársele temporalmente a la terminal un número telefónico. (Los números telefónicos temporales por el contrario de los números permanentes se localizan en la interface aérea para proporcionar mayor seguridad.) El sistema GSM requiere que los números temporales se asignen cada vez que se tenga una actualización de la localización. Estos pueden ser asignados por el operador después de que el móvil es autentificado. Después de que estos procedimientos se completan, el MSC

obtiene el perfil de usuario del VLR. El perfil contiene información como son: características y servicios especiales a los cuales el usuario está suscrito.

Los Handovers inter-MSC, se requieren cuando el móvil se mueve dentro del área de servicio de un MSC nuevo. En GSM, el control de la llamada siempre se mantiene con el MSC original:

- 1) Después de que es realizada la decisión del móvil sobre dos MSCs, el MSC viejo envía un mensaje handover a la MSC nueva.
- 2) El MSC nuevo solicita un número handover al VLR; determina la estación base nueva, el número de canales de radio, y pasa estos al MSC viejo.
- 3) Recibida esta información, el MSC viejo establece una línea al MSC nuevo utilizando el número handover para direccionar el mensaje.
- 4) El MSC viejo solicita al móvil un sistema en el canal de radio nuevo.

La actualización de la localización es utilizada para informar a la red que un usuario ha cruzado a una localización de área nueva. Cuando el móvil se mueve dentro del área de localización está es controlado por el VLR nuevo, el VLR debe obtener los parámetros de autenticación del VLR viejo. El VLR viejo autentifica la terminal y localiza un número telefónico nuevo temporalmente. Entonces el HLR es actualizado e informa al VLR viejo que el móvil ya no está en el área. Si el área de localización nueva es controlada por el mismo VLR, todavía se requerirá de los procedimientos de autenticación, pero el HLR puede no necesitar ser notificado del cambio (esto depende de la ruta de información que es depositada en el HLR).

Para calcular la carga (en bytes) de señalización SS7 para PCS es necesario saber el número de bytes generados por cada actividad y la frecuencia de la actividad. Las contribuciones de cuatro actividades pueden ser combinadas para encontrar la carga total de señalización, normalizada como bytes SS7 por llamada como:

$$\frac{SS7}{call} = \frac{bytes}{orig. móvil} * P[orig] + \frac{bytes}{ter. móvil} * P[term] + \frac{bytes}{handover} * \frac{HO}{call} + \frac{bytes}{loc. act.} * \frac{LU}{call} \quad (2)$$

donde:

- \* P[orig]- es la fracción de las llamadas móviles que tienen origen móvil,
- \* P[term]- es la fracción de llamadas móviles que terminan en un móvil,
- \* HO/call.- es el número promedio de handovers inter-switch que ocurren durante una llamada,
- \* LU/call.- es el número promedio de localizaciones actualizadas que ocurren entre dos llamadas, y
- \* bytes/loc.act.- es el número promedio de bytes generados por la localización actual.

El costo de la localización actual depende de que la localización se realice dentro de los límites de un VLR o entre dos VLRs. Si cada conmutador tiene su propio VLR entonces el costo de localización actual puede ser expresada como una combinación lineal de dos costos:

- \*  $C_{LUin}$  número de bytes generados por la localización actual dentro de los límites de un solo conmutador.
- \*  $C_{LUout}$  número de bytes generados por la localización actual entre dos conmutadores.

El valor bytes/loc.act. es la suma de las influencias de estos dos costos. El factor de peso está relacionado directamente con el número de áreas de localización por conmutador,  $k$ . La fracción de localizaciones actuales entre dos conmutadores es aproximadamente  $1/\sqrt{k}$ . La proporción de ocurrencia de eventos debe calcularse de los modelos de tráfico.

### Modelos de Tráfico.

De la ec.(2) se observa que  $P[\text{orig}]$  y  $P[\text{term}]$  se determinan por el comportamiento de la llamada del usuario, mientras que los otros dos parámetros, HO/call y LU/call, son determinados por la movilidad del usuario. La planeación del tráfico SS7 se utiliza para calcular los parámetros de tráfico asociados con el comportamiento de la llamada del usuario. Calcular la movilidad del usuario es un desafío, y actualmente se están desarrollando técnicas nuevas.

### PARÁMETROS DE TRÁFICO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LLAMADA DEL USUARIO.

Los mismos parámetros utilizados en las redes pueden llevarse a las redes inalámbricas. La medición del tráfico de usuario es el resultado del comportamiento de este; descrito por la tasa de llamadas que llegan y el tiempo de la llamada.

Esta cuantificación, sin dimensiones, es conocida en la teoría del teletráfico como Erlang. Por ejemplo, si un usuario realiza dos llamadas por hora y el tiempo promedio de la llamada es tres minutos, este usuario debe generar 0.1 Erlang de tráfico. Un parámetro adicional requerido en las redes inalámbricas es la densidad de usuario, esto es, el número de usuarios por unidad de área.

Mientras los parámetros de teletráfico son los mismos para las redes inalámbricas y alámbricas, los valores de los parámetros son diferentes. En los sistemas actuales, la tasa de llamadas que se reciben y el tiempo de la llamada tiende a ser menor para los sistemas celulares que para los sistemas de línea.

### MOVILIDAD DEL USUARIO.

Los modelos de las redes inalámbricas deben incluir la movilidad del usuario. Los modelos de movilidad calculan la tasa de la célula y la intersección del área de localización, del cual el handover y la tasa de localización actual pueden ser calculadas. Un modelo simple de movilidad asume una densidad uniforme de gente de un extremo a otro de un área y se tiene la misma probabilidad de que el usuario se mueva en cualquier dirección con respecto al límite de la célula. Dejando a  $p$  como la densidad de personas por unidad de área,  $V$  la velocidad promedio de todas las terminales, y  $L$  la longitud del perímetro del área; entonces la tasa que cruza fuera del área está dada por:

$$M = \frac{\rho VL}{\tau} \text{ cruces por segundo.....(3)}$$

La fórmula (3) es atractiva por su simplicidad debido a que es válida para una célula de forma arbitraria. Este modelo es razonable para calles de enrejado pero inadecuado para calles con una disposición irregular. Esto es debido a que se asume un movimiento uniforme con respecto a los límites que no se mantiene en una disposición irregular.

Para aplicar (3) debe utilizarse la relación correcta entre la densidad de usuario y la velocidad.

**TASA DE HANDOVERS Y LOCALIZACIÓN ACTUAL.**

El modelo de movilidad del usuario puede ser aplicado para calcular la movilidad en relación a los parámetros HO/call y LU/call. El número de Erlang por terminal sirve para medir la probabilidad de que una terminal está en una conversación cuando cruza el límite de la célula. El número de localizaciones actuales por segundo se calcula asumiendo que la localización actual ocurre cuando un usuario cruza el límite del área de localización y no esta en una llamada.

El número de handovers por llamada y el número de localizaciones actuales pueden limitarse a:

$$\frac{HO}{call} \leq 1.4 \frac{1}{\sqrt{N_{SW}}} \frac{V}{\lambda \sqrt{A_{cel}}} E_{term} \text{.....(4)}$$

$$\frac{LU}{call} \leq 1.4 \frac{1}{\sqrt{N_{LA}}} \frac{V}{\lambda \sqrt{A_{cel}}} (1 - E_{term}) \text{.....(5)}$$

donde:

- \*  $N_{LA}$ .- es el número de células por área de localización,
- \*  $N_{SW}$ .- es el número de células por conmutador,
- \* La fracción  $V/\lambda \sqrt{A_{cel}}$  es la medición del efecto de movilidad relativa a la tasa de llamadas,
- \*  $V$ .- es la velocidad promedio.
- \*  $A_{cel}$ .- es el área de la célula.
- \*  $\lambda$ .- es la tasa de llamadas que se reciben, y
- \* El factor 1.4 es una cantidad que se considera por la geometría de la célula.

La razón (4) y (5) dan la contribución relativa de las localizaciones actuales y handovers para el costo total de una llamada.

$$(LU/call)/(HO/call) = \frac{\sqrt{N_{SW}} (1 - E_{term})}{\sqrt{N_{LA}} E_{term}} \text{.....(6)}$$

En un sistema práctico se asume que la localización de área no alcance conmutadores múltiples, esto es,  $N_{SW}/N_{LA} \geq 1$ , y cada usuario no genere más de 0.1 Erlang de tráfico. Esto implica que la tasa de localización actualizada es mucho más grande que la tasa de handovers interswitch.

**TAMAÑO DEL MENSAJE.**

Los parámetros de tráfico en el comportamiento de las llamadas del usuario necesitan los cálculos de la carga de señalización SS7 utilizando (2). En la tabla 10 se muestra el tamaño de mensaje para el sistema GSM en la tabla 11 se despliega el tamaño del mensaje para IS-41.

	Orig	Termin	Handover Inter-MSC		Loc. act. mismo VLR	Loc. Act VLR actual	
			MSC anterior	MSC actual		VLR viejo	VLR actual
1) Switch de/para: Llamada ISDN	120	120	-	-	-	-	-
2) MSC de/para: VLR en MSC	120	120	383	383	55	308	395
3) MSC de/para: VLR fuera del MSC	670	732	383	531	406	-	406
4) de/para VLR	550	612	-	148	461	308	801
5) de/para HLR	-	126	-	-	55	95	182
6) SS7 interno: VLR en MSC	120	246	383		55	490	
7) SS7 interno: VLR fuera del MSC	670	858	531		461	896	

Tabla 10. Bytes SS7 generados por las principales actividades inalámbricas en GSM.

	Orig	Term	Handover Inter-MSC		Loc. act. mismo VLR	Loc. Act. VLR nuevo	
			MSC viejo	MSC nuevo		VLR viejo	VLR nuevo
1) Switch de/para: Llamada ISDN	120	120	-	-	-	-	-
2) MSC de/para: VLR en MSC	120	253	312	312	-	98	483
3) MSC de/para: VLR fuera del MSC	120	529	312	312	119	-	119
4) de/para VLR	-	276	-	-	119	98	483
5) de/para HLR	-	280	-	-	-	98	364
6) SS7 interno: VLR en MSC	120	400	312		0	462	
7) SS7 interno: VLR fuera del MSC	120	676	312		119	581	

Tabla 11. Bytes SS7 generados por las principales actividades inalámbricas en IS-41-B.

En las tablas se hacen las suposiciones siguientes:

- \* Todas las llamadas se realizan entre la red fija y un usuario inalámbrico. Por lo tanto la columna "Orig" es para la llamada originada en la terminal móvil e ingresada en la red fija. La columna "Term" es una llamada que llega de la red fija y es dirigida a la terminal móvil.
- \* Las normas GSM e IS-41 especifican a VLR y HLR como entidades lógicas. En particular, no especifican si éstas bases de datos están físicamente dentro o fuera del conmutador. Asumimos que el HLR se localiza fuera del conmutador. Las filas 2 y 3 de la tabla muestran el número de bytes de y para MSC asumiendo que el VLR es interno (segunda fila) o externo (tercera fila) al conmutador.
- \* La fila 1 de las tablas 10 y 11 son de referencia y muestran el número de bytes SS7 asociados con una llamada ISDN asumiendo un número mínimo de parámetros opcionales (actualmente, este es el número de bytes para cualquier tipo de llamada de voz que utiliza la red SS7). De la segunda a la quinta fila de las tablas 10 y 11 se muestra el número de bytes de y para cada uno de los elementos de la red con interfaces SS7. Si el VLR está dentro del MSC, no se tiene tráfico SS7 de y hacia el VLR. Las filas 6 y 7 de las tablas agregan información a las filas 2 a la 5 y muestran el tráfico total en los enlaces SS7. En la fig. 28 se despliega el tráfico SS7 entre la entidad de la red de localizaciones actuales a localizaciones VLR nuevas. Las líneas punteadas entre MSC y sus asociaciones VLR indican que el VLR puede estar dentro o fuera del MSC. Considerando las últimas dos filas de la tabla 10 las cuales dan un tráfico interno SS7. Cuando el VLR está dentro del MSC, observamos de la fig. 28 que el número de bytes SS7 es 490; cuando el VLR está fuera del MSC, el número de bytes es 896.

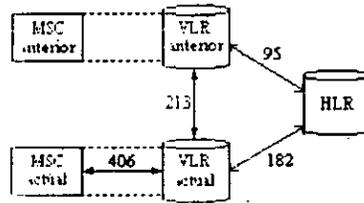


Fig. 28 Tráfico SS7 en la localización actual.

A continuación se examinan ejemplos para comparar los protocolos IS-41 y GSM y examinar la arquitectura mediante la ec. 2. Limitando esta como:

$$\frac{SS7 \text{ bytes}}{\text{call}} \geq \frac{\text{bytes}}{\text{orig. móvil}} + \frac{\text{bytes}}{\text{loc. actual}} * \frac{LU}{\text{call}} \quad (7)$$

Los límites pueden justificarse como sigue; en (6) se estableció que la tasa de handovers es mucho menor que la tasa de localizaciones actuales cuando los usuarios generan menos de 0.1 Erlang de tráfico y cuando las áreas de localización no alcanzan conmutadores múltiples. Además, el costo de localización actual es más grande que el costo de un handover; por lo tanto, se elimina el término handover de (2). Si asumimos que todas las llamadas son de origen móvil se entiende que el tráfico SS7, debido al costo de una terminación móvil es más grande que el costo de un origen móvil. La mayoría de las llamadas de los sistemas son del móvil originados en la red fija.

Para investigar la dependencia en el número de áreas de localización por conmutador (tamaño del conmutador) se consideran tres casos de interés:

- \* Un área de localización por conmutador.
- \* Cuatro áreas de localización por conmutador.
- \* Todas las localizaciones actuales están hechas dentro de los límites de un sólo conmutador.

Para los casos anteriores un método conveniente de mostrar los resultados es delineando cada una de éstas alternativas en la misma gráfica. Como el tamaño del conmutador se incrementa la carga de señalización por llamada disminuye.

De la fig. 29 a la 32 se despliegan las cargas de señalización SS7 por llamada relativas a ISDN. En todas las curvas la coordenada horizontal es el número de localizaciones actuales por llamada. Debido a que la localización actual toma lugar cuando las llamadas no están en progreso, esta cuantificación es el número promedio de áreas de localización de cruce que toman lugar en un intervalo de tiempo entre dos llamadas. La señalización se incrementa en proporción directa a la movilidad del usuario.

En la fig. 29 se muestra el efecto del número de áreas de localización por conmutador, en la carga de señalización IS-41 (los resultados para GSM son similares). El tamaño del área de localización se fija en las curvas, ello demuestra que un conmutador puede ocuparse de más áreas de localización, disminuyendo el tráfico SS7. Esto implica también que conmutadores grandes producen un tráfico de señalización reducido.

En la fig. 30 se muestra el efecto de la distribución de llamadas de origen móvil contra llamadas de terminación móvil en el sistema GSM.

La fig. 31 compara la carga de señalización en el sistema GSM con el IS-41-B cuando el VLR es externo al MSC. Las curvas para GSM son aproximadamente el doble de las de IS-41-B; esto, debido a los procedimientos de autenticación que se incluyen en GSM pero no en IS-41-B.

En la fig. 32 las cargas de señalización de IS-41-B y GSM cuando el VLR es interno a MSC son aproximadamente iguales, debido a que los procedimientos de autenticación GSM, sitúan cargas grandes de señalización en el enlace entre VLR y MSC. Estas curvas indican que el 50% de reducción en la carga total de señalización se producirá si el MSC se puede comunicar con el VLR sin utilizar los sistemas de señalización públicos.

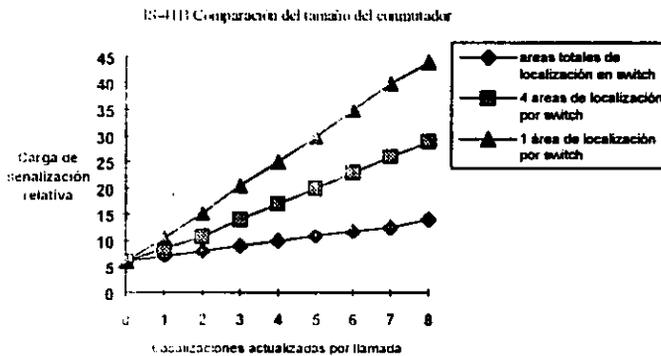


Fig. 29 Efecto del tamaño del conmutador en la carga total de señalización.

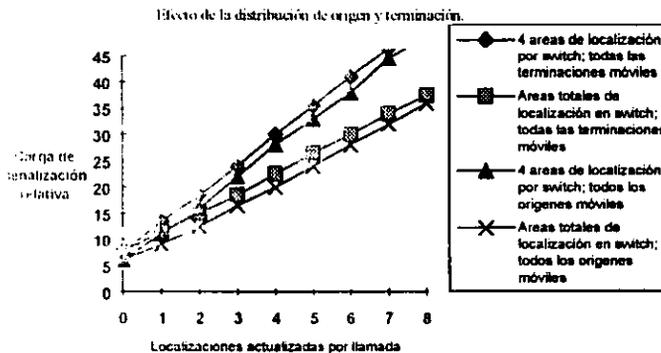


Fig. 30 Efecto del número de llamadas de origen contra la terminación.

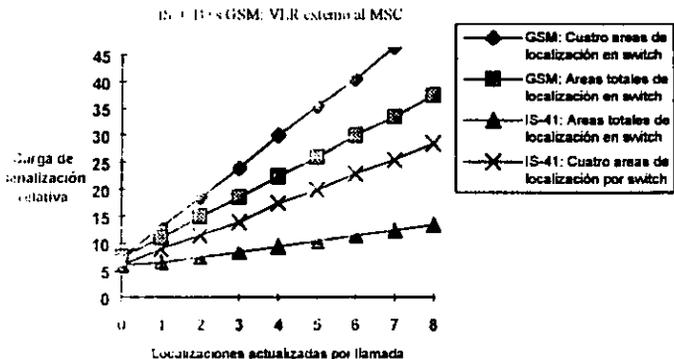


Fig. 31 Carga relativa de señalización para GSM e IS-41.

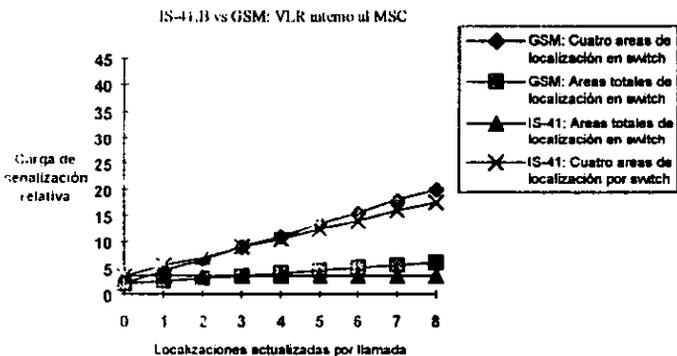


Fig. 32 Carga relativa de señalización para GSM e IS-41B, considerando únicamente la carga de señalización de la red fija. Se asume que VLR puede comunicarse con MSC mediante la red inalámbrica.

## CAPÍTULO II

### NORMATIVIDAD

Las comunicaciones inalámbricas son el segmento de más rápido crecimiento en el mercado global de las telecomunicaciones, con una expansión mundial del 21% anual.

La demanda por servicio inalámbrico puede ser universal, pero lo que la impulsa es dónde se encuentran los usuarios y proveedores de servicios a nivel global.

En el mundo existen tres normas de comunicación celular digital en desarrollo, estas son: GSM, TDMA y CDMA. Estas tres tecnologías requieren presentar un crecimiento rápido, y proveer las soluciones a las necesidades futuras, lo cual es la clave para que capturen el mercado de las comunicaciones. Se espera que en el año 2010 se tengan 10 millones de usuarios inalámbricos. Con la competencia establecida entre estas tecnologías se provee a los usuarios de una tecnología nueva y más eficiente.

Una distinción entre los usuarios del celular digital es que operan en la banda de los 800 MHz y cubren áreas semejantes a las del ambiente celular analógico. PCS opera en 1.9 GHz con una potencia menor en rangos menores en células pequeñas.

Un medio para que los países en desarrollo aceleren sus programas para el mejoramiento de las redes a un costo relativamente bajo, y con un impacto ambiental mínimo es el uso de la tecnología de acceso inalámbrico fijo basada en CDMA.

El desafío tecnológico para los proveedores de servicios inalámbricos es el de mantenerse al tanto de la ubicación de sus clientes, con el fin de presentar un servicio transparente al usuario. La industria inalámbrica debe encontrar la integración de varios estándares en un entorno abierto de interoperabilidad.

Los operadores de la telefonía inalámbrica tratan de entregar servicios de manera instantánea y en todas partes para la comunicación de redes grandes y pequeñas, sin importar su ubicación geográfica o volumen de usuarios. Entre los equipos utilizados se incluyen no sólo teléfonos móviles, sino también, y cada vez más, Asistentes Personales Digitales (PDA, *Personal Digital Assistant*), sistemas inalámbricos de oficinas, computadoras inalámbricas, además de redes de área local.

Las comunicaciones inalámbricas utilizan tecnologías PCS, celular, y radio para el envío de voz, pero existe una creciente demanda y la capacidad de transmitir simultáneamente voz y datos.

Concebidos originalmente como sistemas de comunicación para vehículos, la demanda por equipos portátiles domina el mercado con cerca de un 90% de los teléfonos celulares que se venden hoy en día.

Este crecimiento puede ser atribuido, en parte, a los grandes cambios que han ocurrido en los estilos de vida y trabajo.

Como se mencionó anteriormente, un sistema celular divide una región, en un número de áreas conocidas como células, cada una de ellas con una estación base de radio con transreceptores

(transmisores y receptores). En cada célula se encuentran un conjunto de canales de radio para su uso.

Debido a que los transeceptores utilizan relativamente poca energía, es posible diseñar el sistema de tal manera de que células adyacentes no utilicen el mismo conjunto de canales. Sin embargo, células alternas pueden volver a utilizarlos. Esto significa que el espectro de radio puede ser usado una y otra vez, a través de la red.

Las células varían de tamaño y pueden ser subdivididas en sectores, esto, con el fin de permitirles que acomoden el número de usuarios que se encuentren en el área de la célula. Una célula rural, con densidad de tráfico baja, puede estar diseñada para cubrir un radio de 10 km desde la estación base. En zonas urbanas y de negocios, el radio de unos pocos cientos de metros es más apropiado.

La estación base de cada célula se enlaza con el MSC dedicado al sistema telefónico celular. Estas centrales colocan llamadas a la red convencional de teléfonos, o a otras redes celulares.

Cuando un usuario celular hace una llamada, se le asigna, automáticamente, el uso exclusivo de una célula local de radio. Como los teléfonos celulares pueden ser utilizados cuando se está en movimiento; y dos células adyacentes no utilizan los mismos canales de radio, cuando el usuario cambia físicamente de área, también cruza las fronteras de la célula, y entonces la transmisión debe adaptarse.

El sistema celular hace un seguimiento continuo de la fuerza de la señal entre el teléfono celular y las estaciones base. Cuando la fuerza de la señal baja un determinado nivel, la llamada se transfiere a otro canal de la célula siguiente. El sistema, entonces, asigna un nuevo canal para el que llama, e instruye al teléfono celular de cambiarse a este otro canal, dejando libre el anterior. Este sistema de transferencia ocurre en fracciones de segundo y el que llama normalmente no se da cuenta de ello. Sin embargo, si todos los canales en la célula han sido asignados a usuarios diferentes, el Handoff no se puede realizar, y la calidad de la llamada en espera se deteriora gradualmente hasta que se desvanece o se "cae".

En la búsqueda de la integración de servicios de comunicación a través de las fronteras, el mayor reto es sin duda la necesidad de normas aceptadas a nivel global. La telefonía por alambre ha tenido menos restricciones en las normas, que la comunicación inalámbrica.

Aunque el principio de las redes de teléfonos celulares es la misma en todo el mundo, cada país ha utilizado diseños diferentes, en parte, con el fin de hacerlas compatibles con sus modelos para comunicaciones de radio y también para aprovechar los avances técnicos más recientes.

En 1979 apareció el primer sistema celular en los Estados Unidos "AMPS"; cuatro países escandinavos desarrollaron en 1981 Telefónica Móvil Nórdica (NMT, *Nordic Mobile Telephone*), el sistema NMT fue el primer sistema internacional que mediante acuerdos para deambular (roaming) hizo posible realizar y recibir llamadas en cualquier país nórdico.

El sistema AMPS, modificado para el Reino Unido, se convirtió en el Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS, *Total Access Communications System*).

Los sistemas analógicos celulares han respondido bien a las necesidades del usuario, pero se están recargando, lo que hace que su rendimiento sea menor.

Esto hace que los proveedores de servicios busquen lo siguiente:

- \* un modelo digital común,
- \* más y mejores servicios,
- \* aumento de capacidad de la red,
- \* deambulación internacional,
- \* costos reducidos de los equipos, y
- \* transmisión confiable de datos y voz

Algunas de las ventajas que tienen los sistemas digitales son:

- \* aceptan capacidades mayores,
- \* son intrínsecamente más seguros,
- \* ofrecen un alto tiempo de llamada y de espera (standby),
- \* los equipos portátiles son más pequeños, y livianos, y
- \* el consumo de energía está optimizado.

### SISTEMAS CELULARES ANALÓGICOS (todavía en uso).

En la norma AMPS, el espectro es dividido en 832 canales de frecuencia, con un ancho de 30 kHz. La modulación en frecuencia (8 kHz de desviación) es utilizada para voz y los canales de señalización utilizan FSK (*Frequency Shift Keying*) binario con una tasa de 10 kb/s.

En Europa, varios sistemas de la primera generación similares a AMPS son:

TACS en el Reino Unido, Italia, España, Austria, e Irlanda; NMT; C-450 en Alemania y Portugal; Radiocom 2000 en Francia; y Sistema Móvil de Radio Telefonía (RTMS, *Radio Telephone Mobile System*) en Italia. Estos sistemas utilizan modulación en frecuencia para voz, y FSK para señalización. En la tabla 12 se muestran las características de estos sistemas.

Norma	Móvil Tx/Base Tx (MHz)	Ancho de canal (kHz)	Número de canales	Región
AMPS	824-849/869-894	30	832	América
TACS	890-915/935-960	25	1000	Europa
ETACS	872-905/917-950	25	1240	Reino Unido
NMT 450	453-457.5/463-467.5	25	180	Europa
NMT 900	890-915/935-960	12.5	1999	Europa
C-450	450-455.74/460-465.74	10	573	Alemania, Portugal
RTMS	450-455/460-465	25	200	Italia
Radiocom 2000	192.5-199.5/200.5-207.5	12.5	560	Francia
	215.5-233.5/207.5-215.5		640	
	165.2-168.4/169.8-173		256	
	414.8-418/424.8-428		256	

Tabla 12 Características de los sistemas celulares analógicos.

## SISTEMAS CELULARES DIGITALES

Existen aún diferentes sistemas celulares analógicos en uso. Los usuarios de celulares emplean sistemas de telefonía móvil basados en AMPS, NMT, y TACS. Cuando estos sistemas fueron desarrollados e implementados no se anticipaba que la demanda de servicios celulares móviles podría crecer tan rápido (más de un 25% al año). Los sistemas celulares analógicos fueron originalmente blanco de un grupo de usuarios relativamente selectos que tenían sus teléfonos celulares en los vehículos. Se incrementó dramáticamente la demanda debido a su bajo costo, tamaño pequeño, ligereza, terminales móviles con batería duradera, incremento de su popularidad para uso en calles, edificios y vehículos. Este desarrollo se debió a la baja tasa en las técnicas de codificación digital de voz y al continuo incremento en la densidad de dispositivos de circuitos integrados (transistores por unidad de área) que hicieron posible que los sistemas de la segunda generación fueran completamente digitales. Esta digitalización permite el uso de técnicas como TDMA y CDMA.

Los sistemas digitales soportan más usuarios por estación base por MHz de espectro, permitiendo el funcionamiento de sistemas inalámbricos que dan un servicio más económico en áreas de alta densidad. Además del incremento en la capacidad, los sistemas digitales ofrecen ventajas significativas sobre los sistemas analógicos. Algunas de estas ventajas son:

- \* Capacidad internacional de roaming y extensión de área.
- \* Seguridad contra fraudes a través de una terminal de validación e identificación de usuario.
- \* Capacidad de encriptación para la seguridad en la información y privacidad.
- \* Ampliación del rango de servicios incluyendo datos y Servicios de Mensajes Cortos (SMS, *Short Message Service*).
- \* Capacidad para operar en ambientes de células pequeñas (micro).
- \* Disminución de la potencia de transmisión RF y larga vida de la batería.
- \* Flexibilidad para mezclar comunicaciones de voz/datos y soporte para servicios nuevos.
- \* Integración natural con el desarrollo de las líneas de red digital.

Existen actualmente tres normas digitales basadas en la técnica TDMA. La norma Europea GSM (*Groupe Speciale Mobile*), que se utiliza para reemplazar los sistemas analógicos por sistemas digitales.

La norma celular basada en la técnica TDMA en Estados Unidos, esta diseñada para operar sistemas AMPS utilizando terminales modo dual. Una versión mejorada de IS-54 (llamada IS-136) utiliza un canal de control digital y ofrece capacidades adicionales. En ausencia de un

nombre definitivo para la norma Norteamericana basada en la técnica TDMA, se refieren a ella como Celular Digital Americano (ADC, *American Digital Cellular*).

## TDMA

TDMA es una tecnología digital inalámbrica que se utiliza en redes inalámbricas comerciales a nivel mundial. Los modelos que establece la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones de los Estados Unidos (TIA, *Telecommunications Industry Association*) para TDMA son IS-54 e IS-136.

Al dividir cada canal en tres canales de radio frecuencia, o ranuras de tiempo, con una conversación de voz por ranura, la tecnología TDMA triplica la capacidad de un sistema analógico.

Los usuarios con modo dual, pueden tener acceso a tecnologías TDMA y celular analógico, y TDMA PCS.

TDMA trabaja con el principio de que el ancho de banda completo está destinado para todos los usuarios, pero estos usuarios comparten la capacidad del canal. Las ranuras de tiempo se convierten en tramas, que se repiten cada cierto tiempo. El entrelazamiento de tiempo permite transmisión múltiple, aparentemente simultánea, y sin interferencia mutua.

Los sistemas digitales celulares y radio microcelulares deben incorporar técnicas de acceso múltiple para tener una utilización eficiente del ancho de banda y una infraestructura radio celular con costos mínimos y funcionamiento máximo. TDMA es una técnica de acceso múltiple utilizada por varios sistemas celulares y sistemas PCS.

En un sistema radio celular, los usuarios de una célula se comunican con la estación base, la cual les proporcionará la comunicación a través de líneas de cobre y fibra con el resto del mundo. En un sistema radio celular TDMA, varios usuarios en una sección de tiempo tienen una portadora común de frecuencia para comunicarse con la estación base. Cada usuario localizado en uno o más "timeslots" (ranuras de tiempo) dentro de una trama en la dirección base-usuario y usuario-base transmite bits con una baja tasa en la digitalización de voz y datos. En la dirección base-usuario, la estación base transmite al usuario activo mediante el multiplexaje por división de tiempo (TDM, *Time Division Multiplex*).

En la dirección usuario-base, cada terminal activa del usuario transmite a la estación base únicamente en su timeslot o slots asignados. La interferencia inter-usuario se evita controlando los horarios de los timeslots, tiempos de guarda y procedimientos de alineación de tiempo entre los timeslots usuario-base: evitándose así los traslapes ocasionados por tiempos de propagación diferentes.

Si se tienen  $N$  terminales de usuario con igual tasa de bits en un flujo de bits común cada receptor y transmisor de la terminal debiera funcionar con un ciclo  $1/N$ . El tráfico usuario-base y base-usuario se separa utilizando una portadora de frecuencia diferente, duplexaje por división de frecuencia (FDD, *Frequency Division Duplex*) o por alternación en tiempo duplexaje por división de tiempo (TDD, *Time Division Duplex*). Para FDD se necesita un ancho de banda menor en la transmisión por radio y también una sincronización menor en la transmisión base-usuario y usuario-base, para minimizar la interfeerencia. Por otro lado, TDD necesita un equipo

duplex de radio, ya que mediante esta técnica se tiene flexibilidad en la localización de ancho de banda entre el tráfico usuario-base y base-usuario.

Cada timeslot en una trama contiene bits de datos del usuario (los cuales pueden incluir bits de paridad para el control de errores), y bits extra para sincronización, control, y tiempo de guarda. Una pequeña fracción del frame contiene bits de "encabezado" (overhead), el diseño de un frame TDMA es más eficiente, ya que otros sistemas como GSM utilizan 30% de la tasa de bits para bits de encabezado, mientras que el sistema IS-54 utiliza un 20%. La mayor parte de los bits de "encabezado" en los sistemas GSM e IS-54 se utilizan para instrucciones de secuencia del ecualizador; mientras que en otros sistemas la mayoría de los bits se utilizan para el control del sistema. La eficiencia en los bits de encabezado se incrementa aumentando la duración del segmento de tiempo; sin embargo, esto puede tener efectos adversos al incrementarse el retardo de transmisión, y se evita que el sistema se adapte a cambios rápidos del medio ambiente de propagación.

### Comparación con otras Técnicas de Acceso Múltiple.

TDMA tiene relativas ventajas sobre las otras técnicas de acceso múltiple. Una ventaja es un radio y equipo modem común, con una portadora de frecuencia que puede ser dividida entre N usuarios de la estación base. Otra ventaja con respecto a la técnica FDMA es que la tasa de bits de cada terminal de usuario puede ser variada fácilmente de acuerdo a las necesidades. Con respecto a CDMA, TDMA presenta menor requerimiento en el control de potencia, debido a que la interferencia interusuario es controlada por timeslots.

TDMA con respecto a CDMA y FDMA permite tener en la estructura del timeslot alternativas de: timeslots, frecuencias y puertos, para mantener asistencia móvil o control móvil handoff.

TDMA tiene desventajas sobre FDMA y CDMA ya que la terminal de usuario debe tener un ciclo  $1/N$ , y un pulso de potencia periódico; esto presenta una demanda de diseño en la unidad portátil de RF. La asignación de frecuencias, timeslots y el direccionamiento le dan a TDMA cierta complejidad que no se tiene en CDMA. El sistema TDMA puede requerir de una ecualización multivectorial lo cual es evitado generalmente en un sistema FDMA.

El sistema TDMA puede mejorarse con el acceso múltiple de reservación (PRMA, *Pocket Reservation Multiple Access*) en cual es un procedimiento dinámico de localización de slots en el cual los timeslots que no son utilizados se proporcionan al usuario, si un usuario reserva uno o más timeslots en un frame este slot será reservado al usuario el tiempo que él lo requiera; cuando el slot es desocupado (fin de grupos de voz y paquetes de datos) se abre a argumentos y reservaciones de otros usuarios.

La tecnología ATM puede incorporarse a los sistemas inalámbricos TDMA.

Una comparación objetiva de la eficiencia del espectro o capacidad de los sistemas FDMA, TDMA y CDMA es difícil hacer ya que no se tienen adopciones similares para los diferentes sistemas, además, las comparaciones realizadas entre los diferentes sistemas se han realizado en diferentes etapas de evolución, y no entre sus métodos de acceso. Si uno compara la optimización de dos sistemas con diferentes métodos de acceso, sus capacidades podrían ser similares. La capacidad en los sistemas de comunicación personal se puede expresar como la capacidad de la célula o la capacidad del sistema (en cuanto a usuarios).

- a) La capacidad de la célula o capacidad de radio, depende del funcionamiento del enlace de radio, esto es, un bajo cociente de la portadora/interferencia (C/I Carrier/Interference), para que el sistema opere con una calidad aceptable. Esto depende de los requerimientos en ese instante en la calidad de voz (para una técnica de compresión digital de voz) o confiabilidad de datos. La capacidad de la célula es medida en Erlang/MHz/Célula, y es utilizada cuando se analiza la capacidad de un sistema.
- b) La capacidad de sistema es medida en Erlang/MHz/km<sup>2</sup>, lo cual significa un incremento de capacidad con una disminución del tamaño de la célula. La capacidad de varios tipos de sistemas celulares puede compararse como el número base de terminales de usuarios que pueden mantenerse en un ancho de banda fijo, con los requerimientos C/I de cada sistema. Por ejemplo puede considerarse una comparación del sistema GSM con el sistema analógico AMPS. La localización de un usuario en un ancho de banda de 30 kHz, necesita 18 dB C/I para una calidad satisfactoria y un factor de reutilización de frecuencia de siete, con tres sectores de antenas. El sistema GSM necesita 9 dB C/I, con un factor de reutilización de frecuencia de tres, con tres sectores de antenas, y localización de ocho usuarios en un ancho de banda de 200 kHz. La capacidad del sistema GSM es de (30x7) dividido por (3 x 200/8) = 2.8 por AMPS. El sistema IS-54 excede la capacidad de AMPS por un factor de 3.5 a 6.3.

### Evolución y Aumento de la Capacidad.

Las células pequeñas, y grandes "umbrella y macro" son utilizadas simultáneamente. Las células grandes se utilizan para obtener cobertura, y en algunos casos para mantener el hand-off entre células pequeñas. Las células pequeñas son utilizadas para capacidades altas, obtener cobertura en lugares como túneles y cavernas, y proporcionar acceso al usuario con una baja potencia en sistemas portátiles. Todos estos escenarios pueden ser considerados como una Estructura Celular de Jerarquía (HCS, *Hierarchical Cell Structures*).

La definición de HCS es: tipos diferentes de células existen simultáneamente en capas diferentes de células, cubriendo una misma área.

Antes de discutir las consecuencias de HCS para el sistema TDMA, se verán las posibilidades de incrementar la capacidad de la célula mediante la localización adaptada de canal (ACA, *Adaptive Channel Allocation*), y el salto de frecuencia (FH, *Frequency Hopping*). Mediante ACA se evita la interferencia de localización de canales, esto significa que no existe una distancia fija de reutilización. En algunos casos el usuario co-canal se encuentra muy cerca; por ejemplo cuando el móvil/portátil se localiza cerca de la estación base, en otras las condiciones de operación para un usuario son difíciles, y entonces los usuarios co-canal deberán estar alejados. Cuando las condiciones de tráfico varían, los canales pueden moverse a la afluencia máxima de la célula. La capacidad se incrementa en un 100% mediante ACA.

Otro camino para incrementar la capacidad de la célula es utilizar FH aleatorio el cual puede ser rápido, o lento. FH lento (SFH, *Slow Frequency Hopping*) es parte de la norma GSM. En un sistema SFH, los usuarios dentro de la célula tienen la misma secuencia de salto, pero la compensación de uno a otro no interfiere. La secuencia de salto en células diferentes es

aleatoria, lo cual significa que la interferencia de otra célula es promediada. El promedio se realiza a través de un traslape y codificación de canales. El sistema FH-TDMA puede ser considerado como un sistema CDMA, cuyo código es la secuencia de salto.

El factor de reutilización de frecuencia puede reducirse a uno, mediante la disminución de la carga de la célula (carga fraccional). Esto es similar a la Secuencia Directa (DS, *Direct Sequence*) del sistema CDMA. con beneficios extra, los usuarios dentro de la célula se localizan ortogonalmente.

Otro beneficio de FH es el incremento de la fuerza contra desvanecimientos rápidos, debidos a la propagación multitrayectoria. El principio es que el ancho de banda del salto sea lo suficientemente grande para que los diferentes saltos de frecuencia no estén correlacionados.

Para incrementar la capacidad del sistema se requiere de HCS, con lo que también se incrementa la cobertura y se tendrá flexibilidad operacional. Para mantener HCS se necesita un Hand-off confiable entre las capas de las células. En el sistema HCS las diferentes capas necesitan utilizar una portadora RF diferente, por lo que tipos diferentes de células se localizan ortogonalmente. Esto es debido a efectos "near-far" (cercanía-lejanía) como: mezcla de microcélulas de baja potencia y macro células de alta potencia. La Asistencia Móvil Hand-off (MAHO, *Mobile Assisted Hand-Off*), es por lo tanto utilizada entre diferentes portadoras RF, lo cual es un modo de operación normal en los sistemas TDMA. El móvil mide las frecuencias en cada frame a través de las alternativas de frecuencia posibles durante la sucesión de frames. El proceso MAHO es realizado en todos los sistemas TDMA. La evolución del sistema TDMA no significa únicamente un incremento de la capacidad, sino un incremento de la flexibilidad en la planeación de frecuencias.

### Modulación y Detección.

Se utiliza una modulación de cuatro-niveles como QPSK; una modulación con más de cuatro niveles es apropiada para células que se encuentran físicamente aisladas o si la atenuación del exponente de distancia es alto (6 o más). La modulación multinivel es útil en sistemas en los que la tasa de bits puede variar para acomodar desvanecimientos. La mayoría de los sistemas utilizan una modulación de 2 a 4 niveles. El sistema GSM utiliza GMSK, que puede considerarse una modulación binaria de frecuencia, o como una compensación QPSK.

La detección diferencial de señales codificadas mediante una modulación de fase es una detección no coherente que tiene como ventaja una sincronización rápida, alta fuerza para desvanecimientos multitrayectoria y reducida complejidad de equipo.

### Requerimientos para la Disminución del Retardo (Delay).

La amplitud de retardo o dispersión de tiempo es un fenómeno físico ocasionado por la propagación multitrayectoria. La señal transmitida viajará a través del ambiente multitrayectoria, y llegará dispersada al receptor. La expansión del retardo (rms) tiende a incrementarse en grandes trayectorias de propagación y altura de antenas, lo cual es usual en sistemas de células grandes y sistemas microoculares interiores. La cantidad de interferencia intersimbólica (ISI, *Intersymbol Interference*) es causada por el valor de la amplitud del retardo. En los sistemas de

radio TDMA con amplitud de retardo relativamente grande, donde el ancho de banda de transmisión excede el ancho de banda de coherencia de canal se puede utilizar una diversidad de frecuencia mediante la ecualización.

Los sistemas GSM o IS-54 requieren de una ecualización. En GSM la respuesta impulso con duración arriba de los 16 a 20  $\mu$ s, debe direccionarse.

En ambos sistemas ISI es diferente y por lo tanto también los requerimientos de ecualización. Un tiempo de dispersión de 18  $\mu$ s da a GSM, 5 bits de interferencia con otros. Cuando ISI debida al retardo llega a ser grande, la señal disminuye; este efecto de retardo puede disminuirse mediante la diversidad combinada.

Una técnica poderosa para una transmisión de datos confiable en ambientes móviles de desvanecimientos es la codificación convolucional.

El traslape de símbolo (bit) se utiliza para forzar un cambio de desvanecimientos lentos a rápidos, y así obtener la potencia máxima en el código de canal.

Debido a que en el sistema TDMA la respuesta impulso hacia o de una terminal particular puede modificarse en el mismo timeslot, los parámetros del ecualizador deben generalmente empezar en cada timeslot.

La Unidad de Radio Digital Mejorada (EDRU) es un nuevo sistema radio digital TDMA, que apoya la capacidad de PCS TDMA (TDMA PCS Minicell). Ofrece mayor poder de procesamiento, a la vez que es totalmente compatible con sistemas anteriores, y puede funcionar como control de radio, voz y ubicación.

Compatible tanto con PCS como redes celulares, EDRU tiene memoria expandida y un autodiagnóstico sanitario.

El codificador de voz (vocoder), llamado Código Algebraico de Excitación Lineal Prevista (ACELP) en EDRU, mejora la calidad de la voz. Un EDRU acepta vocoders múltiples, se activa en cada llamada, permite que el proveedor de servicios continúe atendiendo a usuarios que utilizan generaciones móviles anteriores a TDMA sin codificadores de voz ACELP.

Debido a los buenos resultados que han mostrado las pruebas de las interfaces aéreas TDMA en el espectro de 1.8 GHz a 2.0 GHz, algunos operadores de redes han elegido la tecnología TDMA para sus redes PCS.

Las minicélulas TDMA PCS son estaciones base modulares producidas por Lucent Technologies, y utilizadas como componentes principales de las redes PCS.

Las minicélulas TDMA PCS operan en un sistema integrado usando el MSC para redes celulares. Entre las componentes del MSC se encuentran el conmutador digital y una plataforma de acceso para administradores, operaciones y mantenimiento.

El gabinete primario, que comprende tres sectores, ofrece una buena relación costo-efectividad para quienes recién comienzan a desarrollar redes PCS. Esta configuración permite al operador dividir células en sectores, con el fin de reducir la interferencia al mínimo, y mejorar el funcionamiento del servicio de llamadas en un sólo gabinete.

Un gabinete de tres sectores con dos EDRUs en cada sector tiene seis canales por sector. A medida que la base de clientes crece, la configuración puede modificarse fácilmente, convirtiendo las Minicells en gabinetes principales que aceptan ocho EDRUs. Si se agrega un gabinete el sistema puede expandirse a 24 EDRUs para un total de 72 canales.

El Amplificador de Bajo Ruido de Tope de Antena (TTLNA, *The Tower Top Low Noise Amplifier*) aumenta el área de cobertura de las Minicells de TDMA PCS (fig. 33). Incorpora,

varios elementos de hardware que permiten a las Minicells apoyar células que tienen un radio mayor, puede ubicarse lejos de la antena, o utilizar cable hacia la antena con un costo reducido. El sistema TTLNA es el resultado de la actividad combinada de la Unidad Amplificadora de Tope (MAU, *Masterhead Amplifier Unit*), de la Unidad de Transmisión para TDMA (TTU, *Transmit Unit*) y de la Unidad de Recepción de Trama (FRU, *Frame Receive Unit*).

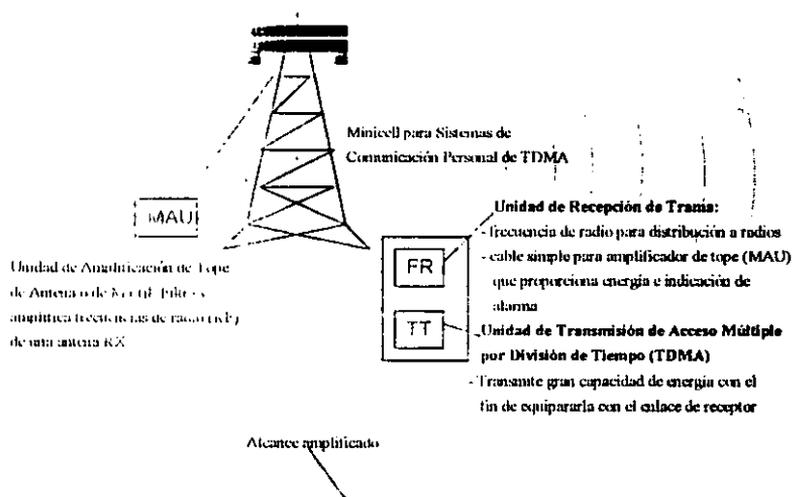


Fig. 33 Sistema TTLNA

La unidad MAU, instalada en la parte más alta de la antena, compensa las pérdidas de frecuencia en el cable de la antena, esto permite que las minicélulas puedan recibir señales desde grandes distancias, o también la posibilidad de ser instaladas lejos de la antena. El TTU amplía la energía de transmisión de 12 a 16 W, lo que permite la transmisión a grandes distancias.

Juntos, el MAU y el TTU aceptan una célula de cobertura amplia, especialmente, en lugares con bajo ruido, tales como áreas rurales.

FRU proporciona potencia y señal de alarma al MAU en un sólo cable, eliminando la necesidad de un cable separado de energía para conectarse a la torre.

Las Minicells TDMA PCS utilizan plataforma de software IS-136 de control digital de canal (DCCH, *Digital Control Channel*). Esta plataforma apoya una gama variada de características que dan mayores servicios tales como modo sleep, servicios de mensajes cortos, privacidad de voz, identificación de llamada, indicador de mensajes en buzón, codificación y autenticación de la señal.

IS-54

La norma IS-54 fue adoptada por la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA, *Electronic Industries Association*) y la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones (TIA, *Telecommunications Industry Association*) esta norma se basa en el método de acceso TDMA. Con este sistema se permite la operación de canales analógicos que serán reemplazados por canales digitales. Los sistemas móviles celulares emplean la banda de frecuencia de 869-894 MHz para la transmisión del usuario móvil a la célula y la banda de frecuencia de 824-849 MHz para la transmisión de la célula al usuario móvil. Cada una de estas bandas está dividida en dos partes para permitir que dos sistemas operen simultáneamente; teniendo cada sistema 12.5 MHz disponibles para la transmisión y 12.5 MHz para la recepción. A la vez cada banda de 12.5 MHz esta dividida en sub-bandas de 30 kHz para comunicaciones de voz; cada portadora de canal digital tiene tres usuarios simultáneos de señal mientras que el sistema GSM tiene ocho. En la norma IS-54 la interferencia intersimbólica causada por aumento del retardo se reduce mediante un ecualizador; debido a la baja tasa del canal (24.3 kbaud) el ecualizador es innecesario en muchos casos. La tasa bit del canal de transmisión es de 48.6kb/s y la duración de cada frame es de 40 ms como se muestra en la fig. 34.

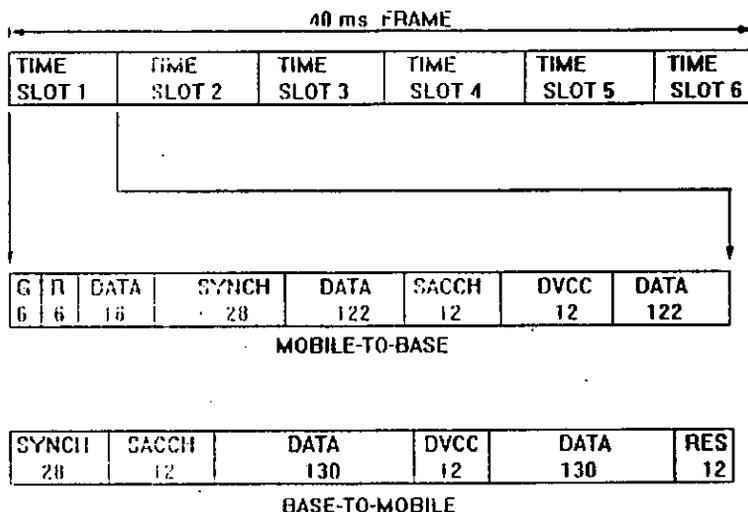


Fig. 34 Estructura del Frame para la norma IS-54

Cada frame esta dividido en 6 slots de tiempo y cada slot tiene una duración de 6.67 ms; 260 bits son utilizados para el tráfico de datos y tienen una tasa completa de 13 kb/s. Se tienen 64 bits de "header" de los cuales 28 bits son de sincronización y contienen la secuencia de bits específicos que es reconocida por el receptor para establecer la alineación con el frame. El sistema IS-54 utiliza secuencias de sincronización diferentes para cada uno de los 6 slots de tiempo, con lo cual se permite que cada receptor se sincronice con su slot de tiempo preasignado. El código digital

de verificación de color (DVCC, *Digital Verification Color Code*) es el slot que supervisa el tono de audio. Existen 256 diferentes bit-8 de códigos de color los cuales están protegidos por un código de corrección de errores. Cada estación base tiene preasignado su propio código de color y cualquier señal de interferencia se ignora. Como se muestra en la fig. 34 se tienen diferentes estructuras de trama para la dirección móvil-base y para la dirección base-móvil pero esencialmente llevan la misma información. En la dirección móvil base se tienen 6 bits rampa para conseguir una potencia máxima y 6 bits de banda de guarda durante los cuales no se transmite nada. Estos 12 bits extra en la dirección base móvil están reservados para usos futuros. El tipo de modulación utilizada en el sistema IS-54 es DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Key*) con una fase de  $\pi/4$  radianes, con esta técnica se tiene una tasa de bit de 48.6 kb/s con un ancho de canal de 30 kHz, y una eficiencia de 1.62 b/s/Hz. Esta eficiencia es 20 % mejor que en el sistema GSM. La desventaja que se tiene con el método de modulación lineal es la eficiencia en la potencia, lo cual se traduce en auriculares portátiles pesados y un corto tiempo entre el recargado de la batería.

## GSM

Debido al incremento en el número de usuarios, a la necesidad de acomodarlos y a la compatibilidad que se necesitaba de las redes con los sistemas digitales la Conferencia Europea de Correo y Telecomunicaciones (CEPT, *Conférence Européenne des Postes et Télécommunications*) establece el sistema GSM. Este sistema fue diseñado para mejorar la calidad de voz con un bajo costo en el servicio, disminución en el costo de las terminales y capacidad para soportar teléfonos portátiles para servicios nuevos y facilidades incluyendo roaming internacional. El sistema se diseñó para operar en la banda de 900 MHz; por iniciativa del Departamento de Comercio e Industria (UK) en 1989 se lleva a la asignación cerca de 1.8 GHz para Redes de Comunicación Personal (PCN, *Personal Communication Network*) en Europa.

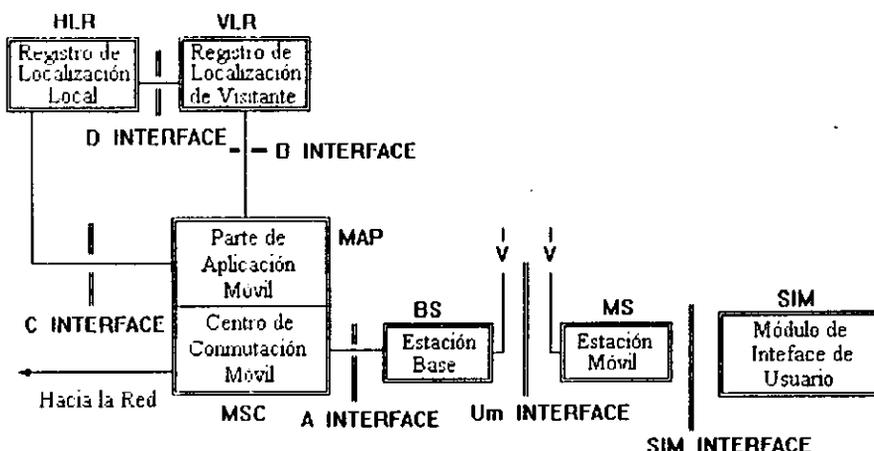


Fig. 35 Estructura de la red celular de radio GSM

### a) Enlace de radio:

El alcance máximo de la potencia de salida para vehículos es de 20 W (43 dBm) y para portátil de 2 a 5 W (33 a 37 dBm). La sensibilidad máxima en la recepción del vehículo y la estación base es de -104 dBm y -102 dBm para portátil. Los sistemas portátiles están diseñados para operar dentro de microcélulas, en el centro de las ciudades o áreas urbanas densas.

### b) Frame y Multiframe:

La información de datos y voz es transmitida por radio, utilizando Modulación por Código de Pulsos (PCM, *Pulse Code Modulation*) con frames y multiframe. Las señales TDMA son moduladas y superpuestas en las portadoras RF que tienen un ancho de banda de 200 kHz. Cada frame está dividido en 8 slots de tiempo, con duración de  $576.923 \mu s$  por slot, por lo que la duración del frame es de 4.6154 ms, como se muestra en la fig. 36. Existen 2 tipos de multiframe: frame 26 y 51.



**c) Codificación de voz:**

La disminución en la tasa de bits de 64 kb/s PCM a 32 kb/s ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) no es adecuada para operar al sistema TDMA de banda estrecha en relación al costo-efectividad, si se quiere tener una capacidad alta de la red radio celular. Con la disminución de la tasa de bits mediante técnicas como excitación regular de pulsos, codificación lineal adelantada y otros algoritmos elaborados se incrementa el tiempo de retardo. El sistema GSM tiene una tasa de 13 kb/s, incrementándose su retardo de 20 a 50 ms dependiendo del fabricante.

**d) Detección de actividad de voz:**

Para transmisiones discontinuas, conocidas como activación de voz; se puede reducir la interferencia cocanal, y por lo tanto la reutilización de frecuencias es muy grande. Esto permite ahorrar potencia en las baterías. Mediante la interpolación de voz se disminuyen los errores originados en la trayectoria de radio. Para la seguridad en el procesamiento digital de voz se aplica la encriptación digital.

**e) Codificación de canal:**

La codificación de canal se utiliza como protección contra errores, empleándose códigos convolucionales en los frames TDMA. Esto permite tener una protección contra grupos de errores similar a la codificación Reed-Solomon. La interferencia intersimbólica se resuelve mediante un ecualizador.

**f) Modulación y uso espectral:**

El sistema GSM emplea modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) con un filtro paso bandas a 3 -dB, con un ancho de banda de 81.25 kHz. Esto es, 0.3 veces la tasa de bit y permite que las señales banda base (270.833 kb/s) sean transmitidas por una portadora RF de 200 kHz. La eficiencia de ancho de banda es de 1.35 b/s/Hz. El espectro disponible para la red es de  $2 \times 25$  MHz, con lo cual se tienen 125 portadoras cada una contiene 8 canales TDMA. La capacidad es de 1000 canales; el sistema GSM está diseñado para operar a un C/I de 10-12 dB, se utilizan células pequeñas (reutilización de frecuencia muy grande) y por lo tanto se logra tener capacidad total. La transmisión en la emisión del espectro para el sistema GSM, se especifica para estar fuera de la banda de potencia radiada de canales adyacentes (interferencia de canal adyacente) a menos de 40 dB de cualquier canal observado.

**g) Control de Potencia y Handoff:**

En el sistema GSM, el handoff se realiza mediante mecanismos elaborados para el control de potencia, los cuales minimizan la interferencia cocanal. La intención es operar al móvil y a la estación base con el menor nivel de potencia posible, manteniendo el nivel necesario para la calidad del servicio. Durante una llamada, la estación base envía periódicamente mensajes de señalización a la estación móvil para ajustar los niveles de potencia; el móvil y la estación base transmiten pulsos de potencia, los cuales no generan señales de banda lateral que interfieran con los canales adyacentes. El rango del control de potencia es de 30 dB con aumentos de 2dB. El incremento o decremento en los niveles de transmisión de potencia del móvil y/o la estación móvil se realizan mediante la comparación del nivel de la señal recibida y el valor BER, con los

valores de umbral. En el sistema GSM los incrementos se realizan paso a paso, pero se espera desarrollar en un futuro un sistema que permita realizar un solo incremento hasta el nivel de potencia. Las decisiones handoff se basan en el funcionamiento del canal como lo son la aproximación de la estación móvil y los límites entre las células. El control de potencia y algoritmo handoff están sincronizados para realizar los incrementos al nivel de potencia que se requiera, cuando la estación móvil tiene un desvanecimiento multirayectoria.

#### h) Salto de frecuencia:

La estación móvil monitorea las diferentes frecuencias de las estaciones base según su orden, para facilitar el proceso handoff del movimiento del usuario móvil a otra localización, el cual desde el punto de vista del sistema se encuentra en otra célula. El monitoreo de frecuencia se realiza durante el tiempo de inactividad entre la transmisión y recepción de información. Las estaciones móviles GSM utilizan saltos pequeños de frecuencia de 2000 saltos por segundo.

Tecnología:	<i>GSM</i>	<i>ADC (IS-54)</i>
Banda de frecuencia	824-894 MHz	880-960 MHz
Método de acceso	TDMA/FDD	TDMA/FDD
Espacio de portadora (ancho)	200 kHz	30 kHz
Modulación	GMSK	$\pi/4$ DQPSK
Tasa bit de canal	270.8 kb/s	48.6 kb/s
Codificación de canal	13 kb/s	1.2 kb/s
Duración de Frame	4.6 ms	40 ms
Canal/portadora	8 (full rate) 16 (half rate)	3 (full rate) 6 (half rate)
Eficiencia de ancho de banda	1.35 b/s/Hz	1.62 b/s/Hz

Tabla 13 Características de radio para sistemas celulares digitales TDMA

La tecnología GSM domina el mercado de los sistemas celulares digitales fuera de Norteamérica, fue el primer sistema disponible comercialmente en Europa, en 1992. En la mayoría de estos países se han añadido características que incluyen: servicios de mensajes cortos en una o dos direcciones, mensajes de texto con una variedad de dispositivos (PCs, pager, y asistencia digital personal), y servicios de facsimil.

GSM fue el primero en proveer facilidades de deambulación internacional. Entre los beneficios de GSM se incluyen llamadas claras, servicios de red inteligente, el uso de tecnología de "tarjeta inteligente", llamadas codificadas digitalmente, y la deambulación entre países que utilizan el sistema GSM.

El sistema GSM trabaja en la frecuencia de 900 MHz. La información del usuario se almacena en una tarjeta inteligente del tamaño de una tarjeta de crédito, llamada tarjeta SIM (*Módulo de Identidad del Cliente*).

Estas tarjetas se introducen en cualquier auricular GSM e inmediatamente el usuario se conecta a la red. Ellos verifican la validez de la suscripción del usuario, y a qué servicios tiene derecho.

Los cargos son facturados inmediatamente al usuario de la tarjeta, no importa que sea propietario del teléfono, o a través de que red él ha recibido la conexión.

Además de la seguridad que proporcionan las tarjetas SIM, GSM también ofrece diferentes características para prevenir acceso no autorizado a la red, y para protección de espías.

El desarrollo del sistema GSM comprende tres fases distintas:

- \* Fase 1, la funcionalidad, la cual la mayoría de las redes ofrecen, y que proporciona telefonía de voz, capacidad de deambular internacionalmente y una gama de funciones básicas.
- \* Fase 2 y Fase 2+, comprenden servicios como el SMS, una función extendida de GSM para localización alfanumérica, servicios de facsímil Grupo 3, comunicación múltiple, identificación de línea de llamado, y otros servicios de datos.
- \* Fase 3, servicios avanzados para transmisión de voz y datos, que proporcionan más beneficios al usuario. Esto incluye un sistema rápido de entrega algorítmica para servicios dentro de un tren, servicios de datos de modo transparente, servicios de mensaje corto para diferentes idiomas, servicios de ubicación y de enlace radio local, Servicio de Telecomunicación Digital Avanzada (DECT) para acceso al sistema GSM, transmisión comprimida de datos, servicios de teléfono de monedas, y apoyo para servicios de 900 y 1800 MHz.

El Sistema Celular Digital 1800 (DCS1800, *Digital Cellular System*) es una derivación del sistema GSM y un estándar relacionado, trabaja en la banda de 1800 MHz y utiliza estaciones de consumo de baja energía que funcionan como microcélulas. Tiene el potencial de poder abrir más la escala del mercado de consumidores de telefonía móvil.

Por estas razones, servicios basados en DCS 1800 son conocidos como Redes de Comunicación Personal (PCNs).

Los beneficios de GSM son:

- \* Estructura abierta. GSM es un sistema abierto con capacidad de deambular internacionalmente.
- \* Un sistema de seguridad incorporado. Este sistema protege a los usuarios de espías y mal uso de los recursos. Disposiciones especiales se han agregado para identificación y confidencialidad de los usuarios, verificación de equipo y confidencialidad de la información del suscriptor.
- \* Tecnología de tarjeta SIM o de tarjeta inteligente. Introducida en un auricular móvil, la tarjeta transmite la información e identificación del usuario y lo conecta con la red, asegurando así, que su suscripción es vigente.
- \* Codificación de voz GSM. Procesadores de señal digital mejoran la calidad de voz cuando las tramas de voz son afectadas por ruido o interferencias.

- \* Servicios a los usuarios. El sistema GSM ofrece al usuario una gama de servicios que van desde el básico de voz, servicio de mensaje corto, administración de mensajes, fax, y acceso a Internet.
- \* Los servicios de operador para el usuario pueden aumentarse para incluir: identificación de número de llamada, seguimiento de llamada, obstrucción de llamada y servicios de emergencia.

## CDMA

CDMA es una tecnología relativamente nueva en Estados Unidos (1990). La amplitud de la señal se realiza sobre frecuencias múltiples y la información transmitida se integra utilizando asignación de códigos. CDMA tiene su raíz en la tecnología Spread Spectrum utilizada en Estados Unidos para comunicaciones militares. La adopción de la tecnología Spread Spectrum se debió a que hace más eficiente el uso del espectro y la señal es más clara. Esta tecnología es más avanzada, tiene un costo menor y su instalación es más simple que GSM.

CDMA ha mostrado ser una alternativa viable a TDMA y FDMA, y el uso de técnicas Spread Spectrum en aplicaciones de comunicaciones inalámbricas es un área de investigación y desarrollo muy activa, esta técnica es superior a otras.

Dos problemas básicos en el diseño de los sistemas de radio móvil celular son los desvanecimientos multirayectoria y la interferencia de otros usuarios en ambientes celulares de reutilización. La Secuencia Directa (DS, *Direct Sequence*) puede utilizarse en los regresos multirayectoria, o para un funcionamiento total mediante diversidad. Mediante la codificación de datos y el traslape de estos sobre saltos-múltiples se obtiene diversidad de frecuencia.

Otra consideración en los sistemas celulares CDMA es el factor de reutilización. En las técnicas de acceso múltiple las frecuencias utilizadas en una célula usualmente no son utilizadas en las células adyacentes; debido a que se necesita un espacio de aislamiento suficiente y asegurar que las células que utilizan la misma frecuencia no ocasionen interferencia. En un sistema CDMA, el funcionamiento esta limitado por la interferencia promedio; el sistema CDMA ofrece una gran capacidad en los sistemas multicelulares; sin embargo, para una célula aislada, debido a que las ondas no tienen ortogonalidad el sistema CDMA tiene una capacidad menor en comparación con los sistemas TDMA y FDMA, que tienen técnicas de ortogonalidad.

El sistema CDMA proporciona un aumento en la capacidad; en una conversación telefónica bidireccional, la actividad de voz de cada participante es aproximadamente el 50% del tiempo; si la transmisión es discontinua, durante los periodos no activos se puede duplicar el número de conversaciones simultáneas en el sistema. El diseño de reutilización en las células elimina problemas en los requerimientos de planeación de frecuencias con sistemas de banda angosta. La característica de las señales de amplitud del espectro para contrarrestar la interferencia ha sido aplicada en la banda Industrial, Científica y Médica (ISM).

### Secuencia Celular Directa CDMA.

Secuencia Directa se refiere ha información que ha sido codificada y luego transmitida mediante un multiplexor con muchas otras corrientes de información. Su capacidad de canal de radio es de 1.25 MHz por portadora CDMA. La tecnología CDMA permite que varios usuarios compartan el mismo ancho de banda del espectro simultáneamente.

Todas las transmisiones de voz y datos se hacen con una sola portadora. Los bits codificados de voz y datos son identificados por el código PN de la terminal móvil. Una conversación determinada, puede sólo ser sacada de la corriente de paquetes que contienen otras conversaciones al usar el código PN en esa conversación o en esa transmisión de datos. Esto hace que CDMA sea inherentemente más segura que otra técnica de transmisión.

Entre las ventajas de CDMA se incluyen:

- \* Alta seguridad para prevenir obstrucción y congestión
- \* Puede coexistir con otros sistemas desde el momento que la señal se separa mediante un código
- \* Resistencia a debilitarse. Si algún desvanecimiento sucede en una frecuencia de banda determinada, el efecto se esparce sobre varios usuarios, minimizando la magnitud de su efecto en una señal, debido a que los usuarios sólo utilizan una frecuencia de banda en cierta porción de tiempo.

Las señales Spread Spectrum de Secuencia Directa son generadas por una modulación lineal con secuencia PN de banda ancha, las cuales son asignadas a usuarios individuales como sus códigos "señal". La banda ancha es utilizada para aumentar el funcionamiento en interferencia y propagación multitrayectoria.

En DS/CDMA, el espacio tiempo/frecuencia esta usualmente dividido por los usuarios de la siguiente manera. Una banda de frecuencia es utilizada para el enlace base-móvil, y otra banda de frecuencia es utilizada para el enlace móvil-base. Los enlaces de ida y regreso difieren en:

- a) el enlace de ida, un canal "piloto" común de la célula puede ser utilizado para el cálculo de canal y tiempo de sincronización; además, los usuarios pueden estar colocados ortogonalmente (sin embargo, la ortogonalización no es preservada entre diferentes trayectorias durante la propagación multitrayectoria, ni entre los enlaces de ida de células diferentes).
- b) el enlace de regreso, por otro lado no se gozan de estas características por ejemplo, no se puede tener una ortogonalización, debido a que las localizaciones son diferentes, así como, los movimientos de los móviles son independientes.

### Características de DS/CDMA.

**Reutilización Universal de Frecuencia.**- Los sistemas celulares FDMA y TDMA dependen del espacio de atenuación para controlar la interferencia intercelular; como resultado, células cercanas requieren de frecuencias diferentes de asignación como protección contra una gran interferencia co-canal (co-channel). En contraste, los sistemas celulares DS/CDMA pueden aplicar un diseño de reutilización de frecuencia universal "uni-célula"; si los requerimientos de tráfico en cierta localización se incrementan, la introducción de una nueva célula será menos restringida que en el caso de los sistemas FDMA y TDMA. Esta característica del empleo de una reutilización universal de frecuencia no solamente influye en la capacidad del sistema, sino además se obtiene un direccionamiento fácil de la frecuencia.

### Control de Potencia.

- a) **Enlace de Regreso.**- El enlace de regreso tiene un diseño asíncrono; un sistema CDMA asíncrono es vulnerable a los problemas "near-far", esto es, problemas en las señales de Secuencia Directa del usuario, por lo que se atenúa la señal DS. Una solución al problema "near-far" es el uso de un control de potencia, con el cual se intenta asegurar que todas las señales de los móviles dentro de una célula lleguen a la base de la célula con igual potencia. El uso principal del control de potencia es maximizar la capacidad del usuario; un beneficio adicional es que se minimiza el consumo de la potencia transmitida de la unidad portátil. Los requerimientos de control de potencia son exactos (dentro de 1 dB), rápidos para compensar el desvanecimiento Rayleigh (ocasionados por los movimientos rápidos de los vehículos así como por cambios hacia sombras) y deben tener un rango dinámico amplio (80 dB).
- b) **Enlace de Ida.**- Debido a que las señales de la célula pueden ser recibidas en el móvil con igual potencia, en este enlace no se sufren de problemas "near-far". El control de potencia puede ser aplicado para incrementar la potencia transmitida a los móviles que sufren de una interferencia intercelular excesiva; lo cual ocurre cuando un móvil se encuentra en los límites de la célula. En el enlace de ida a diferencia se requiere de un limitado rango dinámico y no es necesario que se cuente con una gran rapidez.

**Handoff Flexible y Diversidad de Espacio.**- La reutilización universal de frecuencia presenta problemas en los límites de la célula, donde la transmisión de dos o más sitios de célula son recibidas casi con iguales niveles. Para resolver este problema en los enlaces de ida, la información del usuario se envía mediante dos o más estaciones base, obteniéndose una diversidad combinada por el receptor del usuario. En el enlace de regreso, los datos del usuario son recibidos por la estación base receptora correspondiente y la selección de diversidad se realiza a través de una infraestructura fija. El control de potencia del móvil es coordinado por la estación base que recibe señales fuertes; con lo que se asegura que no se genere interferencia excesiva. El modo handoff flexible es particularmente útil en la transición handoff de una célula a otra, con esto, se proporciona una transición antes de la ruptura en el handoff.

Handoff flexible es utilizado entre sectores de un mismo sitio base; los dos sectores utilizan las mismas frecuencias, mediante el modo handoff flexible se cubren las regiones límite entre los sectores adyacentes, este modo es llamado usualmente "softer handoff".

Handoff flexible además puede ser utilizado para proporcionar diversidad de espacio para disminuir la multitrayectoria, teniendo un retardo pequeño. Otro caso en donde el handoff flexible es propuesto para ser utilizado es en el caso satelital para poder proporcionar a los satélites diversidad en los móviles.

**Codificación.**- La redundancia de codificación puede ser considerada parte de la amplitud. En principio uno puede considerar la utilización de tasas muy bajas. En el límite se utilizan códigos con una tasa  $1/G$ , donde  $G$  es la ganancia del proceso; en la práctica, se utilizan códigos de una tasa de  $1/2$  y  $1/3$ .

**Actividad de Voz.** - En CDMA el factor dominante del límite de la capacidad es la Interferencia de Acceso Múltiple (MAI, *Multiple Access Interference*). Una manera para reducir el MAI simultáneo es detener la transmisión cuando no se tiene actividad de voz o datos. En las conversaciones telefónicas bidireccionales se ha establecido que la actividad de voz es menor al 50% del tiempo; así, si se emplea una detección de actividad de voz, la capacidad de los sistemas celulares CDMA, en términos del número de usuarios que son servidos simultáneamente por el sistema puede ser incrementada aproximadamente al doble.

**Ganancia de Antena.** - Los sectores de antenas fijas y arreglos de fase permiten una reducción del MAI y por lo tanto se incrementa la capacidad del usuario. El diseño de reutilización universal puede ser aplicado a las células que han sido divididas en sectores, usualmente, se emplean tres sectores de antena.

**Capacidad de Usuario Celular.** - Para un enlace de ida, una estación base puede emplear una transmisión sincrónica para todos los usuarios móviles, esto es llamado CDMA sincrónico, y los códigos ortogonales pueden ser aplicados a transmisiones sincronizadas para disminuir el MAI desde dentro de la célula. Aquí se presenta el cálculo ordinario de la capacidad de un enlace de regreso, el cual es usualmente un enlace asíncrono; se asume un control de potencia perfecto, y grupos idénticos de usuarios (por ejemplo todas las voces de los usuarios necesitan del mismo funcionamiento).

La razón de densidad espectral de energía por bit a ruido efectivo puede expresarse como:

$$\left(\frac{E_b}{\eta_0}\right)_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{\eta_0}{E_b} + \frac{2}{3G}(M-1)(1+K)\alpha} \quad (8)$$

donde:

$\left(\frac{E_b}{\eta_0}\right)_{\text{eff}}$  ⇒ razón de densidad espectral de energía por bit a ruido total (esto es ruido térmico más interferencia)

$E_b$  ⇒ energía recibida por bit

$\eta_0$  ⇒ densidad unibanda de ruido espectral

$G$  ⇒ ganancia del proceso, igual al número de chips por símbolo de información (donde se tiene una ganancia  $rG$  en el proceso por símbolo codificado si se emplea una tasa  $r$  de corrección de error adelantada)

$M$  ⇒ número de usuarios por célula

$\alpha$  ⇒ factor de actividad de voz

$K \Rightarrow$  factor de derramamiento (spillover) de célula adyacente, dado por la razón de interferencia intercelular a interferencia intracelular

$\frac{2}{3} \Rightarrow$  coeficiente que depende de la forma de onda que genera el chip, aquí se asume que se tiene un pulso rectangular.

La ec.(8) relaciona la densidad espectral de energía por bit a ruido con la razón del número de usuarios, despejando  $M$  se produce la expresión siguiente del número de usuarios por célula:

$$M = 1 + \frac{3}{2} \frac{G}{(1+K)\alpha} \left\{ \left[ \left( \frac{E_b}{\eta_0} \right)_{eff} \right]^{-1} \cdot \frac{\eta_0}{E_b} \right\} \quad (9)$$

\* El concepto de razón de densidad espectral de energía por bit a ruido efectiva, de la ec. (8), "tiene sentido" debido a que un sistema DS/CDMA opera en un ambiente donde el ruido de acceso múltiple es causado por la suma de un gran número de usuarios; el enlace DS/CDMA puede caracterizarse por un  $\left( \frac{E_b}{\eta_0} \right)_{eff}$  específico para alcanzar el requerimiento BER, el BER para un  $\left( \frac{E_b}{\eta_0} \right)_{eff}$  dado, esta en función de las características de los canales, así como del grado de desvanecimiento multirayectoria. De la ec. (8) se observa que los otros parámetros se mantienen constantes cuando el valor  $\left( \frac{E_b}{\eta_0} \right)_{eff}$  es disminuido, y el número de usuarios se incrementa.

\* La ec.(9) muestra un valor promedio para  $M$ . Este promedio es con respecto a variables aleatorias; por ejemplo,  $\alpha$  representa el promedio de actividad de voz del ciclo; sin embargo, la actividad de un usuario es una variable aleatoria. El valor promedio para  $\alpha$  no indica la probabilidad cuando está fuera de servicio el sistema, que puede ser una manera de establecer el número de usuarios simultáneos.

\*  $K$  representa la disminución de la capacidad debida a la interferencia intercelular. Esto depende de varios factores, principalmente del aislamiento intercelular. Para los sistemas terrestres esta es una función del exponente de la ley de propagación (disminución de la potencia recibida en razón a la distancia). Con un exponente de propagación inferior se produce una  $K$  elevada; para un exponente de ley de propagación de 4, se tiene una  $K \approx 0.5$ ; para un sistema satelital, el aislamiento celular se obtiene principalmente a través del diseño de antenas de haz múltiple.  $K$  depende del espacio de distribución de los usuarios, los números anteriores de  $K$  son para una distribución uniforme, para otro tipo de distribuciones la  $K$  varía considerablemente. Existe una diferencia entre las  $K$ 's en los enlaces de ida y regreso, por ejemplo, el uso de un handoff flexible ocasiona que el enlace de ida tenga el peor factor de reutilización, debido a que los móviles se localizan en una zona de handoff flexible se necesitarán dos o más estaciones base.

\* El ruido térmico reduce la capacidad, como puede observarse del segundo término de la ec.(9), si la potencia móvil es suficientemente alta, se obtiene una capacidad asintótica debido a que se abandona el efecto del ruido térmico. Para  $M \gg 1$ :

$$M \approx \frac{3}{2} \frac{G}{\left(\frac{E_b}{\eta_o}\right)_{eff}} \frac{1}{(1+K)\alpha} \quad (10)$$

\* El valor mínimo requerido para un  $\left(\frac{E_b}{\eta_o}\right)_{eff}$  denotado como  $\left(\frac{E_b}{\eta_o}\right)_{min}$ , es un parámetro importante en los efectos de capacidad como se observa en las ecs. (9) y (10). El cual depende de los requerimientos BER, que a su vez dependen de factores como son las características multirayectoria del enlace en relación al ancho de banda de la señal. Las características de una multirayectoria precisa dependen del ambiente de operación. Un valor típico de  $\left(\frac{E_b}{\eta_o}\right)_{min}$  para aplicaciones celulares exteriores tiene un BER de  $10^{-3}$ , codificación convolucional y decodificación de decisión flexible.

\* La razón  $M\alpha/G$  se interpreta como la eficiencia, debido a que expresa la tasa bit de información comunicada en una célula (un camino) por un Hz de ancho de banda. Una eficiencia de 0.2b/s/Hz/célula (con  $K=0.5$ ), puede incrementarse mediante la sectorización de la célula.

\* La ganancia del proceso juega un rol importante en la eficiencia del sistema. Usualmente, con una gran ganancia en el proceso se tiene la habilidad por parte del sistema de disminuir la multirayectoria. La habilidad promedio del sistema (averaging ability) es mejorada debido a que más usuarios son distribuidos en la banda de frecuencia, disminuyéndose la probabilidad cuando está fuera de servicio. Sin embargo, con una ganancia alta se tiene cierta complejidad en la implementación, así como un alto consumo de potencia y limitación en la localización de amplitud en un ancho de banda impuesto por el organismo regulador. Los valores de  $G$  están usualmente en el rango de 100 a 1000.

\* Debido a que los sistemas DS/CDMA están limitados por la interferencia se tiene la opción de cambiar capacidad por cobertura. En otras palabras, como la carga de la célula ( $M$ ) disminuye, la cobertura se incrementa; de la ec. (8) disminuyendo  $M$  se permite una disminución de  $E_b$  sin ocasionar un incremento del denominador. Esta característica es útil en la construcción de sistemas celulares donde el espacio para distribuir la carga no es uniforme. En el núcleo de un sistema, las células pequeñas tienen gran carga; en los límites del sistema, donde se tienen cargas pequeñas las células aumentan su tamaño por lo que la cobertura se incrementa. Cuando en el sistema se tienen cargas pequeñas se necesita una potencia RF menor, esto es útil en términos de la vida de la batería.

\* En la ec. (9) se ignoran efectos de un control de potencia y un traslape imperfecto. Con el uso de un chip de forma rectangular perfecta los resultados son buenos debido a que no se considera el límite de la banda. Si la amplitud del ancho de banda no excede el ancho de banda de

coherencia de canal, los desvanecimientos multitrayectoria ocasionan una degradación notable. Si el retardo de propagación excluye el uso de un control de potencia exacto se origina una disminución significativa en la capacidad.

En el análisis presentado se asume una distribución uniforme de usuarios ( $M$  usuarios en cada célula). Para una distribución no uniforme, las técnicas de acceso múltiple ortogonales como TDMA y FDMA tienen una ventaja, debido a que mediante estas técnicas se puede tomar la asignación del slot de una célula con una carga pequeña y transferirla a una célula adyacente con gran carga. Para un sistema CDMA no ortogonal esta opción tiene un grado más limitado, ya que el número de usuarios activos se concentra en una célula.

### Diseños DS.

Los primeros sistemas emplean datos BPSK (*Binary Phase Shift Keyed*), QPSK y transmisiones intracelulares sincronas, esto significa que el enlace de ida es ortogonal, por lo que no se tiene interferencia de acceso múltiple intracelular. La tasa chip es de 1.228 Mchips/s, la amplitud del ancho de banda es de 1.25 MHz, y se emplea una corrección de error adelantada con un código convolucional.

En el enlace de regreso se utiliza una señalización ortogonal binaria y un código convolucional. En el receptor se emplea una detección no coherente, y un control de potencia adaptado para procurar que todos los usuarios intracelulares lleguen a la base con el mismo nivel de potencia recibida.

En contraste, el sistema BCDMA (*Broadband CDMA*) tiene un ancho de banda de 10 MHz. En los enlaces de ida y regreso se emplean datos QPSK y recepción coherente.

En ambos enlaces se emplea un código convolucional, la tasa chip es de 8 Mchips/s, y un control de potencia adaptado en el enlace de regreso.

Existen numerosas diferencias entre los dos sistemas (tipo de modulación, algoritmos para el control de potencia), una ventaja de amplitud angosta es la flexibilidad para utilizar un espectro no continuo, esto es, si la banda espectral total de  $B$  Hz está disponible pero no como una banda continua, empleando un sistema de amplitud angosta en el ancho de banda mediante un modo de operación FDMA/CDMA se puede utilizar todo el ancho de banda. La ventaja de una amplitud ancha incluye el uso de la multitrayectoria más efectivamente y opera con un promedio de interferencia sobre más móviles para aumentar el funcionamiento.

Existe otra diferencia interesante entre los dos métodos y esta involucra la transición de los sistemas celulares analógicos y los sistemas CDMA. En el caso de CDMA de banda angosta la transición es básicamente un remplazamiento; esto es, un despliegue de un grupo de usuarios CDMA en una banda de frecuencia, esta banda debe ser desocupada primero por las señales de banda estrecha. En el caso de BCDMA, la forma de onda "spread spectrum" sobre las señales de banda angosta, significa que ambos grupos de usuarios ocupan simultáneamente la misma banda de frecuencia; esto es posible debido a que con AMPS, únicamente 1/7 (14%) de las frecuencias son utilizadas en cualquier localización. Con el transcurrir del tiempo más usuarios se convierten a la tecnología digital, y el número de usuarios de AMPS disminuye, incrementándose la capacidad del sistema BCDMA.

El concepto de capas es propuesto para la banda de 1.8 GHz en PCS y la banda celular. La consideración principal en una capa es si la interferencia de un grupo de usuarios impuesta sobre otros está dentro de límites tolerables, y esto es efectuado mediante el uso de filtros en los transmisores y receptores CDMA.

En Europa, los futuros Sistemas de Telecomunicaciones Universales Móviles (UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*) han sido estudiados a través del CODIT (*Code Division Testbed*), esto, dentro del marco del programa de Investigación en Comunicaciones Avanzadas en Europa (RACE, *Research in Advanced Communications in Europe*). Se intenta que CODIT sea la base para los sistemas de la tercera-generación. Se considera a los sistemas analógicos como la primer generación, los sistemas actuales (GSM en Europa e IS-54 en Estados Unidos) y los sistemas cercanos a los sistemas digitales (IS-95 en Estados Unidos) como la segunda generación.

### Cancelación de Interferencia

La capacidad DS/CDMA depende de un control de potencia exacto, ganancia en la actividad de voz, ganancia en la antena y otras técnicas. A fin de incrementar la capacidad, se deben superar dos obstáculos principales:

- a) Primero, el spread spectrum donde los filtros receptores son igualados no es óptimo en presencia de interferencia de acceso múltiple.
- b) Segundo, son altamente susceptibles a efectos near-far. Como resultado de esto, se ha propuesto investigar receptores adaptados spread spectrum los cuales tienen la capacidad de combatir estos problemas.

Los receptores convencionales demodulan cada señal mediante un detector de usuario que consiste en un filtro seguido de un detector de umbral, y un MAI. Para aproximar la información a la capacidad teórica, es necesario utilizar un receptor multiusuario con probabilidad máxima (MLMR, *Maximum Likelihood Multiuser Receiver*). Este receptor es resistente al problema near-far. Sin embargo, se tiene una extrema complejidad en la implementación.

Para tener niveles razonables de complejidad con el compromiso de funcionamiento, se han estudiado técnicas basadas en la supresión de interferencia y cancelación; estos receptores emplean una estrategia de detección multiusuario. La complejidad de los cálculos se incrementa linealmente con el número de usuarios, opuestamente a MLMR en el que se tiene un incremento exponencial. Los receptores tienen usualmente una resistencia "near-far", de esta manera se disminuye la necesidad de un control de potencia estricto.

Mediante un receptor se calcula la replica de la secuencia transmitida por cada usuario mediante la multiplicación de la señal recibida con la secuencia "disminuida". Cada secuencia calculada pasa a través de un filtro digital adaptado con una igualación al canal para calcular la estimación MAI de cada usuario; el MAI calculado es restado de la señal original recibida. Esta detección y cancelación MAI se combina con arreglos de antenas.

Después de que todas las señales recibidas de las terminales móviles son demoduladas en una estación base, un receptor multiusuario con cancelación MAI tiene un uso más eficiente en el

enlace de regreso. Un receptor avanzado DS/CDMA, utilizando esta cancelación de interferencia, debe considerarse como un candidato posible para la generación futura de sistemas celulares CDMA.

### **Salto de Frecuencia Celular CDMA.**

Por razones prácticas, virtualmente todos los sistemas FH propuestos para las comunicaciones inalámbricas son sistemas FH lentos (bits múltiples son transmitidos en cada salto). El uso de SFH al igual que DS es motivado por la amplitud del espectro, de modo que la diversidad de frecuencia ayuda a disminuir la multitrayectoria, y diversificar la interferencia; el funcionamiento del usuario se determina por el promedio de interferencia. La diferencia principal entre el funcionamiento de DS y FH es:

a) en DS la interferencia intracelular es usualmente la fuente dominante de interferencia, y en FH se puede tener un método ortogonal de manera que los usuarios dentro de una célula no interfieran con otros.

Esto puede realizarse mediante la elección de secuencias de salto que sean ortogonales dentro de las células, y una combinación de tiempos de transmisión avance/retraso en los móviles, para que el tiempo de llegada a la base receptora del grupo de enlace ascendente este sincronizado en tiempo. FH/CDMA tiene reutilización universal en una célula, al igual que DS/CDMA. Las ventajas de este tipo de sistemas son las siguientes:

**Solución del Enlace de Ida, Problema Near-Far.**- Debido a que la amplitud del retardo multitrayectoria es usualmente más pequeña que la duración del salto, el enlace de regreso puede efectuarse mediante un método ortogonal en una célula con una alineación apropiada del tiempo de transmisión de cada grupo, y tiempo de guarda. El control de potencia para FH es empleado solamente para disminuir la interferencia intercelular.

**Interferencia Externa.**- La mayoría de los usuarios existentes en la banda de frecuencia son de banda angosta. Un cierto nivel de emisión falsa fuera-de-banda es inevitable y en realidad, legalmente permitido. Esta interferencia de los servicios existentes en los servicios móviles nuevos puede sin embargo, ser más suave en un sistema FH que en un sistema DS. La interferencia de estos sistemas debido a la interferencia externa afecta también canales específicos sin embargo, esta interferencia disminuye la capacidad. Con un sistema simultáneo de banda angosta, como FH, se tiene un efecto de saturación, esto es, la interferencia de banda angosta no puede obtener una capacidad mayor que la que es determinada por la razón del ancho de banda con el ancho de banda del sistema.

**Agilidad de Frecuencia.**- Mientras que una señal DS/CDMA requiere una banda de frecuencia continua y amplia, FH es ágil debido a que el espectro no tiene que ser continuo. Esto permite que FH/CDMA se implemente donde la licencia de funcionamiento esta dada en las bases de canales de banda angosta aislados e individuales. Las características de banda angosta simultánea FH/CDMA ayudan en restricciones de emisión fuera-de-banda. DS/CDMA, es una señal de

banda ancha, que requiere una banda de guarda considerable en los límites del espectro, para el control del nivel de emisión dentro de bandas adyacentes.

En los sistemas FH actuales, el control de potencia es empleado para disminuir la interferencia intercelular. La detección de actividad de voz puede ser utilizada para incrementar la capacidad. Algunos de los usuarios de células adyacentes interfieren únicamente en un salto durante el periodo de secuencia de salto. Cada salto es caracterizado por un C/I, y el funcionamiento del enlace está determinado por un "histograma" de los valores C/I.

La portadora de salto puede estar en un canal individual o en canales múltiples a través de una estructura de división de tiempo. Esto tiene una ventaja en la implementación, debido a que el móvil es ocupado únicamente parte del tiempo en la transmisión o recepción. Por ejemplo, con GSM, la portadora está dividida en ocho timeslots. Un móvil transmite sobre un timeslot, recibe sobre otro, y utiliza un tercero para monitorear otras portadoras durante la asistencia-móvil handoff. Sin embargo, la habilidad del sistema para promediar la interferencia disminuye si no se suma el salto del timeslot. El salto del timeslot, se refiere a que el usuario multiplexado sobre una división de tiempo lleva un salto de un timeslot a otro (de un frame TDMA a otro) para asegurar aleatoriedad con respecto a la interferencia que ve un usuario originada por otros.

Los sistemas celulares que permiten el uso de SFH son GSM y DCS1800. Este último es básicamente GSM trasladado al rango de 1800 MHz. Un frame TDMA tiene una duración de 4.615 ms, y una tasa de saltos de 217 saltos/s.

### Funcionamiento Terrestre y Satelital Basado en los Enlaces Inalámbricos.

CDMA ha sido propuesto en los enlaces satelitales y terrestres; sin embargo, existen diferencias claves en las características de los dos tipos de enlaces en la forma en que estos afectan un sistema CDMA. Ahora se muestran estos efectos sobre ambos sistemas.

**Sistemas de Base Terrestre.-** En los sistemas terrestres, se tienen enlaces interiores y exteriores; entre los enlaces exteriores se encuentran las microcélulas (antenas con una elevación pequeña al nivel de la calle) y macrocélulas (antenas con una alta elevación); las macrocélulas rurales y urbanas tienen características diferentes en la amplitud del retardo. Para un medio ambiente interior, el ancho de banda de coherencia es de 2 a 5 MHz para oficinas y cuartos grandes (por ejemplo bancos), y puede ser mayor de 10 MHz para cuartos pequeños. Para el enlace terrestre exterior, la amplitud del retardo multitrayectoria es más grande, así, el ancho de banda de coherencia es más pequeño. Esto es importante en áreas rurales, donde la amplitud del retardo multitrayectoria es frecuentemente del orden de varios microsegundos, así, la amplitud del ancho de banda de la señal transmitida puede ser de 1 MHz. Por otro lado en las áreas del centro de la ciudad, la amplitud del retardo multitrayectoria es pequeña cuando las antenas están localizadas al nivel del terreno por lo que se requiere una alta tasa chip.

**Sistemas de Base Satelital.-** Existen muchas propuestas/diseños de sistemas satelitales móviles, algunos de los cuales emplean CDMA. La mayor parte de estos sistemas son Satélites de Órbita Baja (LEOS, *Low Earth Orbiting Satellite*), en tales sistemas la amplitud de retardo

multitrayectoria es de 100 ns, debido a la inclinación de la trayectoria de propagación, el ancho de banda de coherencia es de 10 MHz. Se tiene una amplitud menor de 100 MHz y tan baja como 1.25 MHz, no se tendrá la capacidad de mejorar el potencial multitrayectoria de las formas de onda spread spectrum. Se implementa un sistema de diversidad satelital dual por medio del cual cada unidad móvil es vista por dos satélites; el móvil transmitirá simultáneamente a ambos satélites; por lo tanto los dos satélites retransmitirán la onda a la estación terrestre fija, donde se combinarán para producir diversidad de ganancia.

### **Retardo de la Trayectoria / Control de Potencia.**

La segunda diferencia fundamental entre el canal satelital y el canal terrestre es la que se refiere al tiempo total de retardo que experimenta la señal cuando es transmitida sobre el canal; este retardo afecta la habilidad del sistema para implementar el control de potencia. Se debe de tener un control de potencia exacto de modo que las ondas lleguen al receptor con aproximadamente la misma potencia. Con el control de potencia se solucionan las variaciones de potencia que son originadas por las diferencias de distancia y niveles de sombra, debido a que ambos efectos son aproximadamente recíprocos (esto es, la pérdida en la potencia de la señal móvil - base es casi igual a la pérdida base - móvil). La pérdida ocasionada por el desvanecimiento multitrayectoria no es recíproca; debido a que la banda de frecuencia para la transmisión base-móvil esta separada de la transmisión móvil-base por una cantidad que excede el ancho de banda de coherencia del canal, las dos bandas experimentan desvanecimientos independientes.

Los sistemas LEOS CDMA operan en modo "bent pipe", esto es, el satélite actúa como un transpondedor, cuya frecuencia translada los enlaces de radio. Esto es, la señal original del móvil, va del móvil al satélite y entonces desciende a un "gateway" sobre el suelo, así pues, el retardo de propagación remoto excede al de un canal terrestre. Por ejemplo, el tiempo de retardo para los sistemas LEOS es del orden de decenas de milisegundos, aún para bajas velocidades de los móviles de 10-20 millas por hora; se han medido tasas de desvanecimiento superiores a 0.5 dB por milisegundo; los eventos de desvanecimientos pueden desaparecer durante la duración del retardo a través del viaje. Por lo tanto, mientras el control de potencia es efectivo en los sistemas terrestres donde se tienen retardos de tiempo pequeños, este, no es útil en enlaces LEOS, y en enlaces geostacionarios.

### **Traslape.**

Para uno u otro sistema, el funcionamiento es relación de la velocidad, las unidades de usuario que se mueven lentamente tienen un control de potencia más exacto que las unidades de usuario con movimientos rápidos. Sin embargo, un control de potencia exacto no esta relacionado únicamente con el resultado de la velocidad. Los códigos de corrección de errores empleados en estos sistemas están diseñados para corregir errores aleatorios; el efecto de desvanecimiento en el canal es causado por la correlación de errores; el traslape es empleado en el transmisor y el "deinterleaver" en el receptor. El "interleaving/deinterleaver" es útil cuando el número de

simbolos de desvanecimientos consecutivos es relativamente grande (determinado por la duración de un desvanecimiento).

Existen efectos de contrapeso en el funcionamiento del sistema CDMA como resultado del movimiento de la unidad móvil. A bajas velocidades, el sistema de control de potencia funciona correctamente, pero el traslape no es efectivo; a altas velocidades, el traslape es efectivo, pero el sistema de control de potencia no presenta el funcionamiento correcto.

En la fig. 37 se muestra el efecto de un control de potencia imperfecto. Estas curvas corresponden a un factor de interferencia "interbeam" (semejante a la interferencia intercelular en un sistema terrestre). Se muestran tres curvas que corresponden a los valores de  $M$  de 10, 20, y 40; la ordenada al eje es la probabilidad de error de un usuario sombreado, y la abscisa es la desviación estándar del error de control de potencia en dB, con un valor de  $\frac{E_b}{\eta_n} = 7 \text{ dB}$ . Una

desviación estándar de 2 dB limita el número de usuarios activos simultáneos por célula a 10; si la desviación estándar se reduce a 1.5 dB, la capacidad se incrementara al doble es decir a 20. Con un control de potencia perfecto (desviación estándar cero), el sistema no puede soportar 40 usuarios activos simultáneamente. Con lo que se observa que el valor de capacidad de la ec.(9) es una aproximación.

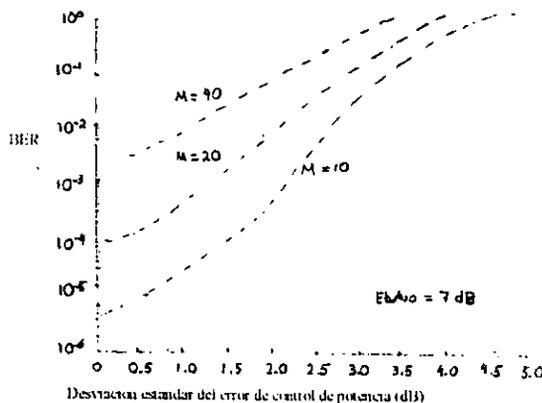


Fig. 37 Efecto de un control de potencia imperfecto en CDMA

Para alcanzar una gran capacidad se puede emplear diversidad (por ejemplo de espacio). En la fig. 38 se muestra el uso de diversidad en donde las condiciones son las mismas que en la fig.37. Nótese, que si la desviación estándar del error de control de potencia es de 2 dB, el sistema puede soportar 40 usuarios activos simultáneamente, y 10 usuarios se pueden mantener con una desviación estándar de 3 dB.

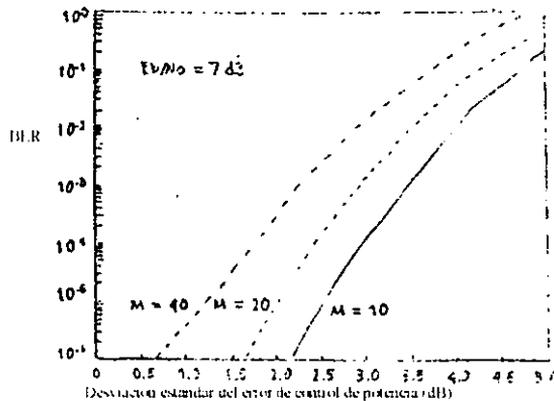


Fig. 38 Efecto del uso de diversidad.

### Spread Spectrum y Banda ISM.

Existen tres bandas de frecuencia designadas para equipo generado y utilizado en E. U., energía RF para industria, y aplicaciones científicas y médicas (ISM). Estas bandas son 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, y 5725-5850 MHz. Las aplicaciones terrestres típicas son: equipos de calefacción industrial, hornos de microondas, equipo médico diatérmico, y equipo de ultrasonido. Debido a que la radiación RF de los dispositivos se localiza en los límites, se determinó que las mismas bandas de frecuencia fueran compatibles con las aplicaciones para residencias, oficinas, redes de área local, etc.

La primer banda en recibir atención comercial fue la de 902-928 MHz; en el mercado se pueden encontrar productos como redes de datos de área local, dispositivos automáticos de localización de vehículos, y telefonía inalámbrica para casas. El principal equipo ISM en las bandas laterales son los hornos de microondas; esta banda es tan ancha como la banda de los 900 MHz y disfruta de una internacionalización debido a la distribución de los hornos de microondas en todo el mundo.

Ha llegado a ser usual expresar la capacidad de los sistemas digitales actuales como una comparación entre su capacidad y la capacidad de la tecnología analógica AMPS. Sin embargo, no se puede hacer una comparación total entre los sistemas. Por ejemplo, para los sistemas CDMA, la capacidad es un número "flexible", esto es, la capacidad con un funcionamiento aceptable, puede ampliarse cuando es necesario, con cierta disminución en el funcionamiento; lo cual no es el caso de las tecnologías de banda angosta, donde se mantiene una capacidad "fija". Por otro lado, los sistemas CDMA operan bajo el principio de igual funcionamiento para todos los usuarios y, en el caso de que se tenga una carga completa, todos los usuarios son servidos con un nivel mínimo de funcionamiento.

Otro factor que cambia la comparación entre DS-SS/CDMA y las tecnologías de banda angosta es el espacio de distribución de usuarios.

Otros factores que pueden afectar los resultados son las características multirayectoria y el tiempo de retardo. Ráfagas de actividad, como voz y ciertas fuentes de datos, llevan como consecuencia una ventaja para la implementación CDMA.

CDMA se ha convertido en uno de los modelos dominantes en América. Permite que la transmisión de diferentes usuarios pueda superponerse en tiempo y frecuencia. Por ejemplo, los ofrecimientos de la compañía Lucent Technologies para tecnología CDMA están basados en el concepto de Secuencia Directa (DS) Spread Spectrum.

La calidad de las llamadas es resguardada por un generador de referencia de frecuencia y tiempo. El receptor del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, *Global Positioning System*) es utilizado para asegurar precisión en la sincronización de señales.

CDMA proporciona de 6 a 10 veces más la capacidad analógica celular en la misma cantidad de espectro.

Lucent ha diseñado su tecnología para que pueda ser integrada fácilmente, por ejemplo con los sistemas AUTOPLEX de Lucent.

Algunas ventajas para los usuarios que utilizan esta tecnología son:

- \* Servicios opcionales que incluirán transmisión de datos, integración de voz y datos, y servicios de fax. La velocidad variable de código de señal, acepta alta velocidad de voz y ancho de banda por demanda para transmisión de datos.
- \* Ahorros por el uso de técnicas avanzadas para procesamiento de señales, además de "sleep mode" que extiende la vida de la batería de los teléfonos de mano.
- \* El vocoder de 13 kbits entrega calidad de voz comparable a una llamada a través de telefonía por alambre, debido a que la velocidad variable de transmisión del vocoder transmite la plática en la velocidad mínima que se requiere para una alta calidad de transmisión.

La Minicell es el elemento principal de Lucent para la construcción e inicio de una red CDMA, ya sea PCS o celular, o para la superposición con otra red celular existente.

La Minicell PCS CDMA optimiza el precio y la función de la banda ancha para voz y servicios de transmisión de datos, agregando una capacidad de 2 GHz, lo que permite que los operadores puedan desarrollar redes con gran rentabilidad en áreas de servicio grandes. Las Miniceldas son convenientes para entregar cobertura en localidades de tráfico elevado.

Mediante la Unidad de Prueba para Radio CDMA (CRTU), los operadores pueden realizar un seguimiento y comprobación continua de las redes.

Para ofrecer servicios CDMA, deben agregarse al MSC el conmutador para sistemas de comunicaciones distribuidas 5ESS-2000 y el ECP (*Procesador Complejo Celular Ejecutivo*).

El conmutador 5ESS-2000 DCS esta equipado con la Unidad de Conmutación de Paquete (PSU), un Administrador de Protocolo para Voz PHV para tecnología CDMA y un Administrador de Protocolo (PH) para frame relay.

La unidad de conmutación de paquete comprende dos paquetes de circuitos:

- \* Administrador de Protocolo para Voz (PHV), y
- \* Administrador de Protocolo (PH) para frame relay

La PSU administra el tráfico CDMA desde y hacia una Unidad Móvil CDMA a través de la célula.

El PHV contiene vocoders CDMA, y se utiliza para transmitir y recibir paquetes desde la Unidad Móvil CDMA hacia la célula. Hasta ocho llamadas simultáneas de CDMA pueden ser apoyadas por el PHV. El PH provee la interfaz entre los circuitos T1/E1 y la plataforma de conmutación de paquete para frame relay.

En los sistemas CDMA de Lucent, las tramas de voz provenientes de las unidades de teléfonos móviles son transmitidas entre las células y el MSC mediante un formato de paquete de voz que usa un protocolo frame relay.

La arquitectura de Lucent facilita Handoffs flexibles en el MSC, lo cual se traduce en una buena calidad de llamadas. La arquitectura también permite que la tecnología CDMA pueda coexistir con tecnologías de acceso de Datos de Paquete Celular (CDPD, *Cellular Digital Packet Data*) en un sistema AUTOPLEX 1000.

## SISTEMA IS-95

La norma EIA/TIA IS-95 tiene modulación CDMA, con este sistema varios usuarios comparten un canal de transmisión. La tasa de canal es de 9.6 kb/s. En el enlace de ida, el flujo de datos de usuario se codifica utilizando un código convolucional. Cada móvil de una célula tiene asignada una secuencia de amplitud diferente, por lo que se tiene una separación perfecta entre las señales de usuarios diferentes, al menos para una trayectoria de canal. Para reducir la interferencia entre los móviles que utilizan la misma secuencia de amplitud en células diferentes y para dar las características deseadas en el ancho de banda espectral, todas las señales de una célula son mezcladas. Debido a que las señales dentro de una célula son mezcladas idénticamente se guarda la ortogonalidad entre los usuarios. Para el cálculo de canal se tiene un canal piloto en el enlace de ida con detección coherente; el canal piloto es transmitido a una potencia mayor que el canal de usuario.

En los enlaces de regreso se utiliza una amplitud diferente debido a que cada señal recibida llega a la base por un canal de propagación diferente. Los datos de usuario son codificados mediante el código convolucional. Se tiene tolerancia a la interferencia. Para evitar los problemas de desvanecimientos que surgen debido a la distancia y a la pérdida de trayectoria en las diferentes señales de los enlaces de regreso, se tiene un control de potencia en la transmisión. La estación base y el móvil combinan las componentes multitrayectoria con lo que se logra reducir la amplitud. Esta arquitectura de recepción se utiliza para dar a la estación base diversidad durante un handoff suave, con lo que el móvil hace la transición entre células manteniendo el enlace con ambas estaciones base.

El sistema IS-95 CDMA ofrece beneficios que incluyen eliminación de la planeación en la asignación de frecuencias para las células, flexibilidad de acomodar tasas de transmisión diferentes, tasa variable en la codificación de voz, control de potencia, Corrección de Error Adelantada (FEC, *Forward Error Correction*) y disminución del margen de desvanecimiento, con lo que se contribuye a la disminución de los requerimientos de potencia de transmisión RF. El sistema IS-95 es modo dual.

Con los estudios de mercado realizados en Estados Unidos se observa que CDMA domina el mercado estadounidense. Las proveedoras de servicio como Qualcomm afirman que el sistema CDMA se encargará a empresas como: Sprint, GTE, Ameritech, AirTouch, Bell Atlantic, NINEX y US West. QUALCOMM fabrica una línea completa de equipo e infraestructura para CDMA, equipos de prueba, programas computarizados de planificación de redes y productos para los abonados, entre los que se encuentran teléfonos celulares portátiles y teléfonos PCS, productos para datos y teléfonos de enlace local inalámbrico de telefonía fija. Al reasignar tan sólo el 10% del espectro de AMPS a CDMA, la capacidad total del sistema se duplica; al tener más capacidad CDMA evita que las llamadas se bloqueen, es compatible con los nuevos servicios digitales como identificación de llamada, transmisión de datos y fax móvil. CDMA elimina la necesidad de cambiar de frecuencia entre las celdas, lo que provee un handoff suave que evita interrupciones en las llamadas. Los receptores integrados al sistema Qualcomm permiten reducir significativamente el efecto de trayectoria múltiple que es común en la cercanía de edificios altos y en áreas montañosas. La potencia de salida típica de un microteléfono CDMA es de apenas 2 mW, mucho menos que los 125 mW de potencia de salida promedio de

un microteléfono GSM. CDMA permite tener un consumo menor de baterías en los microteléfonos permitiendo disponer de mayor tiempo de conversación (hasta cinco horas) y tiempo en espera (hasta dos días). La interfaz aérea cumple con el estándar digital celular IS-95 y el estándar PCS. El sistema cumple también con los protocolos de interfaz de la Parte de Aplicaciones Móviles (MAP) IS-41, ofreciendo de este modo interoperabilidad con los sistemas de línea interna e inalámbricos en E. U. Los planificadores de redes disponen de flexibilidad para identificar sitios de células y cambiar cargas entre las células sin las restricciones de un plan de frecuencia. Esto reduce los costos de ingeniería no sólo durante la instalación inicial sino también, cuando es necesario reconfigurar la red para adaptarse a las condiciones del mercado.

Por otro lado GSM tiene el 51% del mercado estadounidense. Siete compañías con licencia para desarrollar GSM basada en las redes PCS en Estados Unidos han formado un grupo para desarrollar los servicios de comunicación inalámbrica en Norte América. Estas siete compañías son American Personal Communications, American Portable Telecom, Bell South Personal Communications, Interceel, Omnipoint, Pacific Bell Mobile Services, y Western Wireless Co.

Los proveedores de CDMA argumentan que la telefonía con tecnología GSM causa una interferencia elevada en un auricular auxiliar.

Actualmente, no se sabe cual será la tecnología que domine el mercado PCS y celular digital en Estados Unidos.

Pero pese a todas las ventajas de CDMA el número de proveedores GSM ha crecido en Norteamérica, ya que estos no están dispuestos a cambiar de equipo hasta que la viabilidad de CDMA llegue a ser más cierta.

Los servicios de telecomunicaciones en los países de América Latina y el Caribe son mucho más escasos que los que se encuentran en otros países del mundo, especialmente en los Estados Unidos. Sin embargo, el papel clave que las telecomunicaciones pueden jugar en la estimulación de las economías en crecimiento es reconocida ampliamente por los gobiernos.

En América Latina y el Caribe tres áreas en las que la tecnología inalámbrica tiene un papel clave son:

- \* Una creciente necesidad por servicios móviles convencionales, con una demanda muchas veces mayor de la que se encuentra en otras parte del mundo.
- \* Una necesidad de mejorar la densidad de las telecomunicaciones, es decir el acceso a telefonía básica, en la cual la tecnología inalámbrica tiene un rol importante.
- \* Una creciente demanda por transmisión de datos vía red inalámbrica, entre los que se incluyen acceso a bancos de datos, verificación de tarjetas de crédito, además de acceso a archivos y registros para agencias gubernamentales e instituciones académicas.

Cuando comenzó la telefonía inalámbrica, la tendencia de atracción del mercado fue de 4 a 5% de una población con alto poder adquisitivo, pero esto se ha elevado a un gran número de suscriptores en las áreas urbanas.

En Caracas, las limitaciones de frecuencias que tiene el actual servicio analógico, demandan considerar en un futuro la tecnología digital, en este caso en la forma de TDMA y CDMA. En algunos países, entre los que se encuentran Honduras, Costa Rica, Guatemala y Panamá, la densidad de la población es relativamente baja, y tienen a su disposición suficientes frecuencias, en cuyo caso los servicios analógicos AMPS parecen ser la mejor solución.

Las tecnologías inalámbricas se han convertido en un medio reconocido para llevar a cabo un desarrollo rápido de la telefonía.

\*A continuación se presenta una tabla de las licencias otorgadas en PCS, número de áreas de servicio, tecnología seleccionada, y vendedor del equipo para la infraestructura en E.U.

Compañía	Número de Áreas de Servicio (MTAs Major Trading Areas)	Tecnología Seleccionada	Vendedor del equipo para infraestructura
Sprint Telecommunications Venture	30	CDMA	-
AT&T Wireless PCS Inc.	21	IS-136, TDMA	AT&T, Ericsson
PCS PrimeCo L.P.	11	CDMA	AT&T, Motorola
Pacific Bell Mobile Services Inc.	2	PCS-1900 GSM	Ericsson
American Portable Telecommunications	8	PCS-1900 GSM	-
Compoint	1	IS-661 TDMA	Nortel
Cox Communications Inc.	2	CDMA	-
GTE Mobinet	4	CDMA	Motorola
Western Wireless Inc.	6	PCS-1900 GSM	Nortel
BellSouth Personal Communications	2	PCS-1900 GSM	Nortel
PowerTel PCS Partners L.P.	3	PCS-1900 GSM	-
America's Wireless Communications	2	-	-
American Personal Communications (afiliada a Sprint Telecommunications Venture)	1	PCS-1900 GSM	Ericsson, Nortel
Southwestern Bell Mobile Systems	3	IS-136 TDMA	-
Centennial Cellular Corp.	1	CDMA	AT&T
Puka Lambro Telephone Cooperative	2	-	-
GCI Communications	1	PACS	-
Communications International Corp.	1	-	-
South Seas Satellite Communications	1	-	-

Tabla 14 Tabla de las licencias otorgadas en PCS.

## CAPÍTULO III

### RADIOLOCALIZACIÓN (PAGING).

El paging, el cual se estableció en la escena de las comunicaciones antes que el celular, ha tenido una tasa de crecimiento relativamente lenta, especialmente en Europa, en donde el mercado permanece dividido debido a la ausencia de una norma.

El mercado conquistado por el pager cuenta con 93 millones de usuarios. El paging tiene una penetración en el mercado Asiático del 25%; en Norteamérica la penetración es de apenas el 12%, pero en Europa esta tecnología tiene únicamente el 1% del mercado (1996).

En Internet, en donde no se tienen mensajes de alerta e indicaciones en las aplicaciones E-mail, el paging puede ser la solución a estos problemas y tiene la ventaja de ofrecer un mercado.

El paging puede verse como un servicio cuyas características son peso ligero y costo bajo, y que permite la emisión de mensajes. En los Estados Unidos el éxito del paging y la subasta del paging bidireccional ha sido innegable.

Aparte del desarrollo por regiones, el paging es probablemente la única tecnología lo suficientemente barata como para soportar las comunicaciones a través de los servicios de "telefonía virtual".

Sin embargo, el paging ha sufrido un abandono a manos de los operadores del Estado. Las redes de paging más grandes establecidas han sido pagadas por sí mismas, pero gracias al desarrollo del mercado se ha visto una explosión de la tecnología celular.

Un canal de paging puede soportar 100,000 usuarios basados en POSCAG (*Post Office Code Standardization Advisory Group*), pero con Flex (protocolo promovido por Motorola) o ERMES (*European Radio Messaging System*), el número se incrementa a 500,000 usuarios por canal. Esto debe compararse con la incapacidad que tienen los servicios de telefonía celular para soportar un décimo de este número por canal, y hace que el paging cobre gran interés.

La industria del paging está todavía dominada por un número pequeño de jugadores globales. El fabricante dominante Motorola, busca establecer el plan para la generación siguiente de paging, con el protocolo de alta velocidad Flex.

Flex se diseñó como un protocolo de alta velocidad y de una dirección, pero cuando la compañía vio la necesidad de mensajes bidireccionales surgió ReFlex.

Motorola sostiene que los operadores existentes basados en POSCAG pueden evolucionar gradualmente hacia la infraestructura Flex, empezando con una velocidad alta simple, y protocolo de dirección Flex hasta llegar a ReFlex, esto mediante el pager Motorola Tango de comunicaciones bidireccionales y llegar finalmente a InFlexion paging de voz.

Motorola está concentrado en la licencia de los protocolos de la familia Flex, para establecerlo como el competidor de la generación siguiente de normas de protocolo paging.

Esta estrategia de licencias abre algunas puertas interesantes para Motorola, entre ellas alianzas con los competidores. Se observa también el principio de la estandarización y costos bajos.

En el año de 1995 se vendieron más de un millón de pagers basados en Flex en todo el mundo. En el mercado Chino, nueve provincias utilizan actualmente Flex, este estándar llegó a tener un crecimiento rápido; actualmente se están concentrando en proporcionar un pager de alta velocidad y costo bajo.

## PAGING DE VOZ.

En una encuesta realizada se observó que el 40% de la gente que no utilizó el servicio de paging quiere utilizar un dispositivo en base a voz, mientras que el 20% de los usuarios existentes sienten que no necesitan estas facilidades. Esto indica que mientras los no usuarios son todavía cautelosos en la tecnología del paging estándar, existe también un mercado de clientes que quieren utilizar el paging de voz, debido a que están familiarizados con las máquinas contestadoras y sus beneficios. Motorola con el protocolo InFlexion está muy activo en la pelea por conseguir nuevos usuarios.

Motorola ha integrado tecnología inalámbrica avanzada con tecnología paging bidireccional de Sky Tel que dará a los E. U. la primer llamada de admisión. Operando en 6400 bauds, el pager proporciona rapidez y tiene capacidades de corrección de error superiores.

## MENSAJES AVANZADOS.

El "paging interactivo" paging bidireccional permite transmitir mensajes en dos direcciones y ofrecer características adicionales.

El rastreo permite al transmisor rastrear mediante un código numérico de donde se envía el mensaje y cuando se ha sido recibido; permitiendo al usuario saber cuando la llamada se pierde y almacenar el mensaje en una red "mail-box" para un arreglo remoto, estos servicios están actualmente disponibles a través del paging interactivo.

## PAGING CONTRA SMS.

Durante 1995, el teléfono GSM llegó a tener un costo bajo, algunos operadores de celulares expansionistas vieron a las bases de usuarios paging como blanco natural para GSM de SMS.

SMS es adecuado para transmitir mensajes alfanuméricos cortos a usuarios remotos, y se han atraído aplicaciones de software de terceras partes al mercado. Pero con una observación metódica, se ve que las tecnologías son diferentes en funcionalidad y servicio.

SMS presenta a los usuarios GSM la noción de recepción de mensajes cortos de una dirección, la vida de la batería se mide en horas, la calidad de la llamada y la cobertura son cuestionables y los mensajes SMS no pueden observarse discretamente. Sin embargo, el paging tiene grandes ventajas en estas áreas.

Aunque los protocolos nuevos de paging, de alta velocidad son más complejos y costosos, son mucho más simples que GSM. El paging tiene un costo de un décimo del costo de celular, y utiliza eficientemente el espectro de frecuencia.

## COMPARACIÓN DE ESTANDARES.

Las autoridades europeas han decretado que ERMES es el único protocolo de paging para el que garantizarán frecuencias nuevas. La tecnología ERMES utiliza técnicas sofisticadas de ahorro de baterías, el error de detección es mejor que en otros protocolos de velocidad alta y cuenta con una frecuencia ágil, permitiendo que el roaming internacional este libre de problemas. El roaming es la clave de diseño de ERMES.

El protocolo Flex de Motorola no soporta roaming, aunque esto es técnicamente posible, menos del 5% de las llamadas GSM son hechas a través de los límites internacionales.

Como ejemplo de un sistema modular para paging de área ancha, que se ha puesto en el mercado por Ericsson se encuentra el Sistema T. Este sistema se basa en la extensión que puede realizarse en los productos que operan en el mercado; lo que hace posible que el sistema esté enfocado en programas de aplicación. La mayor parte de la plataforma del sistema consiste en software y hardware, utilizando el lenguaje de programación C++.

El Sistema T soporta la mayoría de los estandares en paging, ERMES, POSCAG, RDS (*Radio Data System*), y FLEX. El estandar ERMES es el más moderno; además, para unir a la conexión de tráfico internacional ofrece un gran número de servicios y una tasa grande de transferencia de datos comparada con otros estandares.

El Sistema T esta formado por tres componentes principales:

- \* Conmutador de paging de radio (RPS, *Radio Paging Switch*)
- \* Distribución de la red (DN, *Distribution Network*)
- \* Estación base (BS; *Base Station*)

donde el RPS es el corazón del sistema.

Este sistema viene en dos modelos diferentes, los dos modelos difieren únicamente en el RPS:

- \* el modelo T10 es el más pequeño, diseñado para sistemas pequeños de más de 50,000 usuarios y un máximo de 80 estaciones base en el caso de una distribución satelital
- \* el modelo T20 esta diseñado para al menos un millón de usuarios y 1,000 estaciones base

**CONMUTADOR DE PAGING DE RADIO (RPS).**

El RPS recibe mensajes desde redes de accesos diferentes, analiza cuales servicios son entregados, y solicita la distribución de red para transferir el mensaje hacia el BS, en las áreas de paging donde se transmitirán.

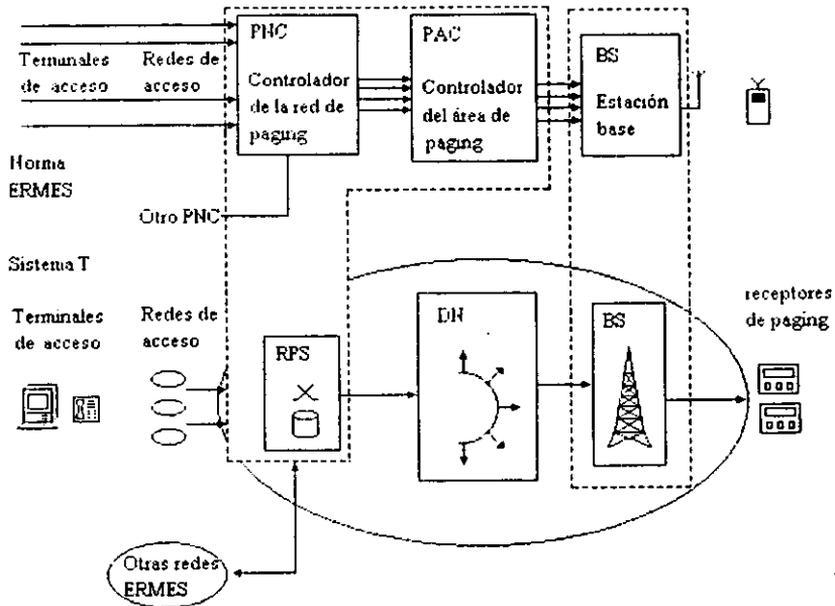


Fig. 39 Arquitectura del Sistema T

**Arquitectura del Hardware T20**

El modelo T20 esta formado por:

- \* Gabinete servidor de bases de datos (DBC, *Database Server Cabinet*).- El DBC esta formado por una computadora con un disco de almacenamiento con tolerancia a fallas y unidades de cinta; maneja las bases de datos relacionales las cuales contienen los datos del usuario.

- \* Gabinete de comunicación (CC, *Communication Cabinet*).- El CC acomoda una computadora industrial con la interface EISA (*Extended Industry Standard Architecture*), máquinas de avisos y modems. Además, puede equiparse con una unidad de batería, suministro de potencia ininterrumpible (UPS, *Uninterruptible Power Supply*), un receptor GPS y un tablero para alarmas externas.  
La computadora esta equipada con un disco de almacenamiento y cintas de audio digitales (DAT, *Digital Audio Tapes*)
- \* Gabinete de operación y mantenimiento (OC, *Operation and maintenance Cabinet*).- El OC abarca la computadora de operación y mantenimiento, en donde se almacenan los datos y estadísticas, durante la transferencia hacia el centro de la red.
- \* LAN/WAN y equipo terminal.- La red interna esta formada por una LAN Ethernet que puede expandirse a una WAN. La red esta dividida en un tráfico LAN y un O&M LAN, separados por routers.

### Arquitectura del Hardware T10

El RPS esta constituido por un servidor de bases de datos combinado y el CC. El CC acomoda una computadora industrial con la interface EISA, máquinas de avisos y modems. Además, puede equiparse con una unidad de batería, potencia ininterrumpible, un receptor GPS y un tablero para alarmas externas.

La computadora esta equipada con un disco de almacenamiento para las bases de datos y DAT's.

### Servicios

El Sistema T ofrece cuatro servicios básicos y una gran cantidad de servicios suplementarios. La mayoría de estos servicios están disponibles en la conexión con otros protocolos.

Los cuatro servicios básicos son:

- \* tono de paging únicamente.
- \* paging numérico,
- \* paging alfanumérico, y
- \* transparencia en los datos de paging

Los servicios suplementario ofrecidos son los siguientes:

- \* roaming,
- \* desviación de tráfico,
- \* elección de destino,
- \* repetición,
- \* almacenamiento y recuperación de mensajes,
- \* servicios de información,

- \* grupos de llamadas hacia un usuario móvil utilizando un código de identidad de radio individual (RIC, *Radio Identity Code*),
- \* grupos de llamadas hacia un usuario móvil utilizando un RIC común,
- \* multi-direccionamiento de llamadas hacia usuarios móviles,
- \* indicación de llamadas de grupo,
- \* restricción de llamadas,
- \* indicación de mensajes urgentes,
- \* entregas postpuestas,
- \* textos estandar definidos por el operador de la red,
- \* textos estandar definidos por el usuario móvil o fijo,
- \* indicaciones en otros lenguajes, y
- \* autenticación por el uso de un password

### Operación y Mantenimiento

La comunicación hombre-máquina es controlada desde las terminales conectadas al sistema, y desde el centro de la red.

El operador puede tomar todas las acciones necesarias en una operación normal; por ejemplo, administración de los usuarios y servicios de usuarios, áreas de paging y áreas geográficas, definición de estaciones base nuevas, ordenamiento de estadísticas, etc.

El Sistema T tiene un gran número de funciones que le permiten una detección confiable y rápida, diagnóstico y aislamiento de fallas:

- \* supervisión host,
- \* supervisión de red RPS,
- \* supervisión de disturbios,
- \* supervisión de ocupación,
- \* supervisión del medio ambiente,
- \* supervisión DN, y
- \* supervisión BS

La supervisión de ocupación detecta rápidamente sobrecargas en los enlaces; la supervisión del medio ambiente hace posible conectar alarmas externas, por ejemplo, alarmas de incendios o de temperatura. Las funciones de operación y mantenimiento también incluyen funciones de reinicio.

Una alarma será resultado de que una falla ocurra, el sistema puede dar alarmas acústicas y alarmas impresas. Existe una gran variedad de alarmas dependiendo de la seriedad de la falla.

Las alarmas activas son almacenadas en un lista, mientras que las alarmas históricas (las alarmas que han cesado por que la falla ha sido corregida) son almacenadas en una alarma por cierto tiempo. La razón de estos arreglos es hacer posible un estudio de las causas de estas fallas.

### Comunicación con el Centro de la Red.

Cualquier acción necesaria en una operación normal puede ser inicializada desde el centro de la red. El sistema soporta protocolos diferentes para la comunicación con este centro como RCIP (*Remote Control Information Protocol*), TMOS (*Telecommunications Management and Operations Support*), FTP (*File Transfer Protocol*) y FTAM (*File Transfer, Access and Management*). El RCIP es un grupo de protocolos interiores para la comunicación con el centro de la red. Este incluye el protocolo de manejo de usuarios (SHF, *Subscriber Handling Protocol*) para la administración de los usuarios, protocolo de manejo de alarmas (AHP, *Alarm Handling Protocol*) para la transferencia de alarmas hacia el centro de la red del operador, y protocolo de boletos de cobro (TTP, *Toll Ticketing Protocol*) para la transferencia de cargos de datos.

### DISTRIBUCIÓN DE LA RED (DN)

La función DN es enlazar al RPS y BS juntos. El sistema puede ser adaptado para el DN proporcionado por el operador.

### Distribución Satelital

La distribución satelital es una distribución de redes punto-multipunto con una buena relación costo-efectividad. La cantidad de hardware involucrado es menor que en una red terrestre, lo cual reduce el costo de mantenimiento. La confiabilidad del sistema es muy elevada. La información de Operación y Mantenimiento de las BS's es transferido a un canal atrasado "backward channel", en PSTN o en el enlace satelital bidireccional. En la fig. 40 se muestra un subsistema para la distribución satelital.

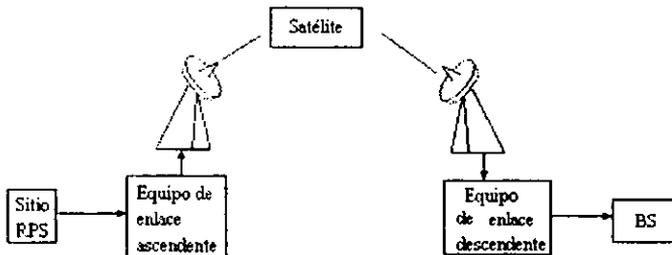


Fig. 40 Distribución satelital (sistema desarrollado por Ericsson)

### Equipo del Lado de Envío (Send Side)

El lado de envío está equipado con equipo de monitoreo y control, localizado en la RPS, y equipo de enlace ascendente localizado en la estación satelital. La función del equipo es multiplexar un número de canales de paging dentro de una señal en la banda de los GHz y transmitirla hacia el satélite.

### Equipo de Control y Monitoreo

El equipo de control y monitoreo (fig. 41) recibe el flujo de datos de uno de los dos CC's. El flujo de datos del canal es multiplexado a 64 ó 128 kbit/s y enviado al equipo del enlace ascendente.

Las unidades incluidas son:

- \* Unidad de control de red (NCU, *Network Control Unit*), la cual es la parte central, ejecuta el multiplexaje, el NCU incluye un controlador.
- \* Receptor de coordinación universal de tiempo (UTC, *Universal Time Coordinated*). Esta unidad recibe el tiempo estandar UTC del GPS.
- \* Receptor de monitor de red, el cual recibe información sobre el estado y alarmas de la estación satelital.
- \* Consola de control de red (NCC, *Network Control Console*). Esta es una PC desde la cual el equipo satelital puede controlarse. El NCC recibe alarmas e información sobre el estado, las cuales son entonces enviadas al RPS.

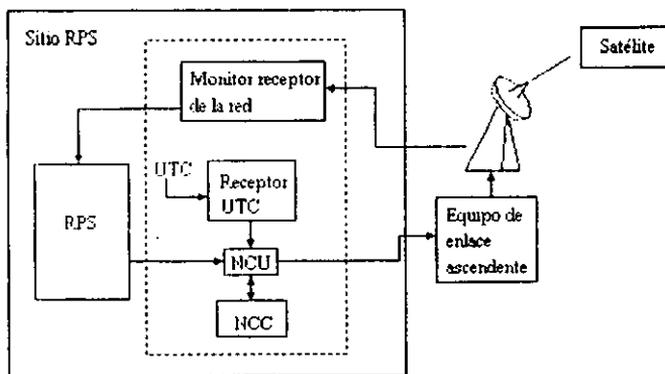


Fig. 41. Equipo de control y monitoreo en la distribución satelital

### Equipo de Enlace Ascendente

El equipo de enlace ascendente (fig. 42) está co-localizado con la estación satelital. El equipo convierte el flujo de datos del equipo de control y monitoreo en una señal que es transmitida al satélite.

Las unidades incluidas son:

- \* controlador hub de enlace ascendente (UHC. *Uplink Hub Controller*), el cual controla el equipo del enlace ascendente; en algunas situaciones controla las unidades con respaldo, decidiendo cual de ellas debe activarse. El UHC en turno es controlado por el NCC
- \* un modulador para la señal de 64/128 kbit/s en una portadora DPSK (*Differential Phase Shift Keying*) de 70 MHz. regula la frecuencia y el nivel de la señal
- \* UPCON/HPA (*UP-CONverter/High Power Amplifier*), convierte la señal de 70 MHz a una señal de 14 GHz y la amplifica
- \* antena del satélite. es un disco con un diámetro de 2.4 m. que además de transmitir recibe información desde el satélite sobre el estado del sistema.

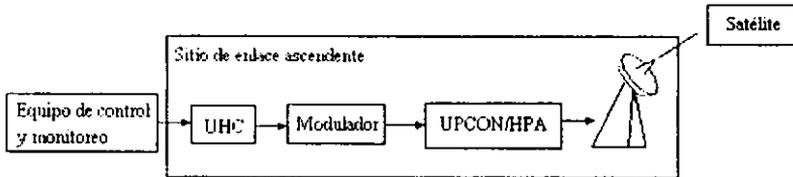


Fig. 42. Equipo de enlace ascendente.

### Equipo del Enlace Descendente

El equipo de enlace descendente (fig. 43) está localizado en cada estación base. Este incluye:

- \* antena del satélite. es un disco con un diámetro de 90 cm
- \* un convertidor descendente LNB (*Low-Noise Block*), el cual se localiza sobre el disco, su función es convertir la señal a una frecuencia baja y transmitirla al receptor
- \* receptor. este reconvierte la señal de 64 kbit/s multiplexada, dándole las características que tenía cuando fue transmitida por el NCU
- \* demultiplexor. extrae los datos y comandos de control del flujo de datos

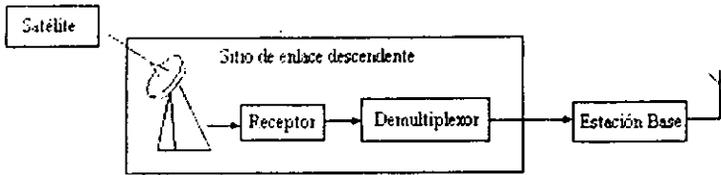


Fig. 43 Equipo de enlace descendente.

### ESTACIÓN BASE (BS).

La BS en el Sistema T esta formada por dos bloques funcionales (fig. 44):

- \* Controlador de la estación base (BSC, *Base Station Controller*).- El BSC recibe mensajes del DN, prepara el mensaje para ser enviado, espera el momento preciso y envía el mensaje hacia la BST (*Base Station Transmitter*)
- \* Transmisor de la estación base.- El BST modula la señal digital, la amplifica y la envía hacia la antena

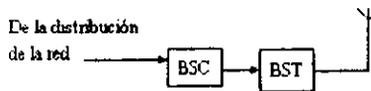


Fig. 44 Estación base con sus bloques funcionales

### Controlador de la Estación Base (BSC).

El BSC esta formado por (fig. 45):

- \* Unidad de control.- La unidad de control es la parte central del BSC. Después de recibir un mensaje, almacena el mensaje y espera el momento preciso, enviándolo hacia la unidad de canal. En la unidad de canal además, se colecta información sobre el estado y alarmas para enviarlas al RPS.
- \* Unidad de comunicación.- La unidad de comunicación maneja la comunicación con el RPS, mediante el canal de datos y el canal atrasado, donde los datos O&M son transferidos. Para asegurar una buena recepción, la BS debe trabajar en modo "simulcast", lo que significa que debe estar sincronizado.

- \* **Unidad de sincronía.**- Las unidades de sincronización generan pulsos de sincronización muy precisos. Para una precisión elevada, se utiliza una fuente externa durante el tiempo de información. Esta fuente puede ser un receptor GPS en la estación base o el receptor UTC en el equipo de distribución satelital. En este caso, el tiempo esta distribuido junto con los datos de paging. Debido a que la sincronización es robusta se evita la interrupción frecuente para la sincronización de la red.
- \* **Unidad de canal.**- Las unidades de canal almacenan los mensajes recibidos y los envían al BST en el momento preciso en el que la unidad de control lo solicita.

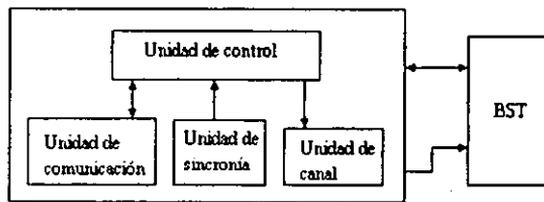


Fig. 45 Diagrama a bloques del BSC

### Transmisor de la Estación Base

El Sistema T ofrece estaciones base con maneras diferentes de transmitir y con una unidad stand-alone BSC; y estaciones base con un transmisor COMPACT 9000.

### Transmisor de la Estación Base COMPACT 9000

Este transmisor esta formado por (fig. 46):

- \* **Unidad de monitor y teclado.**- La unidad de monitor y teclado es utilizada para el control local de los transmisores. La información sobre el estado y otros parámetros pueden leerse en el monitor. Además, se indica el voltaje en presencia de alarmas. El teclado puede utilizarse para direccionamiento de ingresos, números telefónicos para el canal atrasado, retardos, etc.
- \* **Unidad de control de radio.**- La unidad de control de radio monitorea y controla el transmisor. El control y monitoreo son manejados desde la unidad de monitor y teclado, o desde la BSC. La información de sincronización y datos de paging son enviados mediante la unidad de control de radio al excitador.
- \* **Excitador.**- El excitador convierte la señal digital del BSC a una señal de radio modulada. En transmisiones de alta velocidad se utiliza el formato 4-PAM-FM (four level pulse amplitude modulation, frequency modulation), basado en FSK de cuatro niveles (frequency shift keying). En el caso de POSCAG el formato es FSK de dos niveles.

- \* **Amplificador de potencia.**- El amplificador de potencia recibe la señal del excitador y la amplifica a una señal que puede variar en el rango de 20-200 W; esta es entonces enviada a la conexión de la antena.

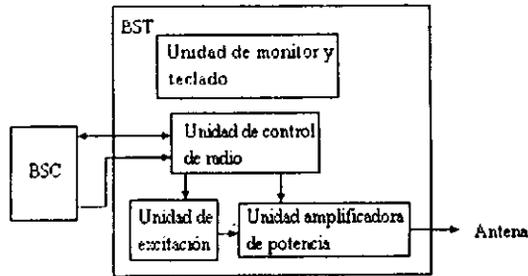


Fig. 46. Diagrama a bloques del COMPACT 9000

El COMPACT 9000 cubre el rango de 138-174 MHz (la banda de frecuencia de ERMES es 169,425 - 169,8 MHz). Se puede conectar un transmisor de respaldo, por razones de redundancia.

## CAPÍTULO IV

## TECNOLOGÍAS DE LOS SATÉLITES MÓVILES.

Los satélites son la única tecnología de telecomunicaciones disponible actualmente capaz de suministrar cobertura inalámbrica en la tierra. Los satélites llevan la última tecnología a bordo, proveen capacidades de voz, datos, fax y paging en todo el mundo, lo que lleva a la industria de los satélites móviles al nivel siguiente.

Los satélites que abarcan la industria satelital móvil cae dentro de varias categorías distintivas: GEOs (*Geosynchronous-Earth-Orbit satellites*), satélites de órbita geosíncrona; MEOs (*Medium-Earth-Orbit satellites*), satélites de órbita media; ICOs (*Intermediate-Circular-Orbit satellites*), satélites de órbita circular intermedia; y LEOs (*Low-Earth-Orbit satellites*), satélites de órbita baja.

## SPOTBEAMS (HACES) MÚLTIPLES.

Los satélites GEOs tienen huellas que cubren áreas grandes de tierra y/o agua, ya que estos satélites rotan en el mismo lugar alrededor de la tierra ya que parece que estuvieran fijos en el cielo. Los usuarios demandan terminales pequeñas alrededor de la tierra, incluyendo la generación siguiente de equipos de usuario portátiles, por lo que los satélites llegan a ser cada vez más poderosos.

De manera comparativa las terminales pequeñas necesitan una potencia grande, una manera de solucionarlo es teniendo más spotbeams (haces de señal), mediante esto se permite que más potencia sea enfocada en áreas pequeñas.

La última generación de satélites Inmarsat utiliza tecnología spotbeam. Cada satélite en la constelación de cinco-satélites utiliza un máximo de siete spotbeams y un beam global, el número de spotbeams seleccionados se basa en la demanda de tráfico.

Mientras la tecnología spotbeam provee más potencia a las terminales terrestres también se crean retos nuevos. Uno de los mayores es coordinar el tráfico entre beams. Por ejemplo si se tiene un usuario en el enlace de subida número 7 que desea hablar con el enlace descendente número 3; de alguna forma se tiene que conmutar el beam del enlace descendente. Es decir se tienen usuarios múltiples que desean hablar a diferentes localizaciones. Por lo tanto los satélites están equipados con electrónica compleja para ejecutar la conmutación a bordo. Está electrónica o procesadores IF pueden fabricarse en compañías como Com Dev en E. U.

Un procesador IF es una pieza de equipo que opera a Frecuencias Intermedias de aproximadamente 100 MHz a 1 GHz. El propósito de un procesador IF es conectar la información que esta contenida en los beams del enlace ascendente a los beams del enlace descendente requeridos de manera flexible y eficiente. Un procesador IF cambia el tráfico del enlace descendente dentro de segmentos pequeños de ancho de banda.

Después, se utiliza una matriz de conmutación IF para conectar cualquier canal de enlace de subida a cualquier beam de enlace descendente. El proceso IF es importante ya que dentro de él, se puede dividir una señal del enlace ascendente dentro de varios subcanales con una banda de guarda de espectro mínima.

Por ejemplo, la compañía Lockheed Martin Telecommunications en E. U., está construyendo dos sistemas móviles regionales que emplean spotbeams. El sistema ACeS (*Asia Cellular Satellites*) es un sistema regional que cubre Indonesia, el Sureste de Asia, Filipinas, India, China y Japón. Estos satélites en construcción se llamarían Garuda 1 y 2. El sistema Satphone provee servicio al Este Medio, África del Norte, Mediterráneo, India y partes de Europa. Este sistema utiliza más de tres satélites en órbita para servir a la región. Los sistemas ACeS y Satphone utilizarán satélites y sistemas de arquitectura terrestre similares.

Los satélites transmitirán y recibirán de manera directa 140 beams. Cada spotbeam forma una célula en la tierra. Los spotbeams de las células tienen entre 300 y 750 millas de diámetro. Los spotbeams son la clave para los satélites y tecnología abordo. Estos permiten un factor de reutilización de frecuencia, de manera que los satélites utilizan el espectro de la banda L eficientemente.

La distribución de potencia de los satélites sobre el área de cobertura puede cambiarse para dar una capacidad mayor en porciones del área de cobertura donde el tráfico sea alto.

Los sistemas regionales de Lockheed Martin Telecommunications son capaces de dar 20,000 circuitos de voz, de los cuales más de 6,000 están disponibles para un salto de conexión móvil-móvil. El sistema puede localizar el ancho de banda en cualquier lugar dentro de los 34 MHz del espectro de la banda L, utilizables en un canal, en incrementos de 200 kHz.

Los satélites usan canales digitales "canalizadores" (channelizers) para conmutar el tráfico entre beams. Los canales digitales hacen el filtraje, enrutamiento y conmutación de las portadoras banda base en el satélite, de manera que los canales de banda angosta pueden conmutarse eficientemente entre los beams. Los satélites tienen 896 canales de transpondedores y están diseñados específicamente para telefonía móvil. Los satélites comunican directamente a los equipos de usuario móviles.

Los satélites utilizan dos reflectores desplegables de 12 metros. Un reflector es utilizado para recibir y el otro para transmitir. El tamaño tan grande utilizado para los reflectores permite la comunicación a los teléfonos portátiles. Los servicios de los satélites móviles GEOs dan a las personas la oportunidad de poner la infraestructura que quieren en otras partes del mundo. Estas personas buscan establecer el equipo de usuario en donde las torres celulares no son factibles. Esto requiere de antenas muy grandes.

Cuando se trata de equipos de usuario pequeños con una potencia pequeña se necesitan antenas que puedan dar la ganancia que se requiere.

Otro elemento clave del diseño de los satélites es la nave espacial. Por ejemplo, el sistema A2100 AXX provee a los equipos de usuario móviles un margen de enlace de 10 dB, relativo al peor caso en la fuerza de la señal en trayectorias claras "clearpath". Se agrega un PIRE de 73 dBW a través del área de cobertura en los cálculos del enlace.

## PRODUCCIÓN

La complejidad en la fabricación de los sistemas satelitales LEO y MEO depende de la economía que se tenga para la constelación de naves.

Por ejemplo, Motorola construye el sistema Iridium, este sistema consiste de 66 satélites LEO. Cada satélite pesa 1500 lbs y viajaría a 17,000 Mph. El periodo de tiempo en la fabricación de

cada satélite se ha reducido de tres años a tres semanas. Motorola ha establecido una línea de ensamblaje. El satélite se fija sobre ruedas y es movido de estación a estación como se hace en el modo de fabricación en masa. Esto permite un ciclo de tiempo corto con pasos de operación mínimos y accesibilidad a los fabricantes alrededor del satélite. De manera simultánea se construyen y prueban más de tres satélites. La meta es construir en una semana un satélite. En la compañía Raytheon en Boston se construirán las principales antenas de comunicación de los satélites Iridium. Estas antenas se comunicaran directamente a las terminales de usuario portátiles.

### SISTEMA GLOBALSTAR.

Los servicios de comunicación móvil darán el servicio mediante una constelación de 48 satélites LEO. Esta constelación ofrecerá el servicio de telefonía inalámbrica en virtualmente cada área poblada del mundo donde Globalstar este autorizado.

Globalstar empezara la operación de satélites en la segunda mitad de 1997 y comenzará sus operaciones mediante una constelación de 32 satélites en 1998, los satélites restantes estarán listos en 1999.

Los tres ejes, cuerpo estabilizador de los satélites LEO pesarán 450 kg cada uno, y tendrán una potencia total del transpondedor de 1,000 W. Los satélites en la primer generación de constelaciones están diseñados para operar con funcionamiento óptimo un mínimo de 7.5 años.

Los transpondedores de comunicación satelital Globalstar transmitirán señales en las bandas C y S, y recibirán señales en las bandas C y L.

### LEOs VS MEOs.

Los sistemas GEOs, LEOs y MEOs están comprometidos en el desarrollo de las comunicaciones móviles satelitales. Estas son básicamente las ventajas y desventajas de cada uno. Los sistemas GEO dan una única ventaja sobre sus contrapartes LEO y MEO ya que no requieren ser rastreados.

En un sistema GEO se pueden colocar más circuitos sobre una región en particular que en los sistemas LEO y MEO. Para una región dada, se servirá a más del 30% de la región, donde Iridium puede servir únicamente al 10%, y Globalstar al 15%.

Los sistemas GEO dan comunicación móvil regional y contrariamente a los sistemas de comunicación global no deben vencer tantas barreras políticas como los sistemas LEO y MEO.

El sistema GEO sufre un tiempo de retardo que es relativamente grande en comparación con los sistemas LEO y MEO. Los sistemas GEO sufren un retardo de aproximadamente 1/4 de segundo.

Los servicios de comunicación móvil representan uno de los sectores de más rápido crecimiento del mercado de satélites.

A continuación se presenta una lista de compañías que fabrican o dan equipo satelital móvil de tierra:

Advent Communications Ltd., Anacom, Andrew Corp., Ashtech Inc., Avcom of Virginia Inc., BAF Communications, Ball Aerospace & Technologies Corp., BPI Communications Ltd., Calian Communications Systems Ltd., California Microwave Satellites Transmission Systems, Cattervell & Associates, Coded Communications, Commercial Satellite Systems Inc., CPI Inc., Comsat RSI, Comtech Antenna Systems Inc., Data Telemark, DNE Technologies Inc., Garmin International, Glocom Inc., Hagenuk Communications USA, Harris Corp., IASUS, ICG Satellite Services, Kaman Sciences Corp., Landsea Systems Inc., Learnsat Systems Inc., LNR Communications Inc., Logus Microwave Corp., Antenna & Cable Division, Magnavox Electronics Systems Co., Magnetech Corp., Maxtech Inc., Mobile Telesystems Inc., Multipoint Communications Ltd., NEC America, O'Gara Satellite Networks, Optomic Microwave Ltd., PVS International Media Center, Radnyne Corp., Raytheon Aircraft Montek Co., Rockwell International, SatCom Media Corp., SDS International Inc., Seavey Engineering Associates Inc., Signal Processor Ltd., S.P. Radio A/S., SSPA Microwave Corp., Starbird Satellite Services, Stellar Communications Inc., STM Wireless Inc., TIW Systems Inc., Turnkey Communications, Unisource Satellite Services, United Services Source Inc., Vertex Communications Corp., Wolf Coach Inc.

## SOCIEDAD MÓVIL.

El funcionamiento de los satélites móviles ha incrementado significativamente su rol en los edificios de infraestructura inalámbrica que trabajan junto con opciones de línea. Los satélites llenarán los huecos donde las redes terrestres operan pobremente o donde no existen y donde las personas necesitan acceso al resto del mundo.

Las redes de telecomunicación móvil pueden mejorar la productividad y eficiencia en los negocios. Cuando el roaming celular a través de una nación llegue a ser posible, una variedad de diferentes normas de operación limitarán el prospecto de utilizar el mismo transreceptor cuando se viaje al extranjero.

E. U. ha ganado billones de dólares por la subasta del espectro para redes PCS, que expanden la capacidad y disponibilidad de las opciones de radio móvil terrestre mediante la disminución del tamaño de las células de transmisión de varios miles, como en el caso de radio celular a varios cientos de yardas.

Los operadores de servicios satelitales móviles pueden dominar de manera exitosa el mercado de servicios móviles terrestres dando servicio a los transreceptores modo dual que transfieren la opción al satélite cuando los servicios terrestres no están disponibles.

A pesar del relativamente pequeño número de usuarios requeridos, la aventura satelital móvil presenta riesgos substanciales debido al costo (aproximadamente \$9 billones de dólares para Teledesic y \$3.4 billones de dólares para Iridium) y al uso de tecnologías nuevas. La constelación de satélites Iridium se comunicará no solamente con las estaciones terrestres, sino también entre satélites.

## ACRONIMOS DE ÓRBITAS NUEVAS.

Principalmente los mercados de telecomunicación móvil favorecen el uso de satélites que operan en LEO, MEO e ICO. De estas localizaciones los satélites pueden concentrar la señal y evitar retardos en la transmisión y ecos, utilizando opciones geoestacionarias. Los usuarios pueden acceder LEO mediante equipos de usuario, terminales de potencia baja que rápidamente se aproximan al tamaño de los teléfonos radio celulares. Sin embargo, la fuerza conseguida por la señal por su proximidad a la tierra reduce el alcance de la cobertura geográfica y requiere un gran número de satélites para operar en una constelación global.

En menos de cinco años los avances en los sistemas satelitales, tecnología inalámbrica y miniaturización pondrán a los sistemas de telefonía celular en el cielo, abriendo un mercado nuevo de comunicaciones realizando las llamadas satelitales entre dos lugares de la tierra de manera más fácil.

Los analistas ven a los teléfonos de bolsillo satelitales como la gran frontera de las comunicaciones móviles de la generación siguiente, con el crecimiento que rivaliza con la industria celular. Se predice que el mercado de telefonía satelital global alcanzará los \$12 billones de dólares en reutas anuales en el año 2004.

Este mercado potencial es una de las razones por las cuales las compañías de tecnología más sofisticadas y grandes del mundo se apresuran con los sistemas de telefonía basados en los satélites.

La generación siguiente de sistemas de comunicación satelital personal colocara satélites en órbitas cercanas a la tierra para dar servicios de telefonía móvil de equipos de usuario.

Por ejemplo, los sistemas Iridium y Globalstar planean orbitar sus satélites en las órbitas LEOs a alturas de 780 km y 1390 km. respectivamente.

Odyssey e ICO planean utilizar órbitas MEOs, a alturas de alrededor de los 10,350 km.

Para dar la cobertura global total, los sistemas LEO requieren de cantidades diferentes de satélites. Globalstar utilizara 48 satélites, Iridium planea utilizar 66 satélites. Además, los sistemas LEO necesitaran cruces complejos de enlaces satelitales, como los utilizados en el sistema Iridium, o un número grande de estaciones terrestres, con Globalstar se planean utilizar de 100 a 200 sitios. Los satélites LEO deben remplazarse más a menudo que los satélites MEO y GEO (la vida del diseño Globalstar es de cinco años, contra quince años de los satélites MEO de Odyssey), además de que los sistemas LEO son más costosos que los sistemas MEO y GEO.

Las llamadas de teléfonos individuales deben conmutarse más frecuentemente de un satélite a otro, ya que los satélites LEO permanecen a la vista de un usuario únicamente un periodo de tiempo muy corto.

Para dar la cobertura global total, los sistemas GEO requieren únicamente tres satélites y un número pequeño de estaciones terrestres. Sin embargo, los sistemas GEO deberán ser más grandes y complejos que los sistemas LEO o MEO para soportar las antenas tan grandes que se requieren para comunicarse con los equipos de usuario desde la órbita geoestacionaria de la tierra. Los sistemas GEO planeados para datos ofrecerán servicio únicamente a regiones del mundo y no soportaran el roaming global.

La distancia de los satélites GEO de la tierra significa que los usuarios de teléfonos deben tolerar retardos de tiempo que degradan el servicio, un problema que no ocurre con los sistemas LEO y MEO.

El uso de MEO para sistemas de telefonía satelital móvil da varias ventajas en cuanto a costo y confiabilidad. Un sistema MEO puede cubrir cada área habitada de la tierra con un número pequeño de satélites y estaciones terrestres. Por ejemplo Odyssey utiliza una constelación de 12 satélites y 7 estaciones terrestres. El número tan pequeño de satélites, estaciones terrestres y la puesta en operación son las razones por las cuales Odyssey será capaz de ofrecer servicio por menos de \$1 dólar el minuto, comparado con la proyección de Iridium para servir a \$3 dólares el minuto. (Los sistemas MEO e ICO Global estiman cargos de \$2 dólares el minuto). Ya que los satélites Odyssey serán más simples y menos costosos que los satélites GEO, el costo de cada circuito de telefonía que dará el sistema Odyssey será aproximadamente la mitad del costo del circuito del sistema GEO.

Las órbitas de los sistemas MEO son lo suficientemente grandes para reducir de manera substancial los problemas de sombras de los sistemas LEO, además reducirán la necesidad de conmutación de llamadas de un satélite a otro. El tamaño de los satélites MEO dependerá en parte a que las órbitas de la tierra sean muy lentas, así que no experimentarán tantos daños de las transiciones del calor del sol al frío provocado por la sombra de la tierra. Al mismo tiempo la órbita de los sistemas MEO estará lo suficientemente cerca de la tierra para evitar retardos de tiempo que degradan el servicio en los sistemas GEO.

Odyssey e ICO Global son los únicos sistemas propuestos para dar servicio desde las órbitas MEO. ICO Global ofrece únicamente 10 satélites operacionales en órbitas planas, lo que significa que el ángulo de elevación para equipos de usuario móviles accedando el sistema ICO Global será 15 grados más bajo que para el sistema Odyssey. El resultado es que los usuarios de ICO Global tendrán un riesgo muy alto de bloqueo en sus llamadas por los edificios y tierra. Cada satélite ICO Global opera utilizando 160 beams, mientras que cada Odyssey utiliza únicamente 61. En resumen, ICO Global utiliza procesamiento a bordo haciendo que estos satélites tengan carga útil mucho más compleja que los satélites Odyssey.

Los teléfonos de base satelital que operan en los sistemas satelitales de portadoras ofrecerán capacidades para dar voz. Esto permitirá al despachador central contactar flotas o más de 15 subgrupos diferentes de habla localizados en E. U. El servicio estará disponible en toda Norteamérica, incluyendo Alaska, Hawai, el Caribe y las regiones costeras de América del Norte. Mitsubishi Electric y Westinghouse Electric fabricarán el equipo de sitios móviles de tierra y fijos que sea compatible con el servicio.

Inmarsat proveedor de las comunicaciones satelitales móviles descubrió recientemente una tecnología que da a los usuarios en cualquier lugar del mundo acceso a Microsoft Exchange. La Tecnología de Mensajería Inalámbrica de Inmarsat (IWMT, *Inmarsat Wireless Messaging Technology*) soporta comunicaciones entre un usuario móvil o aplicaciones móviles y un servidor de correo LAN; los usuario móviles mantienen en una sola caja Microsoft Exchange el direccionamiento de información mientras se está en la oficina o en camino. El software trabajara sobre todas las tecnologías inalámbricas incluyendo radio celular, radio paquetes, y satélites.

## CAPÍTULO V

### LAN COMUNICACIONES INALÁMBRICAS.

Las comunicaciones inalámbricas han estado disponibles en las telecomunicaciones desde hace varios años sin embargo, recientemente se han hecho populares para datos. Los desarrollos recientes en las comunicaciones y la tecnología en la computación acompañada con los cambios en el ambiente de regulación han conducido a diversas soluciones.

Ahora, estas son consideradas como una alternativa de crecimiento rápido y un complemento para las redes de datos alámbricas. Se estima que habrá 13 millones de usuarios de datos inalámbricos en el año 2000. Una ventaja de lo inalámbrico es la eliminación de restricciones que ponen los alambres físicos.

Las redes de área local inalámbricas proveen de movilidad y libertad como la que requieren los trabajadores en:

- \* hospitales,
- \* universidades,
- \* casas de corredores, y
- \* agencias gubernamentales

Las Redes de Área Local inalámbrica (LANs, *Local Area Network*) son redes de datos que transmiten información utilizando frecuencias de radio (RF), al contrario de las de alambre; son utilizadas para extender las líneas de la red existente y para aplicaciones a los usuarios móviles y permitir comunicación inalámbrica. Las LAN inalámbricas proveen cobertura dentro de los edificios o el medio ambiente de campos y permite al usuario obtener acceso a corporaciones o departamento de redes.

El crecimiento del mercado para LAN incluye:

- \* fabricación,
- \* almacén,
- \* distribución,
- \* transportación,
- \* aplicaciones móviles de puntos de servicio en el cuidado de la salud,
- \* hospitales, y
- \* ambientes financieros

Las aplicaciones móviles incluyen:

- \* viajes de profesionistas que necesitan una manera conveniente de transferir archivos de y para la LAN antes y después del viaje,
- \* ventas y servicios para personas que visitan ramas de la oficina y necesitan cambiar información con la LAN corporativa cuando llegan,

La tecnología de LAN inalámbrica ofrece una solución a las computadoras de escritorio en sitios donde es difícil o costoso alambrear, o para conexiones temporales de la red para movimientos de empleados, sumas y cambios. En algunos casos actúa como respaldo para el sistema de líneas existentes.

## TECNOLOGÍA DE LAN INALÁMBRICA.

La tecnología LAN inalámbrica más utilizada es Spread Spectrum RF. Spread Spectrum fue originalmente desarrollada para anti-obstrucción, y comunicaciones inmunes a la interferencia.

La comunicación infrarroja ha surgido como una opción menos costosa para imprimir en un rango corto la aplicación de transferencia de archivos (dentro de 1-3 m), pero no es capaz de alcanzar distancias extendidas y penetración en paredes, puertas y otras obstrucciones haciendo que esta sea una "LAN irreal".

Spread Spectrum opera en bandas de frecuencias sin licencia. El rango de frecuencias de los 902 MHz fue la banda utilizada por las LAN inalámbricas en E. U., pero ahora se está moviendo hacia los 2.4 GHz, ya que esta ofrece un espectro amplio y por lo tanto tasas de datos altas y es la única banda disponible en el mundo para operar sin licencia.

Las dos tecnologías Spread Spectrum RF utilizadas hoy son FH y DS, con la mayoría de productos nuevos utilizando FH. La razón por la que los vendedores seleccionan FH es que incluye una cobertura mejor (debido a que su resistencia es superior para interferencia multitrayectoria), la escalabilidad en la red es grande (el ancho de banda total de la red es muy grande), inmune a la interferencia, seguridad, consumo bajo de potencia, y producto de peso ligero.

Las LAN inalámbricas son utilizadas como extensiones de LAN alámbrica para los usuarios móviles. Actualmente, las LAN inalámbricas que se enfocan únicamente en tasas altas sacrifican las características de movilidad que hacen a la LAN inalámbrica útil, como lo son el roaming y el manejo de potencia.

## TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN.

Las redes de comunicación inalámbrica pueden definirse como: LAN, WAN (*Wide Area Network*), CAN (*Campus Area Network*), o MAN (*Metropolitan Area Network*). Una LAN es una red con comunicación geográfica limitada diseñada para transportar datos locales, usualmente se encuentra en edificios, oficinas o departamentos. Una WAN es una red que tiene una cobertura mayor de 50 km. La CAN es una red que reside en un rango menor de 50 km, como el campo de un colegio. Una MAN es una red que cubre un área geográfica tan grande como una ciudad o un suburbio, usualmente se extiende a un rango de 50 km.

Muchas WAN utilizan tecnología basada en satélites para proveer mensajes bidireccionales continuos en cualquier parte de los Estados Unidos y en los países extranjeros. Por ejemplo, las industrias de transportación utilizan redes basadas en los satélites para rastrear y monitorear vehículos y paquetes de información.

Las CANs y MANs utilizan redes de radio dentro de la mayoría de las ciudades y alrededor de áreas. Por ejemplo, en los departamentos de policía y servicios de gas operan y mantienen redes de radio privado bajo la licencia de la FCC (*Federal Communications Commission*).

Las LAN utilizan microondas, infrarrojo o radio frecuencias para conectar a los usuarios de una oficina, edificio o para conectar sitios múltiples en un campo amplio. La diferencia de la tecnología de transmisión utilizada por los fabricantes de LAN inalámbrico es importante para el usuario final. Cada tecnología varía en términos de las características de propagación de la señal. Dos características de propagación importantes son:

- \* fuerza de la señal sobre la distancia, y
- \* degradación en la penetración de la señal sobre superficies solidas

estas características de propagación pueden variar dependiendo de la tecnología de transmisión utilizada.

Las tecnologías de transmisión de comunicación inalámbrica de datos pueden dividirse dentro de las WAN y las LAN. La tecnología WAN es para comunicaciones de distancias grandes e incluyen CDPD, y circuitos de conmutación celular. La tecnología LAN es para comunicación de un solo sitio e incluye radio spread spectrum, radio frecuencia de banda angosta, e infrarrojo.

## COMPONENTES INALÁMBRICOS.

Los servicios de software y hardware para la comunicación inalámbrica de datos deben ajustarse al éxito de la red inalámbrica de datos. Las componentes de una red inalámbrica incluyen:

- \* Computadora anfitriona (Host). PC, estación de trabajo, mini/midrange/mainframe, o red de computadoras;
- \* Software de computadora anfitriona. Por ejemplo, software de aplicación como orden de entrada y E-mail;
- \* Dispositivo móvil. Notebook, subnotebook, computadora laptop, o PDA;
- \* Modem inalámbrico. Usualmente dentro de la computadora portátil;
- \* Software. Código de interface hacia el enlace en la aplicación para la comunicación inalámbrica;
- \* Servicio de comunicación inalámbrica;
- \* Tarjeta adaptada. Ajustada dentro de la computadora anfitriona;
- \* Puente o hub. Utilizada para interconectar las redes.

En una red de comunicación inalámbrica de datos, el usuario móvil se puede conectar a la computadora anfitriona para obtener un inventario del estado, mensajes E-mail, o datos financieros. La conexión a la computadora anfitriona es realizada mediante la computadora notebook del usuario móvil, la cual permite enviar y recibir información. Esta computadora notebook viene equipada con un modem inalámbrico, o utiliza la conexión telefónica celular.

El servicio de comunicación inalámbrico se selecciona primero, ya que esto determina las componentes de hardware y software que se necesitan. Actualmente una red inalámbrica no puede satisfacer la diversidad de aplicaciones que una sola red debe de soportar. Para determinar

cual red es más apropiada en una aplicación específica se debe buscar el requerimiento de cobertura, la naturaleza del tráfico de aplicación, y la red hacia la cual el trabajador móvil se conectará.

Algunas características importantes para que la red inalámbrica funcione correctamente incluyen:

- \* roaming directo, que permite al usuario moverse de una a otra región sin perder la conexión con la red,
- \* construcción dentro del modem de radio, que permite a la computadora móvil que el sistema sea de utilización sencilla, ya que el usuario no necesita llevar por separado las piezas del hardware.

## **SEGURIDAD.**

Los productos de LAN inalámbrica FH Spread Spectrum proveen seguridad con un grado más elevado que cualquier sistema LAN inalámbrico. Las técnicas FH envían grupos pequeños de datos a través de un rango de frecuencias diferentes, lo que hace casi imposible que se conozca cual es el salto de frecuencia para obtener el grupo siguiente de datos. Algunos productos además proveen encriptación de datos y utilizan ID de seguridad.

## **EFECTO DE LA INTERFERENCIA.**

Cualquier producto de LAN inalámbrica sufre impactos por las características físicas de los edificios o por la presencia de interferencia RF. Los productos de radio non-Spread Spectrum con interferencia en bandas sin licencia usualmente disminuyen significativamente su operación. Especialmente los sistemas DS de un solo canal, dependiendo del nivel de interferencia RF, al igual que los sistemas DS multicanal que pueden sufrir un retraso mayor o la operación puede terminar.

Los sistemas FH Spread Spectrum mueven la banda completa arriba del "nivel de ruido" y de esta manera se resiste este tipo de interferencia RF. Mientras el funcionamiento puede disminuir, la comunicación RF continua con el sistema FH. Los usuarios deben observar la seguridad que los productos de LAN inalámbrica que consideren, que provean herramientas de inspección en sitios, que incluyan un parámetro para detectar donde existe interferencia RF. Utilizando estas herramientas, las antenas pueden ser posicionadas para minimizar el impacto de ruido RF.

## COSTO.

La "cobertura económica" incluye no únicamente el costo de la adaptación del cliente, también el soporte inalámbrico Puntos de Acceso (AP, *Access Points*) que tienden un puente a los usuarios inalámbricos hacia la red alámbrica. Un usuario debe saber que se requieren puntos de acceso adicionales para proveer una cobertura adecuada para que la adaptación del cliente sea menos costosa si se tiene un rango limitado. Esto resulta en un costo total de implementación alto. Con el rango de productos de LAN inalámbrica incrementándose, el costo total de implementación disminuirá.

## ESTANDARES INALÁMBRICOS.

La IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) trabaja actualmente en la norma 802.11 que es un bosquejo para la normatividad inalámbrica Ethernet y especificaciones Token Ring LAN. El grupo 802.11 tiene más de 200 miembros, lo que tiende a que las decisiones sean lentas, pero se suministra una cantidad grande de entradas para asegurar la estandarización. La IEEE se ha enfocado ha la estandarización en la banda de los 2.4 GHz banda ISM para que esta cuente con una disponibilidad grande aunque varíe de región a región.

El bosquejo de la IEEE recomienda cuatro capas:

- \* tres capas físicas de alternativa, y
- \* una capa de Control de Acceso Medio (MAC, *Media Access Control*)

El comité 802.11 está interesado en dos niveles bajos del modelo OSI (*Open System Interconnect*) las capas físicas y enlace de datos. La capa del protocolo físico comunica información entre el hardware-específico y los dispositivos de las redes, como tarjetas de interface de redes. La capa del protocolo de enlace de datos maneja la manera en la cual se comunican estos dispositivos. El estándar está diseñado para regular los servicios inalámbricos sobre tres transmisiones medias:

- \* radio Spread Spectrum,
- \* radio de banda angosta, y
- \* ondas de luz infrarroja

Existen tres grupos de trabajo de capas físicas activas (PHY) dentro del comité 802.11:

- \* grupo Direct Sequence Spread Spectrum,
- \* grupo Frequency Hopping Spread Spectrum, y
- \* grupo Infrarrojo

La meta de la estandarización es asegurar una interoperabilidad entre productos. La estandarización tiene un compromiso entre la frecuencia de radio y el campo infrarrojo, definiendo una capa física para 1 Mbps a 2 Mbps transmisión RF y una capa PHY para transmisiones infrarrojas. Esto deja la elección a los fabricantes y usuarios.

El comité de la IEEE 802.11 esta de acuerdo en la definición que combina conceptos de la propuesta de IBM y otra de AT&T/NCR, Xircom, y Symbol Technology. La propuesta de IBM fue una rama de protocolo determinístico dividido, de bit de apertura situado para voz interactiva y transmisión de video. La propuesta AT&T/NCR/Xircom/Symbol Technology fue un paquete no determinístico basado en un protocolo diseñado como una extensión inalámbrica a Ethernet. La estandarización propuesta combina las dos en un superframe que permite porciones no determinísticas y determinísticas del protocolo para residir en partes separadas del frame.

La meta de cualquier estandar es proveer interoperabilidad entre los diferentes productos de los proveedores. Actualmente el estandar 802.11 propuesto no garantiza interoperabilidad y no esta anticipado a hacerlo, de acuerdo a varios observadores de la industria.

## INTERCONEXIÓN

La interconexión física así como la interface eléctrica de los teléfonos celulares son únicos para cada modelo del fabricante. Por esta razón existen problemas de compatibilidad entre las interfaces de teléfonos celulares y los dispositivos electrónicos de los vehículos.

Por ejemplo, la tecnología de conectividad desarrollada por "Cell Port Labs" con base en Colorado promete resolver este problema dando una conexión física y electrónicamente universal para diferentes tipos de teléfonos celulares.

El producto consiste en dos elementos: adaptador de bolsillo de teléfono y unidad de control. El adaptador de bolsillo comprende un cable y dos conectores. Al final del teléfono está un conector, que puede localizar cualquier teléfono prescindiendo de la interface eléctrica, mientras en el otro extremo está un conector universal que enlaza la unidad de control al cable.

Basado en la tecnología de conectividad universal (fig. 47), la compañía autorizó estos productos. El kit del auto -cuyas características son operación automática, carga de baterías y conexión de antenas remotas para varios modelos- ofrece una alternativa barata al propietario.

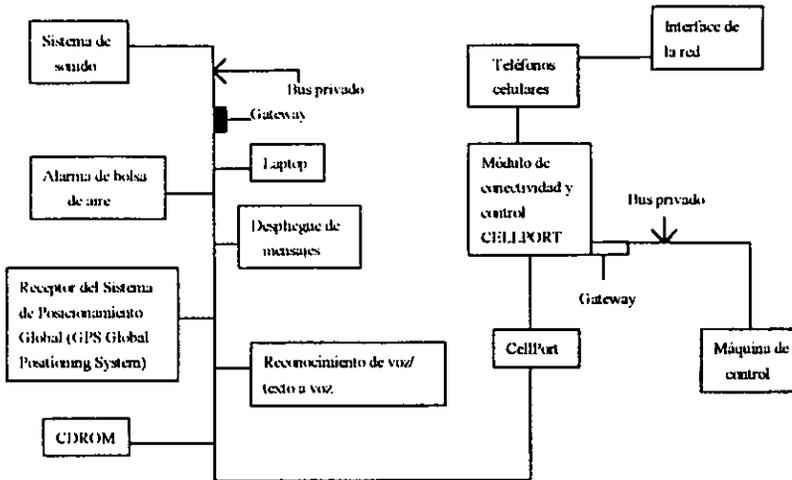


Fig. 47 Conectividad inalámbrica universal. Para comprender el funcionamiento de la tecnología de conectividad, considérese la interconexión de un teléfono celular a la unidad de control a través de un cable. En un extremo del cable esta un conector diseñado para acomodar cualquier teléfono celular, sin importar la interface eléctrica. La unidad de control, la cual esta unida en el otro extremo del cable a través de un conector universal, primero produce una señal para identificar el tipo de teléfono celular en uso, y entonces decodifica las señales recibidas del teléfono. Una vez identificada permite la conexión para ejecutar las funciones operacionales con el teléfono celular.

### CONEXIÓN LAN.

Por ejemplo, los ingenieros de CellPort han desarrollado un framework para un teléfono inalámbrico de capacidades LAN vehiculares añadiendo una plataforma de control de conectividad en el kit del auto. El modulo incluye una arquitectura de control, una orden fija de LAN y un bus de interface que permite transferir información digital entre los dispositivos periféricos conectados al bus común y al teléfono celular.

### INTERFACES ABIERTAS.

La interface CellPort trabaja en ambientes FDMA, TDMA y CDMA, y puede utilizarse en edificios o en cualquier lugar donde se tengan unidades portátiles en operación. CellPort no controla los servicios, al contrario facilita los servicios inalámbricos. Actúa como una interface abierta o una entrada entre la LAN y el teléfono celular, para permitir comunicación interactiva de datos. Se tiene acceso a un número de servicios que incluyen:

- \* Marcado automático de emergencia- notificando automáticamente a los servicios de emergencia la localización del auto después de que se ha desplegado la bolsa de aire.

- \* Acceso a Internet- conexión a Internet para tener acceso a aplicaciones como E-mail, así como un vasto número de servicios de Internet.
- \* Acceso vehicular remoto- expedición de reparaciones remotas mediante el marcado en la computadora del mecánico. que determinara la naturaleza del problema.
- \* Sistema de Tráfico Inteligente (ITS, *Intelligent Traffic System*)- individualizando las rutas de tráfico y rastreo de los servicios utilizando el sistema GPS.
- \* Despliegue de mensajes en el tablero de instrumentos- destellos de mensajes cortos en el tablero de instrumentos para evitar el peligro de distracciones por contestar una llamada.

Esta interface está disponible desde fines de 1996 en E. U. y el precio al consumidor es alrededor de \$125 dólares.

La convergencia entre las comunicaciones inalámbricas y la electrónica digital de los vehículos beneficia no únicamente al público sino también a los dispositivos inalámbricos, computadoras e industria de autos. Las industrias inalámbrica y de computo sacan provecho del crecimiento en la demanda de voz inalámbrica y de los dispositivos de comunicación de datos, debido a que las características adicionales de una LAN intra-vehicular hacen a los sistemas inalámbricos más atractivos. La industria automotriz gana la oportunidad de participar en los negocios inalámbricos, ya que los fabricantes de autos pueden eliminar problemas de incompatibilidad. CellPort da la oportunidad de instalar puertos inalámbricos universales para manos libres utilizando teléfonos celulares y PCS para conectar varios microprocesadores ya fijados en los vehículos de hoy.

## BENEFICIOS Y DESVENTAJAS.

Para los usuarios los beneficios en la comunicación de datos inalámbricos son obvias, los trabajadores pueden tener una productividad máxima pasando más tiempo con los clientes y teniendo acceso a los datos de la compañía de una manera más fácil y disponibilidad de la información de los productos.

La idea de obtener o transmitir datos en cualquier lugar y en cualquier tiempo es una característica atrayente de las comunicaciones inalámbricas. Los usuarios observan esto como una forma de vencer el tiempo y la distancia.

Otro factor que atrae gente a las comunicaciones inalámbricas es la dirección de la red, el control, y el control de una WAN con una CAN. Mediante esto se ahorra dinero ya que se separa la portadora y se da el control de la dirección de la red a la red. Por ejemplo, una solución son las microondas que son menos costosas que los enlaces de fibra óptica, más rápidos que una línea T1, y no se tiene que recurrir a cantidades grandes de líneas y la dirección de la red tiene el control sobre el enlace de la red.

Según algunas compañías como el grupo "Yankee" en Boston predicen que las áreas en donde lo inalámbrico se hará mas esencial es entre los edificios y pisos de una red de campo, en oficinas remotas o ramas, y en oficinas abiertas.

Se estima que 300 000 usuarios en el mundo utilizan la red celular para enviar y recibir varios tipos de datos; que incluyen fax, correo electrónico y transferencia de archivos.

Los nombres de grandes jugadores en el mercado inalámbrico en E. U. incluyen a SAIC (*Science Applications International Corporation*) y EDS como integradores de sistemas, BellSouth, AT&T, GTE, ARDIS, y Pacific Telesis como proveedores de servicio, mientras que HP, IBM, PCSI (*Pacific Communications Sciences Inc.*), Proxim, y Zenith como vendedores de equipo.

Una desventaja en la comunicación inalámbrica de datos es la falta de normatividad. Esto es importante en los paquetes enviados por los modems de radio y en los datos enviados por el celular. Esto debería corregirse en el año 1997 en E. U., para que lo inalámbrico pueda cubrir las demandas de unidades portátiles.

## APLICACIONES.

Cuando se "pre-planca" cualquier red, antes de decidir la velocidad de transferencia de datos, el número de usuarios, y el protocolo, uno debe enfocar el propósito de uso de la red. Las justificaciones para una red inalámbrica deben ser:

- \* conectar computadoras portátiles (laptops y notebooks) a la red;
- \* expandir una LAN para incluir algún edificio que se encuentre cruzando la calle o a una distancia de tres millas;
- \* conectar computadoras cuando el cableado no es factible y edificios en donde la infraestructura no puede perturbarse;
- \* redes de computadoras en donde el realambrado sea costoso;
- \* facilitar a los empleados que se mueven frecuentemente permanecer productivos mientras esperan el cableado;
- \* proveer respaldo a una red LAN alámbrica;
- \* tratar de proveer datos

La tecnología inalámbrica ha probado ser extremadamente útil en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, con un control de inventario, moviendo datos a través del aire haciendo a los sistemas de manejo de inventarios más productivos y flexibles. Algunas aplicaciones inalámbricas incluyen:

- \* servicios de reservación móvil;
- \* primas de seguro móvil;
- \* verificación de tarjetas de crédito;
- \* interrogación de bases de datos móviles/ intercambio electrónico de datos (EDI, *Electronic Data Interchange*);
- \* líneas nuevas, clima, tráfico, noticias de negocios;
- \* aplicaciones medicas ilimitadas (cuidado rural, grabación de pacientes);

Por ejemplo en un restaurante: Los empleados de un restaurante deben de conservar listas actualizadas de los clientes que esperan, tamaño de cada fiesta, horarios disponibles, etc. Si esta información es multiplicada por las mesas en un restaurante promedio, más los elementos

aleatorios como el tamaño de la fiesta, se puede observar el problema de los empleados del restaurante en el rastreo de información.

Algunas cadenas de restaurantes están intentando actualizar a estos empleados con la tecnología de la computación.

Por ejemplo, Rock Systems una firma especializada en sistemas de restaurantes en E. U. ha desarrollado un sistema mediante el que se minimiza el tiempo de espera, mejorando la eficiencia de los servicios aplicados a cada mesa. Esta firma produce un paquete de software para el manejo de mesas llamado ProHost que realiza esto mediante la coordinación de información desde una variedad de localizaciones en el restaurante.

Varias de estas localizaciones pueden ser enlazadas a través de una línea LAN. Pero algunos empleados requieren más libertad de movimiento de lo que una línea LAN puede proveer. Estas personas requieren manejar una computadora que pueda comunicarse inalámbricamente con el resto de los sistemas.

Esta solución utiliza todas las características del actual sistema ProHost basado en la LAN y añade una tabla y pluma inalámbricas que pueden transmitir y recibir datos desde cualquier lugar en el restaurante.

Cuando el cliente llega a la puerta, el da su nombre a la persona, y el nombre es grabado y transmitido a la terminal ProHost principal, la cual guarda la información y da a conocer que mesas están disponibles y la capacidad de cada mesa.

En los hospitales el plan fue poner la tecnología de información cerca del punto de cuidado, permitiendo tener la información analizada y manejada actualmente de manera cercana; dándole a las enfermeras acceso directo a la red desde el lugar donde se encuentra el paciente.

Un paso clave de la estrategia fue reemplazar la red mainframe base con redes de área local Ethernet a través de las camas del hospital. Como parte de la red, el hospital planeó colocar computadoras en cada cuarto, así las enfermeras pudieron tener una gráfica de la información del paciente desde el cuarto. Pero se observaron algunas restricciones como por ejemplo el costo del cableado, por lo que la tecnología de LAN inalámbrica pudo cubrir las necesidades del hospital. El beneficio obvio de la tecnología de LAN inalámbrica fue el ahorro en el costo, no debiendo comprar e instalar redes y mantener un número elevado de PCs.

## ESTADÍSTICAS DE MERCADO.

Según BIS Strategic Decisions, el mercado en los Estados Unidos para comunicaciones inalámbricas fue de \$289 millones de dólares en 1992 y \$756 millones de dólares en 1994. Esta cifra esta dividida en servicios (\$508 millones de dólares) y renta de equipos (\$248 millones de dólares). Se espera que en 1999 las ventas alcancen los \$60 billones de dólares.

Un estudio reciente de la compañía Venture Development en E. U. mostró que el 80% de la población estadounidense esta interesada en las comunicaciones inalámbricas; una tercera parte de esta gente estuvo interesada en PCS.

Según el grupo Yankee se calcula que existen 38 millones de trabajadores en los Estados Unidos en aplicación de datos. Las áreas de aplicación son:

- \* servicios (23%),
- \* ventas (22%),
- \* transportación (18%),
- \* administración (13%),
- \* gobierno (7%), y
- \* otros (17%)

Se calcula que en 1996 se tuvieron 16 millones de usuarios de computadoras portátiles en los Estados Unidos de los cuales el 75% estaba equipado con modems inalámbricos.

La industria de transportación y servicios forman el mercado más reciente en la comunicación inalámbrica de datos. Un estudio realizado en 502 compañías en E. U. mostró que se necesita mejorar la eficiencia, accesibilidad, y manejo de los servicios en la mayoría de mercados para la comunicación inalámbrica de datos. Las respuestas que se encontraron al examinar estas compañías fueron:

- \* 20% no tiene planes de utilizar los sistemas inalámbricos,
- \* 35% planea utilizar eventualmente los sistemas inalámbricos,
- \* 20% planea utilizarlos en dos años, y
- \* 25% utiliza las soluciones inalámbricas actualmente

Otras industrias interesadas fueron:

- \* ventas al por menor "retail" (41%),
- \* cuidado de la salud (36%),
- \* fabricación (34%),
- \* gobierno federal (30%), y
- \* gobierno estatal (18%)

Según las estadísticas de mercado para LAN inalámbrico se pronostica que:

- \* El mercado de LAN inalámbrico crecerá de \$57 millones de dólares en 1993 a más de \$900 millones de dólares en 1998 de acuerdo a The Information Network.
- \* Según la compañía Frost & Sullivan se predice que el mercado inalámbrico tendrá un crecimiento compuesto de 52% anual. En la división de LAN inalámbrico el crecimiento será del 91% sobre todas las ventas.
- \* El mercado internacional de redes inalámbricas crecerá de \$42 millones de dólares en 1994 a \$750 millones de dólares en 1997. Los analistas están de acuerdo en que la atracción de la comunicación inalámbrica de datos alrededor del mundo gira alrededor del hecho de que muchos de los edificios tienen limitaciones físicas que hacen a lo inalámbrico atractivo y práctico. Spread Spectrum será la tecnología que dominará el mercado inalámbrico Europeo en

1997. La división Europea de tecnologías inalámbricas en 1994 fue de:

- \* 36.1% para Spread Spectrum,
- \* 43.2% para banda angosta,
- \* 4.8% para infrarrojo, y
- \* 15.9% para otras

El pronóstico en la división para 1997 es:

- \* 49.1% Spread Spectrum,
- \* 21.9 % para banda angosta,
- \* 21.7% para infrarrojo, y
- \* 7.3% para otras

Aunque la comunicación inalámbrica es un tema actual durante muchos años el crecimiento del mercado en la comunicación de datos inalámbricos ha estado limitada por el precio, funcionamiento, normatividad, frecuencia, batería y demanda de unidades portátiles. Se necesita que los dispositivos inalámbricos utilicen la menor potencia posible. Esto se ha hecho realidad debido a los semiconductores inalámbricos que existen actualmente para poder realizar la generación siguiente.

Algunos analistas predicen que para el año 2000 la renovación en la comunicación de datos inalámbricos excederá a las telecomunicaciones inalámbricas. Actualmente está surgiendo una nueva tecnología que se llama CDPD, esta ha generado una gran expectación ya que promete que la comunicación de datos inalámbricos se hará a una velocidad más grande.

Las computadoras portátiles (móviles) han conducido varias innovaciones en las redes de datos inalámbricos. En Estados Unidos 48 millones de los trabajadores requieren tener movilidad la mayor parte del tiempo. Esto incluye trabajadores que utilizan tecnologías como: radio móvil especializado mejorado (ESMR), radio móvil especializado (SMR), servicio de datos de comunicación personal, datos celulares, y paquetes inalámbricos. Los usuarios tienen un confort mayor utilizando las comunicaciones celulares ya que entienden la telefonía.

Las comunicaciones inalámbricas han existido desde el principio de la década de 1930, pero no se consideró como un medio viable para la comunicación de datos hasta principios de 1980, y no fue aceptada como una tecnología hasta después de 1980. Las radio microondas y los sistemas de comunicación infrarrojos fueron introducidos a mitad de la década de los 80's con lo que se dio el puente hacia LAN Ethernet a una tasa total de 10 Mbps.

En el año de 1985 la FCC localizó ciertas porciones del espectro de radio para permitir que los productos de datos inalámbricos que se basaban en la tecnología Spread Spectrum operaran sin licencia. Con esto se fomentó el diseño y la introducción de productos inalámbricos hacia las LANs, y WAN. En el año de 1991 la tecnología Spread Spectrum hizo su debut comercial; en el año de 1993 la FCC dio una localización adicional del espectro de radio para operar con y sin licencia en PCS. En 1994 la FCC otorgó 99 licencias de banda angosta para PCS.

La tecnología inalámbrica es una aproximación efectiva en la comunicación de datos, con los nuevos productos y servicios que se desarrollan diariamente. Con las LAN se ahorra un costo

directo en la instalación del cable y del mantenimiento. Las LAN inalámbricas serán aceptadas y puestas en funcionamiento en la década de 1990s. Ellas no reemplazarán a las LAN alámbricas, por el contrario serán un complemento a ellas; las LAN inalámbricas deben ser una extensión de la red y no reemplazarlas. Más de un 70% de los problemas de pares en las LAN es atribuido al alambrado, de acuerdo al grupo Yankee. Las LAN inalámbricas deberán solucionar este problema e incrementar la productividad.

El adaptador de tarjeta de LAN inalámbrica cuesta entre \$400 y \$1000 dólares y el adaptador LAN alámbrico de Ethernet cuesta de \$100 a \$350 dólares. Las LAN alámbricas de Ethernet corren a 10 Mbps en comparación a la mayoría de las LAN inalámbricas que corren de 1 Mbps a 2 Mbps.

Una fuerza importante con lo inalámbrico, se encuentra en el roaming, el cual permite a los usuarios de laptops moverse entre puntos de acceso sin perder la conexión, por ejemplo esto permite a los doctores y enfermeras utilizar dispositivos inalámbricos para ver a sus pacientes, actualizar los delineamientos y grabaciones, y acceder resultados de laboratorio sin tener que retornar a su escritorio constantemente.

La interferencia es siempre un problema potencial, sin embargo, lo mejor para reducir este potencial de interferencia es el salto de frecuencia, y el direccionamiento infrarrojo. La interferencia puede ser causada por hornos de microondas, dispositivos de detección, y radares.

Para asegurar la seguridad de los datos, los vendedores ofrecen control de acceso y encriptación. Para interceptar los datos, un ladrón debe saber que frecuencias estuvieron siendo utilizadas, y que reglas de acceso son. Utilizar un adaptador es una manera para proteger los datos. Por ejemplo, en la LAN inalámbrica de IBM los dispositivos pueden ser registrados para obtener acceso a la estación base. Si el adaptador es robado, el administrador de la red puede simplemente quitar la autorización de ese adaptador hacia el enlace de la red. La encriptación es otra característica de protección de datos que es muy poderosa. Los datos pueden ser encriptados diferentemente en cada enlace inalámbrico entre adaptadores y hubs.

Las LAN inalámbricas son mejor utilizadas donde: el alambrado tradicional es difícil o costoso, exista la necesidad de movilidad en un edificio, se necesite crear grupos de trabajo pequeños y cambiar grupos de trabajo, y exista una tasa alta de cambios en relocalizaciones físicas de los trabajadores.

Cuando se selecciona la tecnología inalámbrica que se utilizará, debe considerarse la necesidad total de cobertura, longitud de una transmisión de datos típica, velocidad de transmisión, y costo del servicio.

Las redes inalámbricas están todavía en desarrollo; la industria observa con gran interés por ejemplo a RadioLAN, porque sus productos: RadioLAN/10 amenazan con romper el precio y la barrera de la velocidad. RadioLan/10 combina un transreceptor adaptador de radio y la funcionalidad de la estación base dentro de una unidad con una velocidad de 10 Mbps a un precio de \$350 dólares.

La generación siguiente de equipo inalámbrico (tercer generación) tendría un costo muy bajo e incrementaría su rango. Esto, gracias a diseños más compactos, costo bajo de los chips, dispositivos de potencia baja, normatividad en E. U. y el extranjero, incremento de la fabricación y competencia. En los cinco años siguientes se tendrían cambios muy importantes en lo inalámbrico; los usuarios no deben de ver a lo inalámbrico como la solución total, sino como una herramienta para ser utilizada como parte de la red para incrementar la productividad y reducir el costo.

## CAPÍTULO VI

## ACCESO WIRELESS LOCAL LOOP (WLL).

Los Enlaces Locales Inalámbricos (WLL, *Wireless Local Loop*) se refieren al último kilómetro de servicios telefónicos enviados a través de radio frecuencia. WLL proporciona la conexión a PSTN y puede servir como centro de distribución y recepción.

WLL es una alternativa a las redes alambradas, la cual utiliza frecuencias de radio; tiene un despliegue rápido, mantenimiento sencillo y tecnología reciente que permite una alta velocidad y servicios con un ancho de banda elevado.

Se estima que el número de líneas WLL excederán los 30 millones en el año 2005.

Varios factores influyen en el crecimiento del mercado de WLL entre ellos están el bajo costo por usuario inalámbrico, comparado con las soluciones tradicionales en ciertas circunstancias, y la disponibilidad de la tecnología para aplicaciones móviles y fijas.

Las ventajas que WLL tiene son:

- \* Los sistemas no son caros y son más fáciles de instalar que los sistemas de telefonía de cobre. Utilizan un método eficaz basado en frecuencias de radio para acceder la Red Telefónica Básica (RTB) y proporcionar servicio telefónico básico a los negocios y habitantes de la zona.
- \* Es flexible y puede crecer a medida que la base de usuarios aumenta.
- \* Un sistema inalámbrico puede desarrollarse y producir ganancias más rápidamente. Dados los costos y el tiempo necesario para instalar sistemas de líneas; la mayoría de los carriers "sobredimensionan" sus redes para abastecer demandas futuras en un plazo de aproximadamente 10 años. El incremento en el número de abonados es más fácil de acomodar en los sistemas WLL. Estos sistemas son más centralizados que las redes alambradas, lo que facilita la utilización eficiente de la red y de la inversión de capital inicial.
- \* Las redes inalámbricas pueden ampliarse con nuevos servicios más rápidamente.
- \* Los sistemas de radio inalámbrico no están limitados por geografía ni por política.
- \* Los operadores de servicios celulares pueden utilizar los sistemas WLL para competir con los operadores de redes alambradas en la prestación de servicios de telefonía básica.
- \* La instalación de un sistema WLL es relativamente rápida. Mientras que la planificación de las redes alambradas toma normalmente entre tres y cinco años, los sistemas WLL pueden implementarse entre 1 y 12 meses. La diferencia se debe, fundamentalmente, al menor tiempo requerido para instalar las centrales celulares WLL.
- \* Menor mantenimiento. El servicio telefónico utilizando cableado a menudo se ve afectado por factores difíciles de controlar, como los climáticos, vandalismo, robo y tiempo que conlleva localizar y resolver los problemas operativos de la red. Con las instalaciones inalámbricas la mayoría de estos factores de servicio, operación, y el costo asociado con ellos desaparecen.

El éxito continuo de WLL en América Latina y otras regiones depende de tres elementos principalmente:

- \* Disponibilidad de un espectro dedicado.
- \* Disponibilidad de una interfaz aérea de gran capacidad y bajo costo, y
- \* Disponibilidad de una interconexión estándar con la red terrestre.

En la fig. 48 se muestra el crecimiento que se espera del sistema WLL.

La atracción que tiene esta tecnología para los operadores establecidos, es la habilidad de alcanzar poblaciones rurales, proporcionar rapidez y servicios temporales. Para los operadores nuevos, WLL proporciona una manera de incrementar rápidamente la cobertura urbana y reducir los inconvenientes de la desviación del acceso de redes.

En algunos casos es equivalente una solución alamburada. En estos casos, la ventaja de lo inalámbrico es su despliegue rápido y que puede estar directamente a la base del cliente que lo desea.

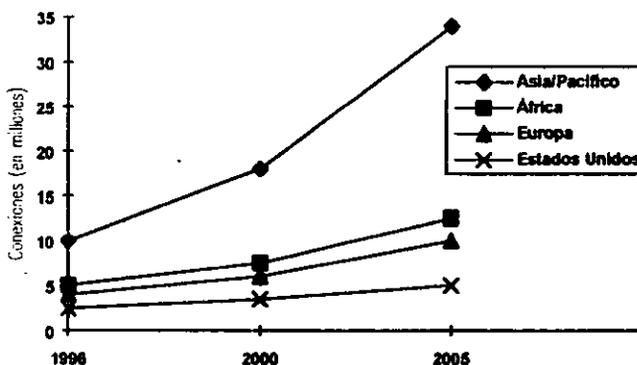


Fig. 48 Nuevas líneas inalámbricas por región.

De las opciones de espectro disponibles en América Latina, la banda de 1.9 GHz parece ser la mejor, por tres razones principalmente:

- \* La frecuencia de 1.9 GHz está disponible en gran parte de la región y está siendo utilizada para brindar PCS.
- \* Como ya se han desarrollado productos en este rango de frecuencias para aplicaciones PCS en E. U., los operadores que implementen equipos WLL se beneficiarán en el futuro de las ventajas económicas que ofrecen las economías de escala.
- \* La Comisión Interamericana para las Telecomunicaciones (CITEL) ha adoptado recomendaciones para designar como estándar a la banda de 1.9 GHz para PCS, no sólo dentro de E. U., sino también para toda América.

Las opciones para la plataforma WLL pueden ser cualquier interface aérea TDMA, GSM, y CDMA. Las soluciones de la tecnología dependen de cuanto el operador esta dispuesto a pagar por un sistema, donde se instalara, como deben acomodarse los usuarios y condiciones ambientales. De las tecnologías disponibles para los sistemas WLL en América Latina, CDMA ofrece ventajas significativas en cuanto a capacidad y calidad. CDMA posee la mayor cobertura de cualquier opción digital. Esto significa menos costos de equipamiento, adquisición y operación.

CDMA es efectiva en mercados que exigen calidad de servicio y de voz excepcionales, servicios como transmisión de fax, datos y gran capacidad para satisfacer las necesidades del mercado global. En general para aplicaciones suburbanas o rurales GSM y CDMA son dos opciones apropiadas.

Para cubrir largas distancias un operador puede utilizar una configuración de señal omnidireccional, situada en antenas de torres elevadas, y potencia del sistema con 3 W.

Las tecnologías analógicas son aún atractivas en el desarrollo del mundo, debido a que el costo de la unidad es bajo. El problema con lo analógico es su ineficiencia; por lo que es adecuado para situaciones rurales que no requieran de una gran capacidad.

Las llamadas sobre un enlace inalámbrico fijo requieren mayor capacidad ya que tienden a ser más grandes que las llamadas móviles de celular. Por ejemplo, el sistema GMH-2000 utiliza E-TDMA (TDMA extendido), el cual opera en la frecuencia de los 800 MHz y es apropiado para añadir demandas de capacidad de llamadas telefónicas, comparada con las llamadas móviles.

Un sistema WLL requiere tecnología que pueda manejar una gran capacidad en distancias cortas, debido a los edificios u otros impedimentos. Estos ambientes requieren de más estaciones base, lo que puede significar un costo mayor en la inversión. Sin embargo, debido a su despliegue rápido el operador recobra rápidamente esta inversión.

Una componente necesaria para aumentar la utilización de WLL en América Latina es la adopción de una conexión estándar con la red terrestre. Se ha propuesto a la interfaz V.52 como el estándar para América Latina. El V.52 es una interfaz estándar digital que ofrece numerosas ventajas:

- \* Servicios agregados. Debido a que V.52 permite una entrega transparente de las funciones del RTB, los abonados de los sistemas WLL pueden disfrutar de los mismos niveles de servicios que los abonados de telefonía de línea fija, incluyendo servicios agregados tales como llamada en espera y desvío de llamadas.
- \* Interfaz abierta. V.52 es una interfaz abierta, que facilita la competencia en cuanto a precios y permite a los operadores elegir las componentes del sistema, dadas las necesidades de sus clientes.
- \* Interfaz enlazada. V.52 es una interfaz enlazada que reduce los costos ya que necesita menos conexiones de la central local, admitiendo una variedad de opciones en la expansión de líneas.
- \* Opciones múltiples de expansión. Ofrece a los proveedores de WLL flexibilidad en cuanto a opciones de crecimiento del sistema.
- \* Complejidad reducida en la red. Permite que funciones como la facturación y el despacho de servicios permanezcan en la central local, V.52 reduce la complejidad y el costo permitiendo

a la red abastecer únicamente aquellas funciones de despacho de llamadas requeridas por el acceso inalámbrico.

- \* Líneas alámbricas e inalámbricas en la misma central. Permite a los operadores WLL la posibilidad de que los servicios alámbricos e inalámbricos coexistan en la misma central, lo que conlleva a reducciones en el costo de los equipos.

La generación siguiente de soluciones WLL llevará ofrecimiento de servicios de banda ancha. El sistema WLL constituye la alternativa ideal en América Latina para alcanzar un servicio telefónico más eficiente y económico. Con la tecnología WLL, América Latina tiene la oportunidad de implementar una infraestructura con lo más avanzado en servicios de telecomunicaciones.

### WRL (ENLACE RURAL INALÁMBRICO)

Las telecomunicaciones rurales se definen como el servicio básico de telecomunicación que se provee en mercados vírgenes o en mercados donde la población es muy reducida y tiene requerimientos sumamente bajos de servicio telefónico.

Las telecomunicaciones rurales requieren cubrir mayores distancias, y número limitado de suscriptores en una zona extensa que requiere de soluciones de baja densidad que son más económicas que el concepto celular original; por lo tanto, se utiliza el término "Enlace Rural Inalámbrico" (WRL, *Wireless Rural Loop*) al referirse a la solución inalámbrica para telecomunicaciones rurales.

WRL requiere de una tecnología totalmente diferente para ofrecer una solución más económica que WLL. Las mejores soluciones de telecomunicaciones rurales ofrecerán un costo inicial bajo con mantenimiento simplificado y con posibilidades de expansión. Los servicios inalámbricos iniciales en los años ochenta que ofrecían aplicaciones rurales inalámbricas tenían un costo de \$6.000 a \$8.000 dólares por usuario.

Conforme fueron desarrollándose las tecnologías, los precios bajaron, de manera que ahora se puede obtener un servicio de punto a punto a través de un enlace de 30 km a un precio de \$2.000 dólares por usuario.

El espectro de frecuencias VHF y UHF ofrece la mejor solución de propagación para aplicaciones rurales, ofreciendo las frecuencias de 60-520 MHz una propagación mucho mejor en zonas de bosques y colinas.

Mientras que el uso de estas frecuencias se congestiona en las zonas urbanas, por lo general no existe ningún problema con el congestionamiento de frecuencias en las aplicaciones rurales. La selección del espectro VHF y UHF ofrece soluciones más económicas y además la capacidad de cubrir distancias mucho mayores entre estaciones remotas y terminales, sin necesidad de costosos repetidores como los que se requieren en las frecuencias celulares de 800-900 MHz o las frecuencias de microondas.

En estos rangos de frecuencias, las técnicas de reducción de ruidos de señales ofrecen excelentes relaciones señal ruido y una calidad para larga distancia igual o mejor que la de muchos de los servicios tradicionales actualmente disponibles.

Es necesario considerar algunos factores al planificar la infraestructura WRL:

- \* El número de estaciones remotas a ser atendidas.
- \* La distancia entre las estaciones remotas y la terminal.
- \* El tipo de servicio (voz, datos, fax, video, telex).
- \* Número de líneas por estación remota.
- \* La cantidad y el tipo de actividades de los usuarios a diferentes horas del día.
- \* Actividades de una oficina pública de llamadas (PCO) o teléfonos públicos inalámbricos.
- \* El tipo de terreno en toda la zona de servicio.
- \* Los requerimientos de servicio: actividades de extensión del circuito, sobrediseño y centros de localización y/o mensajes.
- \* Restricciones políticas de asignación de frecuencias por parte del gobierno o del organismo de control.
- \* Consideraciones presupuestales y requerimientos de expansión a largo plazo.
- \* Tráfico telefónico.

Existen muchos tipos de soluciones, algunas con ventajas y desventajas sobre otras, según las necesidades de los clientes a ser atendidos.

Por ejemplo, el formato de señales de 3852 Hz recomendado por la CCIT para los sistemas tradicionales de radiocomunicación de Phone-link, de punto a punto, ha sido estandarizado por muchos carriers, sin embargo, muchos prefieren las señales aéreas DTMF cuando se desean servicios alternos como extensiones móviles o portátiles, así como servicios tradicionales de teléfonos fijos.

La ventaja DTMF es el requerimiento de mantenimiento el cual es relativamente sencillo de manejar.

Las empresas europeas desarrollaron una norma de señales para servicios móviles trunking, conocida como MPT 1327. En muchos países de América, los Servicios Trunking de Radiocomunicación Bidireccional de 800 y 900 MHz también se utilizan cuando un gran número de usuarios tienen que comunicarse dentro de un grupo específico preasignado en una operación de doble vía, tipo "oprimir para hablar" y "soltar para escuchar".

Otros formatos de trunking han sido desarrollados para las frecuencias UHF y VHF. El problema principal que presentan todos los sistemas trunking anteriormente mencionados es que se diseñaron inicialmente para sistemas de radiocomunicación bidireccionales, para usuarios y grupos múltiples, y evolucionaron en un acceso telefónico. Por lo tanto, algunas de las opciones y los medios de operación no son idóneos para los requerimientos de extensión de teléfonos inalámbricos.

Otros sistemas de comunicaciones inalámbricos han sido diseñados específicamente para operaciones remotas fijas completas-duplex y operaciones de teléfonos móviles completas-duplex, con teléfonos de mano con la opción de "oprimir para hablar" que ofrecen una flexibilidad total al sistema.

La introducción de la tecnología digital de radiocomunicación en WLL ha ofrecido ventajas claras; sin embargo, existen todavía casos en que se prefiere el servicio analógico para servicios de bajo costo, de un punto a otro y de un punto a puntos múltiples.

Con las señales digitales, existen codificaciones automáticas para impedir que terceros escuchen indebidamente. Sin embargo, los sistemas avanzados ofrecen opciones para un encriptador enchufable cuando es necesario cuidar la privacidad.

Las tecnologías avanzadas han permitido la introducción de nuevos sistemas digitales punto a punto que utilizan solamente la separación de canales de 25 kHz en el espectro VHF y UHF y permiten la transferencia de 19.200 bps de datos. Esto, en combinación con las nuevas tecnologías de compresión de voz y multiplexión, permite la combinación de dos canales de voz y un canal de datos para que los tres canales puedan ser enviados por una señal RF duplex. Los tres canales (2+1 voz y datos) permiten el uso simultáneo de dos canales de voz de 6.400 bps y un canal de datos de 4.800 bps. La compresión de voz a 6.400 bps todavía tiene calidad para larga distancia y permite la transmisión de fax del Grupo 3 a 4.800 bauds. Los sistemas que pueden operar con una banda más ancha, de 100 kHz, están disponibles para la transferencia de datos a 6.400 bps, permitiendo el uso simultáneo de dos líneas independientes de voz y/o fax, a 9.600 bps y el uso de datos en el tercer canal, también simultáneamente, a 19.200 bps. Esto permite que un solo enlace de radio punto a punto ofrezca una línea telefónica 100% dedicada, más una segunda línea dedicada a fax y una tercera línea de datos que se puede utilizar para un acceso inalámbrico a Internet.

La combinación de tecnologías para satisfacer las necesidades del carrier y de los clientes es la mejor manera de atender los requerimientos WLL actuales y a futuro.

## CAPÍTULO VII

### APLICACIONES ALTERNAS.

#### SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTE.

El crecimiento de la computación y de las comunicaciones en la infraestructura del transporte es conocida como Sistemas de Transporte Inteligente (ITS, *Intelligent Transportation Systems*). En el año de 1996 comenzaron los cambios en la implementación de los caminos inteligentes. ITS se llamó previamente Sistema de Vehículos de Caminos Inteligentes (IVHS, *Intelligent Vehicle Highway Systems*). En las dos fases iniciales del programa se proyecta y define la arquitectura ITS.

En los caminos inteligentes se conjuran visiones de carros conducidos por si solos, posicionándose y comunicándose con vehículos cercanos, o asistencia a los conductores mediante mapas electrónicos del camino y dirección por turnos. Cálculos en la Universidad de Michigan proyectan de manera conservadora que un 10% de los autos estarán equipados con estos sistemas de navegación en el año 2005.

ITS es una oportunidad que tienen los operadores PCS de construir redes exteriores. Los departamentos de transporte en E. U. tienen la capacidad de cubrir más de un 90% del tráfico de la ciudad en los servicios celulares; y requieren de la infraestructura inalámbrica de comunicación de datos para ITS. Los proveedores PCS tienen el espectro necesario y buscan la construcción de la infraestructura inalámbrica; requieren rápidamente sitios en las metrópolis para empezar con los servicios básicos, negociados preferentemente con una sola fuente.

Con la telemetría inalámbrica en la operación de los vehículos comerciales se comunica la cantidad de carga, esto mediante un rastreo cuando se cruzan las líneas estatales.

En áreas amplias es común encontrar el posicionamiento y transmisión de datos para flotas de transporte y vehículos de emergencia, por ejemplo en los carros de la policía. Los puntos fijos de la infraestructura inalámbrica son un segmento importante. Por ejemplo, en E. U. el programa MONITOR regresa a la localización central el monitoreo del tráfico de datos. CDPD es recomendada para aplicaciones de telemetría.

Existen programas como RAPID, que despliegan capas de pruebas a los Sistemas de Datos de Transmisión de Radio (RBDS, *Radio Broadcast Data System*) para el tráfico de los mensajes de alerta. Este y otros proyectos muestran que las telecomunicaciones son el tronco de ITS. La arquitectura ITS requiere sistemas inalámbricos de banda ancha de vehículo a vehículo, y comunicaciones inalámbricas de rango corto para líneas (debajo de los 200 pies).

Con relación a las normas que se toman como base para la construcción del framework de la Infraestructura de Transporte Inteligente (ITI, *Intelligent Transportation Infrastructure*), se calcula que las especificaciones de la norma ITS están terminadas en un 95 % (agosto 1996).

El framework ITS está dividido en nueve categorías, y define cambios individuales que cada categoría necesita proporcionar. En la fig. 49 se observa el flujo de datos entre las componentes conceptuales ITI.

El problema de las normas en la industria es cada vez más pronunciado en las interfaces aéreas.

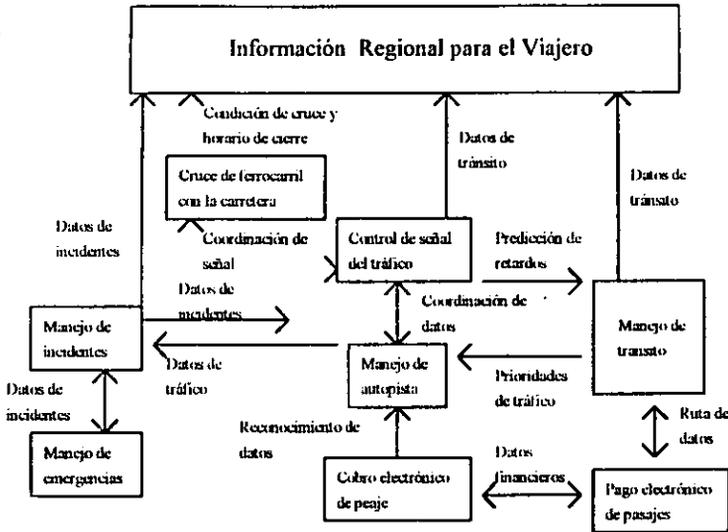


Fig. 49 Transferencia de componentes y datos dentro del framework ITI.

Existe un rompimiento del ITS comercial con los fabricantes de vehículos. Por ejemplo las Unidades de Rescate Satelital de Emergencia Remota (RESCUE, *Remote Emergency Satellite Rescue Unit*) son sistemas de mensajes de emergencia y están disponibles en el modelo Lincoln Continental 1996. RESCUE combina el teléfono celular montado en el vehículo con GPS. Oprimiendo el botón, RESCUE marca el número de emergencia/asistencia apropiado, enviando la localización del vehículo mediante el teléfono celular, y se conecta en modo automático. Existe un gran potencial para establecer directamente la instalación de un chip GPS en el teléfono celular del vehículo. Las aplicaciones para la transmisión GPS sobre celular son diversas, por ejemplo: en turismo puede ofrecer rutas guía e información de los puntos locales de interés, acceso local a las paginas amarillas, e información en base a la localización de los usuarios. La investigación se encamina a eliminar la necesidad de integrar el chip GPS, en su lugar se busca utilizar una triangulación celular para determinar la posición del vehículo.

**LOCALIZACIÓN DE ONDAS MILIMÉTRICAS DE ESPECTRO.**

Como paso importante para el desarrollo de la industria ITS en E.U.; la FCC ha establecido las reglas para la operación de sistemas de vehículos radar en la "onda milimétrica" arriba de los 40 GHz. Hasta hace poco la tecnología de ondas milimétricas era utilizada únicamente por la comunidad científica y militar.

Los vehículos de radar están diseñados para dar al conductor advertencias audibles y visibles de objetos que se encuentran frente a ellos u objetos que ellos no pueden observar claramente. Esto puede reducir el número de colisiones en un 50% o más. Otras aplicaciones que también son posibles en los sistemas de vehículos radar incluyen control de cruce inteligente (el cual mantiene

una distancia fija entre los coches), freno automático, guía de posición de tierra, y despliegue de bolsas de aire para impactos.

Sin embargo, algunos de los primeros sistemas que utilizaban frecuencias debajo de los 40 GHz (como la frecuencia del radar de la policía) no eran confiables (encendido de alarmas cuando pasaban por árboles o señales de tránsito). Los sistemas utilizando tecnología de ondas milimétricas por otra parte, son capaces de distinguir de manera confiable los objetos peligrosos, ofreciendo por lo tanto que las señales de falsas alarmas se reduzcan. Aunque el uso de la tecnología de ondas milimétricas es algo limitada debido a su rango relativamente pequeño -unos cuantos kilómetros- y a su susceptibilidad a las condiciones climáticas, en la mayoría de las aplicaciones de vehículos radar que involucran la detección de objetos a distancias relativamente cortas, estas limitaciones no son un problema.

La FCC ha localizado dos bandas de ondas milimétricas específicamente para los sistemas de vehículos radar, y una tercer banda para uso sin licencia.

#### **BANDA DE 46.7 A 46.9 GHz.**

En respuesta a las solicitudes recibidas, la comisión estableció una banda de 200 MHz, en esta banda el doble de frecuencia puede utilizarse con la tecnología existente en los 24.125 GHz (radar de policía). Usando la tecnología existente, la FCC espera que las compañías puedan desarrollar rápidamente los sistemas de vehículos radar.

#### **BANDA DE 76 A 77 GHz.**

Para estimular la economía de escalas y desarrollar el mercado de exportación, la FCC asignó la banda total a los sistemas de vehículos radar. Además, ésta localización de un espectro completo de gigahertz permite que los vehículos radar utilicen más el ancho de banda, incrementando la resolución y exactitud de los sistemas.

Debido a la seguridad inherente que concierne el uso del espectro para los sistemas de vehículos radar, la FCC ha propuesto temporariamente restringir el uso a aficionados de esta banda, hasta que los criterios de división estén desarrollados completamente.

#### **BANDA DE 59 A 64 GHz.**

Las aplicaciones posibles para esta banda incluyen caminos de comunicaciones, LAN inalámbricas, y enlaces de campo. La densidad de potencia máxima para los servicios sin licencia que se fijan a tres metros fue de  $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , la FCC observó que los dispositivos en los equipos de usuario en particular, pueden requerir potencias reducidas o escudos protectores para satisfacer las normas de seguridad aplicables en radio-frecuencia.

La densidad de potencia para los sistemas de búsqueda adelantada (forward-looking) se elevaron a  $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  para una distancia de 3 metros; mientras que para los sistemas de búsqueda posterior (rear-looking) la FCC adoptó  $30 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

## APLICACIONES.

**Control de señales de tráfico:** Señales que pueden adaptarse a los cambios según las condiciones del tráfico, para mejorar el flujo. De manera básica las luces de tráfico pueden adaptarse dependiendo del tiempo promedio del día y carga de tráfico del día de la semana. Una señalización más avanzada puede utilizar sensores de tráfico, coordinados con otras señales del área, controlados automáticamente mediante estadísticas del flujo de tráfico en tiempo real o mediante una intervención manual desde un centro TMC (*Traffic Management Control*) en casos de emergencia.

**Manejo de autopistas:** Información en tiempo real sobre el tráfico en la autopista y las condiciones del camino. La dirección pro-activa de las carreteras puede utilizarse para tener reportes del mantenimiento mediante el video y monitoreo de la autopista, los cuales se realizan mediante radares. La información almacenada puede utilizarse para controlar otras componentes ITI, de la misma manera que las señales de tráfico controlan la tasa a la cual los vehículos están asignados en una carretera.

**Manejo de tráfico:** Hacer más eficiente y amigable el transporte público en los cambios, localización automática de vehículos, voz, acceso a los servicios de comunicación de datos estando en movimiento y automatización de diagnóstico. Un despachador con acceso a la localización puede supervisar las acciones correctivas, despachar a los vehículos, y enviar información sobre posibles retardos a los pasajeros y estaciones de tránsito.

**Manejo de incidentes:** Con respuestas rápidas además de salvar vidas, se pueden reducir los retardos de tráfico. Al incrementar la vigilancia de los caminos, un TMC gana rapidéz, datos exactos acerca del incidente, y puede localizar apropiadamente los servicios de emergencia y grúa al lugar. El uso de mapas de navegación auxilia a los equipos a llegar al lugar del incidente.

**Pago electrónico de pasajes:** El uso de tarjetas inteligentes para pagar electrónicamente las cuotas de tránsito (transporte público, estacionamiento) elimina la necesidad de que los viajeros lleven el cambio exacto. Estos servicios pueden utilizar tarjetas de débito, y almacenar el valor en las tarjetas.

**Cobro electrónico de peaje:** El cobro de impuestos puede consistir en el pago de tarjetas, o unidades de comunicación montadas en los vehículos. En las aplicaciones inalámbricas, el vehículo podría ser una estación de impuestos que a una velocidad razonable, registre la transacción, esta puede incluir datos de identificación del vehículo.

**Cruces al nivel de una línea ferroviaria:** Las intersecciones de camino/ferrocarril son tratadas como casos específicos, debido a la velocidad de los trenes y a su inhabilidad de detenerse rápidamente. Los sistemas de seguridad son utilizados para mejorar y automatizar las advertencias, y controlar los trenes a través del sistema de despacho central.

**Manejo de los servicios de emergencia:** Los vehículos de emergencia tendrían la capacidad de controlar las señales de tráfico y por lo tanto tener caminos con tráfico diferente. A través del uso de posicionamiento de vehículos y herramientas de navegación, los vehículos pueden ser rastreados todo el tiempo y despachados de manera efectiva a localizaciones cercanas.

**Información regional para el viajero:** Proporcionar información oportuna al viajero para mejorar el manejo de tráfico, permitiendo que los vehículos se redireccionen, evitando así los congestionamientos.

## CAPÍTULO VIII

## COMUNICACIONES INALÁMBRICAS EN MÉXICO

Las telecomunicaciones poseen la extraña característica de la ubicuidad: se les encuentra en todas partes. Los servicios y los productos que este sector promueve son crear la sensación de que se puede estar en varias partes del mundo, al mismo tiempo.

Las empresas de telecomunicaciones mantienen un lugar relevante en la economía -en los últimos años en México, este sector ha crecido a un promedio de 40 % (1996)- y constituyen un elemento clave para la viabilidad de los más diversos negocios: empresas de mensajería, transporte, medios de comunicación, entretenimiento y banca, entre muchos otros. En la tabla 15 se muestran las inversiones que se han realizado en las telecomunicaciones en América Latina.

Pais	1994	1995
México	7978	6984
Chile	2518	3021
Mercosur*	4622	9159
Andean**	5308	2795
Centro América y el Caribe	804	573

\*Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay

\*\*Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru, Venezuela

Tabla 15 Inversión extranjera directa en telecomunicaciones en millones de dólares

Es tan dura la lucha que se libra en el ámbito de las telecomunicaciones, que las compañías más grandes del mundo ya se disputan franjas de una banda para cuyo aprovechamiento no existe aún la tecnología. Mientras, los países, en ejercicio de su soberanía, les asignan anticipadamente usos y atribuciones.

Hoy la batalla principal se está llevando en una parte muy pequeña del espectro, aquella que está entre los 1400 y 1700 MHz y que se refiere a la comunicación móvil terrestre, con extensiones en radiodifusión fija y enlaces satelitales.

Se trata de una zona suficientemente elevada como para hacer factible la comunicación a través de distintos sistemas de tecnología inalámbrica (celulares, PCS, etc.). La longitud de onda no tiene aquí problemas de atenuación por la lluvia, evitándose con ello algunas de las dificultades típicas de la comunicación a través de cable o de microondas.

Según un estudio realizado por la firma ITC (*International Technology Consultants*) para Motorola, el mercado mexicano de celulares y comunicaciones inalámbricas ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos 4 años y la curva aún sigue en ascenso. Entre los cinco más grandes del mundo y como uno de los más competidos, el valor del mercado de equipos celulares podría pasar de \$390 millones de dólares en 1994 a \$640 millones de dólares en 1998, mientras que el número de usuarios ascendería de 500,000 en 1995 a 1.3 millones en 1997.

En México se envían alrededor de 300,000 mensajes cada día, una cantidad mínima comparada con los millones que se generan en otros lugares como Estados Unidos y el Sudeste Asiático. El periodo en el que las telefonistas de los servicios de paging tienen más trabajo, por lo general, es el que se extiende de 9 am. a 1 pm, desciende un poco a la hora de comer y vuelve a aumentar entre las 4-6 pm para reducirse conforme oscurece. Esto durante la semana laborable. Los viernes, días de quincena, o cuando ocurren eventos políticos y financieros el volumen de llamadas también aumenta, pero disminuye en los periodos vacacionales.

Una peculiaridad importante que marca el abismo entre el mercado mexicano y el de otras naciones, es que mientras la inmensa mayoría de los estadounidenses prefieren radiocalizadores numéricos, aquí casi todos los aparatos son alfanuméricos (85%).

Esto es probablemente atribuible a que en cualquier país desarrollado lo más fácil es tomar un teléfono y comunicarse, mientras que en México es preferible saber de una vez el recado para no tener que hablar por teléfono. En la Tabla 16 se pueden observar los porcentajes de ocupación en América Latina.

Pais	Líneas de usuarios (en millones)	Porcentaje de ocupación
Argentina	4834.10	14.14
Bolivia	234.40	3.32
Brasil	12,927.2	8.12
Chile	1545.10	11.00
Colombia	3518.00	9.68
Costa Rica	430.00	13.01
Ecuador	658.10	5.87
El Salvador	235.70	4.18
Guatemala	245.10	2.37
Honduras	131.20	2.39
Jamaica	250.50	10.04
México	8492.50	9.25
Nicaragua	85.30	1.99
Panamá	287.30	11.11
Paraguay	173.00	3.58
Peru	772.40	3.31
Trinidad/Tobago	203.80	15.78
Uruguay	582.10	18.38
Venezuela	2324.20	10.92

Tabla 16 Estadísticas de porcentaje de ocupación en América Latina (1996)

Hoy existen en el país alrededor de 250,000 usuarios de pager (en 1993 el 95% de los usuarios eran hombres, mientras que en 1996 el 70% era utilizado por hombres), lo que podría parecer un número pequeño comparado con el de los teléfonos celulares (700,000 aparatos en 1996), sobre

todo si se considera que los celulares llegaron a México hace ocho años, mientras que los radiolocalizadores han estado presentes mucho más tiempo.

Sin embargo, si se compara esa misma cifra con el número de usuarios que había hace cinco años, se descubre que el mercado de los radiolocalizadores se ha triplicado (1996). Pese a esto, en México no se piensa manejar el pager bidireccional antes de 1998 ó 1999, ya que se necesita cambiar la infraestructura actual y que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) defina las reglas que normarán el servicio.

Se advierte sin embargo, que las radiocomunicaciones personales deberían estar ya más desarrolladas, pero el mercado es aún muy pequeño.

Deben privilegiarse fórmulas un poco más adaptadas a México, que permitan instrumentar sistemas de interconexión para optimizar y eficientar los servicios alámbricos e inalámbricos fijos y móviles. Se deben desarrollar tecnologías que permitan incrementar la base telefónica local mediante la interconexión de sistemas alámbricos e inalámbricos, sin descuidar los mercados de nicho ni el desarrollo de tecnologías para usos más restringidos.

En México existe la tecnología para conectar o enlazar sistemas diferentes, (celulares, beepers, teléfonos caseros, computadoras, etc.), por ejemplo, a través de una PC y un módem con antena se pueden acceder canales que permiten conectarse a una línea celular. Ya que la expansión telefónica del futuro en México será inalámbrica, tiene que haber un equilibrio entre los distintos tipos de telefonía, o por lo menos tender hacia él.

En el año 2000 se deberán instalar por lo menos unos ocho millones de líneas telefónicas nuevas que colocarían a México en un índice de país más o menos desarrollado en este aspecto, con unas 16.5 líneas telefónicas por cada 100 habitantes. Esas líneas, estiman los expertos, deberán ser seis millones residenciales y dos millones comerciales y, para conseguirlo, sólo será posible mediante la aplicación de tecnologías que no signifiquen abrir calles y banquetas, esto es inalámbricas, y con tarifas más bajas a las actuales.

Existe una gran disparidad entre las zonas rurales y urbanas; más de 9000 comunidades rurales no cuentan con el servicio básico. Para solucionar esto la SCT desarrollo un plan de cinco años para proporcionar al menos un teléfono por cada comunidad con más de 100 habitantes. Como parte del programa Telcel esta autorizada a proporcionar 9500 teléfonos celulares a las comunidades rurales antes de que termine 1997, y Iusacell esta autorizado a conectar 2345 comunidades a su red celular. En la tabla 17 se pueden observar el número de usuarios celulares en América Latina.

País	1995	1997	2000
Argentina	0.4	1.0	2.1
Brasil	1.3	4.5	9.8
Chile	0.2	0.5	0.9
Colombia	0.3	0.8	1.8
México	0.7	1.3	2.1
Venezuela	0.5	0.7	1.5
Otros	0.1	1.0	1.6
Total	3.5	9.5	19.8

Tabla 17 Usuarios celulares en América Latina (en millones)

En México los operadores que quieren operar en una parte del espectro, buscan alianzas tecnológicas con los carriers: entre los principales operadores de redes inalámbricas de telecomunicación están Iusacell, AT&T, Avantel, Unicom, y Telmex a través de Telcel, entre otros, contando en prácticamente todos los casos con productores aliados, por ejemplo: Motorola, NSK, Toshiba, etc.

El retorno de una inversión es más pronta en larga distancia que en telefonía local, por eso es aquí donde se han dado las primeras concesiones. No obstante, hay empresas que están muy interesadas en promover servicios inalámbricos más baratos, como los radiolocalizadores, y demás, y buscando combinarlo con celulares y con otros sistemas, para darles mayor valor agregado.

La interconectividad de los sistemas depende de la posibilidad de enrutar la comunicación de un sistema a otro, incluso cuando estos hablan lenguajes distintos.

Antes la ley en México era un poco discrecional y eso ha sido uno de los factores principales que han generado más confusión en cuanto al uso del espectro. Hoy la subasta es abierta, a cualquier postor, de acuerdo con ciertos requisitos.

El espectro radiomagnético es un bien común y el Estado debe administrarlo, controlarlo y verificar su uso adecuado. El que quiera actuar dentro del espectro tiene que pagar por eso y los precios dependen al final de cuentas del juego de la oferta y la demanda.

Una vez que alguien usa una banda tiene que compartirla de alguna manera. Al principio, las bandas tenían mucho lugar, pero conforme se han ido creando nuevos sistemas, resulta cada vez más difícil acomodar a otros, porque las bandas tienen capacidades limitadas; por eso ha ido creciendo poco a poco hacia las partes altas del espectro, ya más próximas a la frecuencia de la luz, y va a llegar un límite en el que esa franja habrá que compartirla.

Cómo se asignan usos a una frecuencia o banda es algo hasta cierto punto arbitrario. Responde en parte a convenciones internacionales (que las grandes potencias tecnológicas, como Japón, Europa y Estados Unidos, suelen acatar sólo tangencialmente), pero también al interés nacional o, más francamente, al de los grupos de industriales que operan masivamente en la región.

En este sentido, hay un estándar internacional para cada atribución, pero los países se toman la libertad de hacer ligeras variantes, a veces significativas. Existen ciertas condiciones:

- \* características técnicas,
- \* el peso de los grupos productores de equipo en la región,
- \* la escala del mercado al que se piensa llegar,
- \* la tecnología con la que se cuenta,
- \* la existencia de operadores que la quieran explotar, etc.

Manejos en la geografía y la economía Norteamericana, sin un desarrollo tecnológico propio y suficiente, con una base de mercado relativamente reducida no tanto por su tamaño, como por su poder adquisitivo, sería absurdo no alinearlos a la norma Norteamericana en materia de telecomunicaciones y desarrollar una propia o asumir la de otras regiones. Si el objetivo es lograr economías de escala, entonces el camino es el empleo de la norma regional.

Hay riesgos como por ejemplo, el de quedarse amarrado a una tecnología o a un carrier. Pero esto suele ser temporal. Siempre se puede abrir espacio a otros, y dar o revocar concesiones; al principio hay un solo jugador y poca demanda. Pero cuando la demanda empieza a crecer, surgen nuevos jugadores y entonces entra en escena un nuevo juego de negociaciones.

A continuación se detallan algunas aplicaciones que ya están en uso o se utilizarán en el corto plazo:

- \* Ya se venden en México monitores cardiacos integrados a un teléfono celular. Si el equipo detecta alguna anomalía en el usuario, activa una alarma y lanza una llamada de emergencia al centro médico para garantizar que el paciente reciba asistencia inmediata. Otro sistema similar se instala en los automóviles; si alguien pretende robarlos, el teléfono celular envía un mensaje pregrabado al propietario, sea a otro teléfono o a un número pager.
- \* Existen en México localizadores que permiten seguir en todo momento el derrotero y la ubicación de camiones y autobuses. Son útiles para monitorear el trabajo de repartidores y localizar unidades robadas o desviadas.
- \* En el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey se ha creado la rectoría de la Universidad Virtual, y se espera que para el año 2005 tendrá inscritos a unos 100,000 estudiantes en todo el país y el extranjero. No será necesario construir nuevas instalaciones porque pocos estudiantes irán al campus a tomar clases. Estas se transmitirán por sistemas de televisión y los interesados las solicitarán bajo el sistema pay per view. Los estudiantes tomarán otras clases desde donde deseen y a la hora que les resulte cómodo a través de Internet o por telefonía celular.

En lo que respecta a la educación en el campo de las telecomunicaciones, los aspectos técnicos necesarios deberán incluir:

- \* Tecnologías de telecomunicación, tecnologías prevaletientes, operaciones de telefonía, e introducción a los métodos de transmisión de voz, datos y video.
- \* Diseño de redes de comunicación de área ancha con introducción a la topología de las redes WAN, GAN (*Global Area Network*), y MAN, teoría de conmutación; diseño y optimización de redes, protocolos, arquitectura, modulación, frame relay, multiplexaje, y estándares industriales;
- \* Diseño y configuración de LAN, examinando la topología de LAN, hardware, software, interconectividad, protocolos, estándares, y sistemas de operación LAN;
- \* Sistemas móviles e inalámbricos de cobertura digital, satélites, transmisión móvil, diseño y despliegue de la tecnología de video, celular, radio y microondas;
- \* Análisis del funcionamiento de una red examinando la dirección del tráfico y análisis de cargas; control de flujo, teoría de retardos, técnicas de simulación de carga en las redes, y análisis estadístico.

Los técnicos en telecomunicaciones con una educación y entrenamiento en estas áreas tienen un papel significativo en las organizaciones modernas, ya que son los proveedores del servicio de telecomunicaciones.

Existen escuelas con un pensamiento nuevo sobre la educación individual, y han incluido cursos para direccionar los aspectos gerenciales de las telecomunicaciones. Estos cursos caen dentro de las categorías siguientes:

- \* Tecnología como fuente corporativa. Análisis comparativo de como las organizaciones han manejado a la tecnología para tener una ventaja competitiva;
- \* Manejo y adquisición de tecnología. Financiamiento, contratos, manejo de las licencias de software, valor de depreciación, riesgos de manejo, y seguros;
- \* Regulación y resultados sociales. El impacto de las regulaciones del gobierno y legislaciones orientadas al costo y al uso de la tecnología;
- \* Manejo de los recursos humanos. Contratación, entrenamiento, desarrollo de apoyo, control de costos y análisis, y aspectos legales en el manejo del personal;
- \* Manejo de servicios. Control de calidad, relaciones internas con los clientes, educación y entrenamiento a los usuarios;

- \* Políticas corporativas y cambios. Comportamiento humano, resistencia al cambio, desarrollo organizado, y cambio de técnicas.

El contenido de estos cursos llegará a ser una norma en varias universidades que incluyen de manera agresiva estos aspectos interdisciplinarios del manejo de la tecnología dentro de su curricula de telecomunicaciones. Esto llevará a hacer un puente entre la tecnología y su manejo, y ciertamente tendrá impacto positivo en la calidad de los graduados de los programas de telecomunicaciones.

Pero esto es solamente la mitad de lo que las universidades deben hacer para educar a los futuros directores y aumentar la inversión en la tecnología. El reto siguiente será educar a los estudiantes en programas de maestría en la administración de negocios, sobre el rol e impacto de las estrategias de telecomunicaciones e información de la tecnología.

Sin embargo, existen pocos instructores que conocen ambas disciplinas y su funcionalidad en los negocios y su organización en el soporte de la tecnología como en los sistemas de telecomunicaciones e información.

Muchos de los graduados de las escuelas no tienen la capacidad de integrarse en el proceso de los negocios ya que cuentan solamente con la literatura. Las universidades tendrán que buscar estrategias que les permitan tener alianzas con los proveedores de la tecnología. Estas alianzas pueden traer experiencia y recursos físicos de los proveedores de tecnología a los estudiantes.

## CAPÍTULO IX

## ESTRATEGIAS PCS.

Existen actualmente cuatro retos a los cuales deben enfrentarse los poseedores del espectro PCS:

1. Obstáculos para desplegar la infraestructura de microcélulas, la cual requiere de más torres que el celular.
2. Obstáculos en el suministro voluntario del espectro por los poseedores actuales de licencias.
3. Mercadeo, particularmente los factores que convencerán al público de que PCS es mejor que celular.
4. Economía viable, esto es, cómo PCS compite con celular sin una guerra de precios.

Los operadores de PCS trabajan actualmente en la toma de elecciones básicas, respecto a como competir contra los operadores de celular y contra los demás operadores PCS.

Los operadores de celular tuvieron costos iniciales más bajos que los de PCS. Esto se debió a tres aspectos:

- \* no tuvieron que pagar grandes gratificaciones por las licencias,
- \* no tuvieron costos de relocalización del espectro, y
- \* fueron capaces de poner a prueba sus inversiones para evolucionar a sistemas con carga completa

Los carriers PCS por otra parte pueden tomar las ventajas que ofrece la tecnología digital, en la cual se estima un costo de un tercio a un cuarto del costo de los sistemas analógicos actuales, cuando se tenga carga completa. El reto será tener una carga completa y un despliegue suficientemente rápido.

En una encuesta realizada en E. U. por los carriers de PCS, cerca de la mitad de los encuestados cree que las licencias para PCS deben seguir intentando penetrar el mercado (fig. 50).

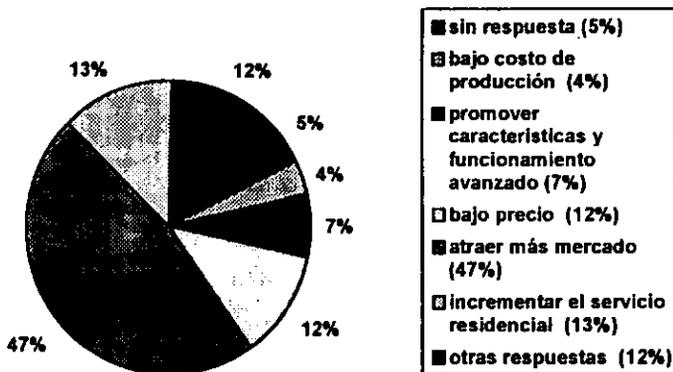


Fig. 50 La mitad de las respuestas se enfocaron en que la mejor manera de competir es atraer el mercado celular.

Los operadores celulares no se enfocan actualmente en los costos del mercado. PCS necesita construir redes menos costosas, tomando todas las ventajas que la tecnología digital ofrece. Para reducir la cantidad de la inversión inicial, los carriers PCS deben establecer sitios de células en lugares de densidad elevada, como lo son las ciudades y las áreas de tráfico elevado.

Para ofrecer un servicio completo que incluya roaming, los operadores PCS requieren establecer acuerdos con los operadores de celulares. Estos acuerdos son una espada de doble filo para los operadores celulares. Por una parte son rentas adicionales. Las compañías de celular han establecido sitios en áreas de densidad baja. Estos sitios son subutilizados y el tráfico adicional de los usuarios PCS ofrecerá rentas sin un costo adicional. Por otra parte con la firma de los acuerdos intercarriers, el celular ayuda a su competidor a que robe mercado dividiendo y construyendo sus propias bases de clientes.

El mercadeo, abastecimiento y costos de operación para los servicios inalámbricos son muy elevados, por lo que los carriers PCS tendrán que reducirlos.

El 12% de los encuestados cree que PCS debe competir directamente contra los operadores celulares por los mismos clientes, con características y funcionamiento comparables, pero a un precio menor.

Un grupo pequeño de los encuestados 13%, cree que PCS debe establecerse como remplazo o sustitución de los servicios inalámbricos residenciales. El éxito de los carriers PCS dependerá de llevar servicios estándar a un segmento nuevo de usuarios de la tecnología inalámbrica.

Los consultores de la industria estuvieron sorprendidos de que la mayoría de los encuestados no seleccionó competir directamente contra los operadores celulares a un mismo precio, sino que se enfocaron en el uso de la tecnología. Se han realizado investigaciones extensivas por parte de los carriers respecto a los costos, sin embargo, las innovaciones en el uso de la tecnología y el rediseñamiento de los procesos de negocios no han sido explotados totalmente. Existen pruebas, y soluciones con riesgos mínimos que permiten que el capital y el costo de operación sea bajo. Se trabaja también con miembros de la comunidad celular para trazar estrategias y arquitecturas que lleven a tomar las ventajas de este ahorro.

**Respuesta celular:** En respuesta a la competencia PCS, un tercio de las decisiones de los operadores celulares indican que la comunidad celular protegerá a sus clientes base acelerando inversiones en la tecnología digital (fig. 51). Esta táctica conducirá a reducir costos en la entrega de servicios inalámbricos y deberá ser capaz de establecer características nuevas, tales como extensión en la vida de la batería y mensajes cortos. Esto acelerará la posibilidad de utilizar a lo inalámbrico como sustitución de los servicios residenciales de línea. Con la tecnología de las microcélulas los clientes podrán utilizar seriamente al celular/PCS como remplazo de los teléfonos de las casas.

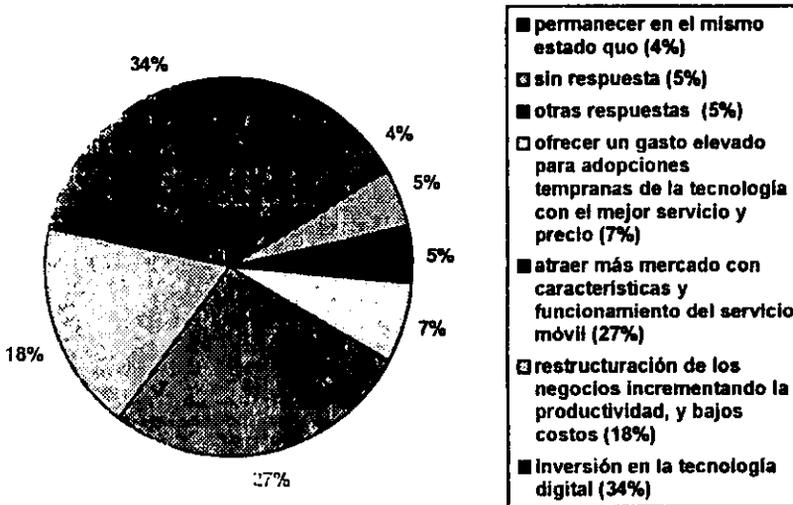


Fig. 51 Cerca de 1/3 de las respuestas predicen que celular protegerá a sus clientes acelerando las inversiones en tecnología digital.

El 20% de los encuestados cree que los carriers de celular reestructurarán y rediseñarán el proceso de sus negocios, mejorando la tecnología de información, reduciendo costos de operación.

PCS será capaz de ofrecer una variedad de aplicaciones, como paging bidireccional de mensajes, paging de voz, y E-mail. En estas encuestas se observan claramente las características que los carriers PCS deben ofrecer para ser competitivos. Las características mínimas establecidas incluyen:

- \* soporte de roaming,
- \* cobertura interior extensiva,
- \* velocidad hand-off elevada,
- \* equipos de usuario con un precio bajo, y
- \* extensión en la vida de la batería

El 60% indicó que el soporte de roaming era vital para el éxito de los ofrecimientos PCS (fig. 52). El roaming será un reto para los carriers PCS; estos no han estandarizado las interfaces técnicas, incrementando el costo a los usuarios y el equipo de infraestructura. Si los carriers PCS establecen acuerdos de roaming con los carriers de celular, necesitarán cargar los costos de la banda dual mode/dual de equipos de usuario para que ambos puedan manejar el tráfico PCS y el tráfico celular de 800 MHz. Los operadores celulares tienen la ventaja de estándares técnicos comunes, facilitando los acuerdos de roaming nacional. Sin embargo, las estrategias seguidas podrían permitir a unos cuantos carriers celulares migrar hacia la tecnología digital.

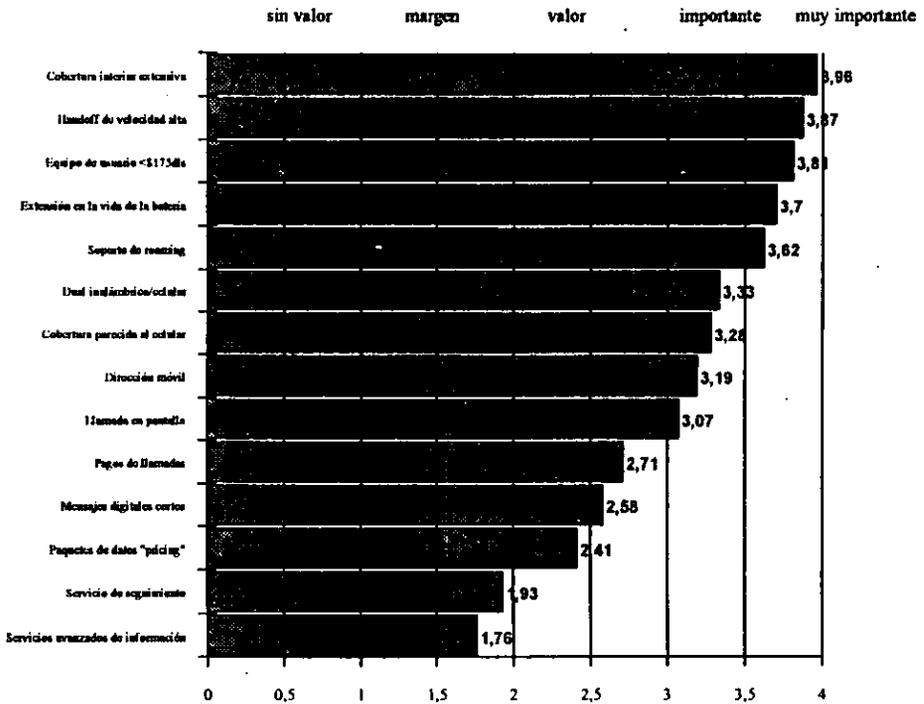


Fig. 52 Características de importancia que los carriers PCS pueden ofrecer.

La cobertura interior extensiva y la velocidad hand-off son características vitales para un 70% de los encuestados.

La última característica de importancia fue la extensión de la vida de la batería. El 65% indicó que la extensión de la vida de la batería, debe ser mayor a 8 horas para hablar y 5 días en standby.

## INFRAESTRUCTURA.

Una prueba que PCS enfrenta se localiza por ejemplo en el área de Washington, D. C. El servicio lo ofrece American Personal Communications Inc. (APC), en asociación con Sprint Corp. PCS combina la telefonía inalámbrica, paging y servicios de correo de voz; y Bell Atlantic y SBC Communications empezarán con la segunda red PCS cubriendo Washington-Baltimore. Ericsson, Nokia, y Motorola proporcionan los equipos de usuario PCS a un costo de \$150 a \$200 dólares, los cuales cuentan con un ID de usuario, que permite a los usuarios hacer otras operaciones mientras se contesta la llamada o permite que vayan al correo de voz; además el paging se construye dentro de los equipos de usuario.

Se estima que se necesitan construir 100,000 sitios en E. U. en los próximos tres años, comparados con los 20,000 ya establecidos que operan, para ofrecer el servicio celular. Cada sitio PCS cuesta entre \$200,000 y \$300,000 dólares.

El primer paso hacia la implementación fue la terminación de las subastas de la FCC para el espectro PCS.

PCS tiene tecnología "broadband" que le permite ofrecer características inteligentes que incluyen:

- \* cobertura nacional,
- \* roaming,
- \* servicios de datos,
- \* paquetes inalámbricos,
- \* cambio local,
- \* larga distancia, y
- \* servicios de cable

No solamente se prevén teléfonos portátiles, sino también máquinas portátiles para fax y computadoras laptop.

Se espera que cada miembro de una familia compre una unidad PCS. Un número telefónico personal, asignado de por vida, hará que cada persona pueda ser localizada en cualquier lugar y en cualquier instante. El equipo de usuario puede ser programado para llamadas en pantalla, tomar correo de voz, direccionar datos a faxes y a laptops, y poder decir cuando el usuario no está disponible. Los pagers podrían en teoría ser remplazados por los teléfonos PCS.

Para PCS, los equipos de usuario son más costosos y tomará tiempo que este costo descienda debido a la existencia de tres estándares digitales, los cuales disminuyen la posibilidad de una producción en volumen. El equipo de usuario será más grande y pesado particularmente para terminales multimodo que funcionan en paging y datos.

Cuando PCS alcance su florecimiento en E. U. (1997), existirían aproximadamente siete competidores por cada área de servicio, los cuales ofrecerían 50 veces más la capacidad inalámbrica y se tendrían más de 50 millones de usuarios celulares.

Existen dos estrategias que según los poseedores de PCS harán que este sea no solamente viable, sino que también sea capaz de entregar cambios en las facetas de telecomunicaciones.

- \* ventas.
- \* reemplazar el servicio de las líneas residenciales

En el concepto de ventas se tiene una técnica para canalizar el mercado existente. El objetivo es "plagiar" a los usuarios del celular que quieren un servicio de uso amigable y una competencia de precios. Una segunda clave será que los clientes que no tienen celular puedan ser seducidos y compren su primer servicio de telefonía inalámbrico-portátil.

La clave será la capacidad de emisión de PCS, particularmente la manera en que se usa esta capacidad digital para soportar servicios nuevos con tecnología de punta. Esto permitirá que PCS ofrezca paquetes de servicio que combinen voz con varias opciones, incluyendo:

- \* mensajes,
- \* transmisión de imágenes,
- \* conexión de redes de área local, y
- \* servicios de información (E-mail, Internet)

El escenario para reemplazar el servicio de línea residencial con PCS involucra un tiempo muy grande. El éxito central es la portabilidad del servicio PCS, que se hace posible mediante el número telefónico personal universal.

La adición que lleguen a tener los usuarios PCS por los teléfonos es crítica, así como lo es el proporcionar precios accesibles y características de uso sencillas. La línea de conexión física puede llegar a ser obsoleta, o será utilizada en otras aplicaciones (principalmente en los hogares). Entre los años 2001 y 2005, el servicio celular/PCS tendrá una penetración en el mercado del 40% o mayor, debido a que los servicios inalámbricos de voz llegarán a ser una alternativa tan viable como los servicios de telefonía fijos.

Para los directores de las corporaciones, las decisiones no se tomarán hasta que el celular sea dejado atrás en términos de funcionalidad y precio.

Según Forrester Research, los 5 competidores más grandes en la arena PCS son:

- \* AT&T,
- \* PCS Prime Co,
- \* Sprint,
- \* GO!, y
- \* MCI

## CAPÍTULO X

### SWITCHING (CONMUTACIÓN).

La investigación realizada por los carriers (proveedores) deja errores pequeños en la selección del equipo y de la tecnología, en la competitiva industria inalámbrica. Instalar el switch equivocado puede hacer la diferencia en la línea base y el regreso en la investigación, mediante la renta de servicios. Con los cambios que presenta cada tecnología, la vida del switch llega a ser un elemento importante en la selección del equipo. Debido al crecimiento que experimenta el mercado, los switches pueden requerir mejoras de manera temprana.

### ARQUITECTURA ABIERTA.

Entre los carriers el reto en switching es la arquitectura abierta. Muchos fabricantes acentúan la importancia de fomentar interfaces abiertas que permitan a vendedores múltiples desarrollar equipo compatible. Las interfaces abiertas reducirán las barreras para permitir la entrada al mercado a muchas compañías. Con las interfaces abiertas se puede permitir a tres jugadores participar de manera más activa en el medio ambiente. Los switches deberán soportar redes inteligentes e interfaces de redes inteligentes.

Con una interface abierta se puede ir al mejor fabricante por el producto y conectarlo al switch en un medio ambiente competitivo. Para un operador, este es un servicio diferente ya que el operador puede comprar una red inteligente periférica (peripheral), conectarla al switch y ofrecer características de valor a los usuarios, las cuales no están disponibles en el mercado competidor. Sin embargo, esta diferencia puede crear problemas de roaming cuando los operadores en mercados diferentes son incapaces de duplicar las características a las que los clientes están acostumbrados en su mercado local.

Una gran cantidad de características no están estandarizadas. Si así fueran, el operador pierde su diferencia de otros. El operador va al mercado rápidamente con algún tipo de servicio, y seis meses después cada uno de los otros operadores provee el mismo servicio.

La apertura constituye el mayor reto en la fabricación. Las plataformas de arquitectura abierta tienen la capacidad de soportar aplicaciones definidas de usuarios e intertrabajo con una variedad de periféricos que son el modelo reciente para la conmutación.

### VIDA DEL SWITCH Y MEJORAS.

Los switches deben mejorarse periódicamente para permanecer como fuerza generadora y mantener la confianza con el incremento en la carga de tráfico. Las comunicaciones inalámbricas demandan mejoras en el switch, especialmente con el crecimiento anticipado en la arena PCS.

Es muy típico que en los switches se obtengan mejoras en base anual para la mayoría de los clientes desde el punto de vista de la capacidad de crecimiento y ciertas mejoras en las componentes que permiten a los clientes utilizar características nuevas y funcionalidad.

El enfoque en la calidad del servicio como resultado de la calidad del equipo es esencial, y la confianza es cada vez más importante sobre el paso del tiempo. Esto es esencial para expandir la capacidad del switch inalámbrico sobre una base para permitir características nuevas y que los carriers incrementen la demanda, así como una manera para comercializar sus ofrecimientos. Constantemente se obtienen características nuevas del sistema y mejoras en los rasgos del usuario final. Las mejoras realizadas en la red serían:

- \* reducción del costo,
- \* mejoras en la funcionalidad, y
- \* mantenimiento

con ellas la capacidad se incrementa. Un switch debe ser compatible con la infraestructura base de los usuarios existentes para que cuando se realicen las mejoras se pueda comunicar con los sistemas mejorados, y no mejorados.

La característica importante en los switches del futuro será la forma en que se realice la expansión y la capacidad del proceso de potencia en el ancho de banda.

Sin embargo, existe una diferencia entre la mejora y la extensión del switch. La extensión es añadir capacidades adicionales, añadir enlaces y capacidad de crecimiento; y mejora es proveer una funcionalidad substancial.

## MODULARIDAD.

La modularidad permite a los carriers construir fuera de sus sistemas de acuerdo a sus requerimientos de crecimiento e instalar inicialmente en el mercado un switch pequeño y menos costoso. Los carriers pueden mejorar sus capacidades para acomodar las necesidades de sus respectivos usuarios, ahorrando dinero.

La modularidad permite a los carriers empezar con un tamaño pequeño del switch y que este crezca conforme la red y los usuarios.

Desde el punto de vista de los operadores, la modularidad da opción de construir sistemas con un incremento exterior, así que los operadores no necesitan comprar un gran sistema "upfront". En resumen los carriers requieren modularidad más allá de un sólo switch, es decir, la habilidad de un solo switch de manejar un segundo switch en el mismo lugar. Se debe poder colocar continuamente paquetes diferentes de software y hardware para dar soporte y operación a la red. La manera en que los usuarios se comportan en cada mercado es diferente; cuánto tráfico se tiene en el sistema, y que tipo de características utilizan. La modularidad es clave ya que ayuda a los carriers a responder a estas diferencias entre los mercados.

La modularidad es realmente una planeación de red, un cambio económico que cada cliente quiere (ser capaz de observar como es dispersado su tráfico sobre el área geográfica y determinar cual es la manera de tener el menor costo en el servicio), si se tiene el menor costo en la centralización del tráfico y del regreso de toda la actividad hacia una localización o distribución del switch sobre la región y costos de dirección.

## CAPACIDAD.

La capacidad es muy importante ya que los proveedores de la red construyen redes externas. Ellas deben ser capaces de crecer según los requerimientos, finalmente, se desea la habilidad de tener aplicaciones múltiples en un solo switch. Esto es muy importante para mantener las líneas de conexión y el tráfico inalámbrico en una sola plataforma debido a que la regulación de los límites cambia. Se pueden encontrar compañías que tengan lo correcto para servir aplicaciones múltiples y ellos proveerán la capacidad que se requiera. Los usuarios no estarán más limitados por las características de la telefonía básica.

## CRITERIOS A CONSIDERAR.

La movilidad, mensajes, y el resguardo de datos tienen gran valor para la gente que utiliza teléfonos celulares. Estas áreas son de gran interés entre la mayoría de los clientes. Características importantes en los switches del lado PCS incluyen características básicas de establecimiento que se tienen del lado de la línea:

- \* llamada en espera,
- \* retención de llamada,
- \* ID en la línea de llamada, y
- \* servicios de correo de voz

Una red que maneja IS-41 o GSM es importante en los switches de hoy. Una característica importante es la capacidad de integrar a otros vendedores. Con la inteligencia periférica se tiene la habilidad de ofrecer una tasa muy alta de llamadas terminadas durante las horas ocupadas, para no tener un bloqueo desde el punto de vista del switch.

## ERRORES QUE SE DEBEN EVITAR.

Los operadores deben tomar sus decisiones en base al mercado o mercados en el que operarán antes de seleccionar el switch. El celular fijo tiene demandas diferentes y más grandes en los switches que el celular móvil. Existe actualmente una cercanía restringida entre el switch que se selecciona y el vendedor con el que se puede trabajar en términos del equipo de radio, así que una gran cantidad de decisiones se deben enfocar al sistema. Se pueden tener errores si se toma una decisión basada solamente en la red, en el radio o en algún otro elemento.

Si el switch es demasiado grande entonces también se gasta demasiado dinero, pero se puede gastar más dinero comprando un switch que es muy pequeño y que no es capaz de crecer según los requerimientos.

Otro punto realmente crítico es la confiabilidad. La gente desea ser muy cuidadosa acerca de la confiabilidad, operaciones herramientas de mantenimiento y soporte así como en el desarrollo y la habilidad para tener una coexistencia de líneas de conexión e inalámbrico.

Finalmente los carriers quieren ser muy cuidadosos acerca de la integración de las capacidades de las plataformas de switching con el resto de los elementos de la red.

El otro reto es ser capaz de mantener la integridad de la red en ciclos de tiempo pequeños durante el desarrollo.

## MANTENIMIENTO.

Para los sistemas PCS nuevos después de la venta, el mantenimiento será igual de importante porque a ellas les faltará la experiencia en la operación de redes que otras compañías tienen, como por ejemplo las RBOC (*Regional Bell Operating Company*).

Se deben examinar las necesidades de la tecnología del switch para manejar mejoras de crecimiento, con los sistemas se ayudará a los carriers a asegurar que sus switches sean la fuente generadora detrás de los sistemas y llevarán a los carriers a la frontera siguiente de las comunicaciones inalámbricas.

## COSTOS.

Los switches necesitan tener una buena relación costo-beneficio e incorporar las habilidades de cambio y adaptación. Los carriers deben considerar el precio que tienen las mejoras para conservar la funcionalidad del switch en el punto más alto. El costo-beneficio con el cual uno puede hacer ambas extensiones y mejoras llega a ser tan importante o más que el costo inicial.

Existen algunos requerimientos muy restrictivos de PCS que son: para una presencia nacional se tienen dos alternativas, colocar switches en cada mercado que se servirá o instalar un switch nacional y un respaldo, o enlazarse de su mercado a una localización común. Los carriers deben considerar que la diferencia real es el costo de entrada.

Cuando se tiene movilidad de un switch al MSC, se deberán añadir modelos diferentes de llamada para los switches sin movilidad o de línea. Se debe añadir modelos de llamada para permitir que se pueda cambiar de estación base y mantener la conexión.

## CONSIDERACIONES PCS DE SWITCHING CELULAR.

Cuando se selecciona un switch, el PCS nuevo será confrontado con retos diferentes al de los operadores celulares. En un switch PCS se necesitan más puertos en el switch a enlazar dentro de los sitios de la célula ya que existen más sitios de células.

Con PCS se requiere de puertos grandes de switches que su contraparte celular, para mantener la misma área geográfica. Con los sitios de células pequeñas, se tiene el potencial para una actividad handoff mayor, así que el switch necesita manejar este tráfico.

Los carriers PCS buscan interoperabilidad. Una gran cantidad de ellos están buscando redes grandes, regionales, y nacionales.

El sistema celular confrontará algunos retos con el surgimiento de PCS y competirá para proveer servicios avanzados a los usuarios.

Los carriers celulares establecidos en el mercado están en la búsqueda por incrementar la transparencia en las características de los mercados. La interoperabilidad llegará a ser cada vez más importante.

### ERRORES A EVITAR EN LA SELECCIÓN DEL SWITCH.

- \* Seleccionar un vendedor cuya vida y experiencia en el mercado no sea grande.
- \* El tamaño es una clave del resultado. Si un switch es demasiado grande, entonces el gasto también lo es, pero también se puede gastar mucho dinero comprando un switch pequeño que no tiene la capacidad de crecimiento que se necesita.
- \* Instalar un switch que no se acomoda a la necesidad y capacidad requerida.
- \* Seleccionar a un vendedor sin una visión del futuro en sus productos y mejoras.
- \* Visión estrecha, es decir hacer una decisión basada únicamente en un elemento.
- \* Ser cuidadoso acerca de la integración de las capacidades de las plataformas de switch con el resto de los elementos de la red.
- \* No conocer el costo oculto de la mejora y el ajuste del switch.
- \* No estar seguro de que el switch es compatible con la infraestructura base de usuarios existentes y trabajara con los sistemas que no estén actualizados.

## CAPÍTULO XI

### SISTEMAS IMPLEMENTADOS, APLICACIONES Y EQUIPOS.

A continuación se presentan unos ejemplos de sistemas implementados, aplicaciones y equipos como son:

#### ACROPOL

La red de radio comunicaciones digitales protegidas como por ejemplo Acropol de Matra Communication asegura una confidencialidad de las comunicaciones gracias a la codificación y a la digitalización integral del canal de radio. Permite la consulta de bancos de datos y ofrece una cobertura conforme a los requisitos de los usuarios.

#### DEMANDA DE SERVICIOS DE VOZ Y DATOS.

La red integra en la misma infraestructura y a partir de las mismas terminales, los servicios de voz y datos. Esta red es compatible con las existentes: redes de radio analógicas, redes telefónicas conmutadas, etc. Los usuarios pueden acceder a los ficheros locales y nacionales y disponer de un correo electrónico de seguridad.

#### COBERTURA NACIONAL.

Las redes locales o regionales están interconectadas para que cada usuario acceda al conjunto de la red nacional durante sus desplazamientos y disponga siempre de todos los servicios.

#### RESPUESTA DEL SISTEMA MATRACOM 9600.

Otro ejemplo es el sistema Matracom 9600, el cual se ha desarrollado para satisfacer las necesidades de las fuerzas de seguridad francesas. Es totalmente digital, su arquitectura es celular y su cobertura es nacional (fig. 53). Este sistema está funcionando en Francia desde 1992. Ofrece todas las garantías exigidas para una puesta en servicio inmediata.

Una red de tipo celular permite conseguir una cobertura continua de gran alcance, ya que optimiza la utilización de frecuencias de radio mediante el aprovechamiento de estas últimas por distintas células separadas por una distancia suficiente. Una protección elevada contra las interferencias entre canales optimiza a su vez este aprovechamiento. El sistema Matracom 9600 y su sección de radio están digitalizados. La digitalización integral del canal de radio permite introducir una codificación eficaz que proteja las comunicaciones.

Matracom 9600 está basado en una organización jerárquica y descentralizada, si cada subconjunto pierde el contacto con el escalón superior o con sus vecinos, se reconfigura por sí mismo y ofrece el servicio más adaptado a la situación degradada.

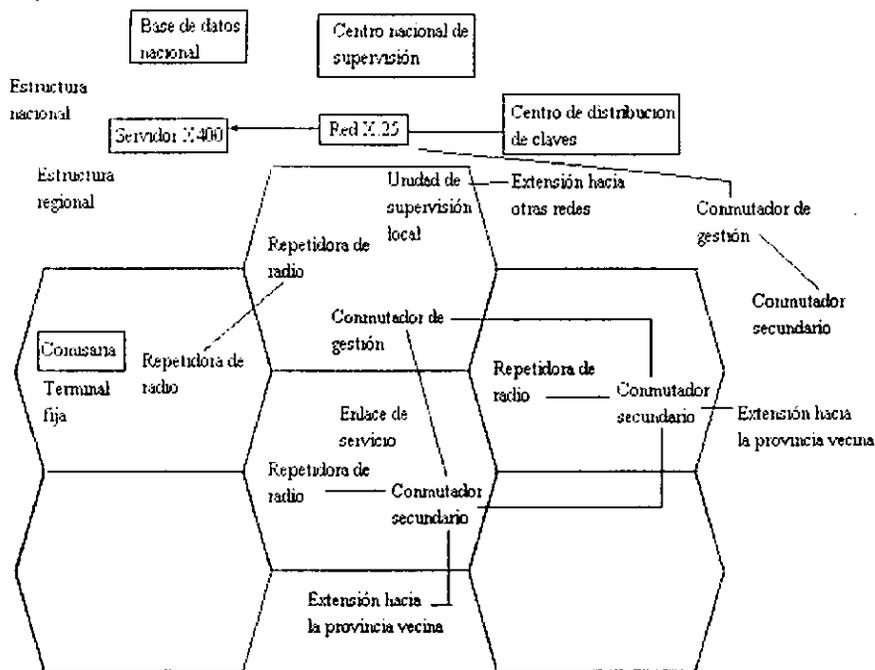


Fig. 53 Arquitectura del sistema Acropol

La gestión de los recursos de radio es dinámica: los recursos sólo se asignan para la duración de las comunicaciones y, finalizadas éstas, quedan disponibles. El propio sistema lo libera en caso de inactividad prolongada lo que permite una utilización óptima y automática del espectro radioeléctrico. Para los casos de saturación de los recursos de radio, el sistema gestiona diferentes niveles de prioridad a fin de que se establezcan las comunicaciones más importantes desde el punto de vista operacional. Acropol tiene una organización de las terminales en flotas y grupos cerrados de usuarios (*GFA*) (fig. 54). Estos grupos son subconjuntos de terminales que tienen un interés operacional común. Cada comunicación de grupo lleva asociada una lista de los *GFA* autorizados a participar en ella, por consiguiente, una terminal sólo puede participar en una conversación de grupo si pertenece a alguno de los *GFA* asociados. El administrador de la red puede modificar en cualquier momento la lista de grupos cerrados de usuarios asociados a una comunicación o la lista de terminales pertenecientes a cada grupo cerrado, así pues, controla por completo las categorías de las terminales autorizadas a participar en una comunicación de grupo. Esta función acoge a varios servicios de policía, cada uno de los cuales utiliza una red virtual propia.

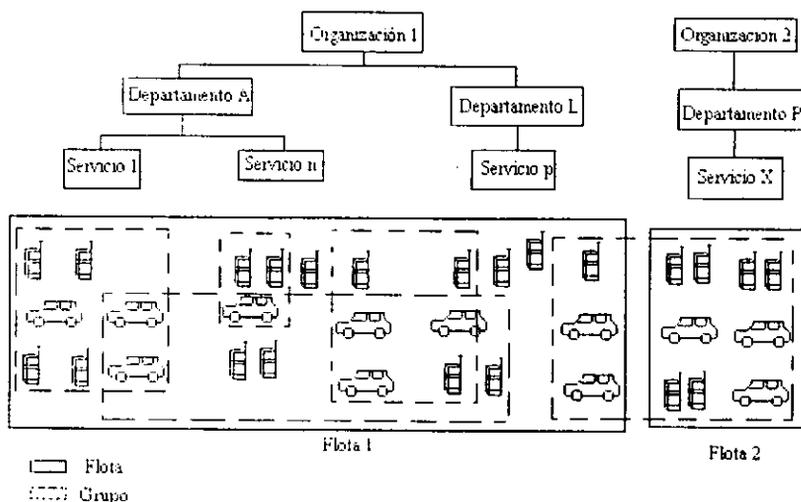


Fig. 54 Arquitectura de los grupos cerrados de usuarios

## INFRAESTRUCTURA

La infraestructura está organizada en una jerarquía de:

- \* **Repetidores de radio.**- El equipo base es el repetidor de radio; garantiza y controla el conjunto de intercambios en la sección de radio entre la infraestructura y las terminales de radio. La interfaz del repetidor remoto, se integra en el repetidor y garantiza el enlace con el resto de la red. En caso de aislamiento de la red, este módulo gobierna el repetidor según un modo degradado que sin embargo, preserva la firmeza de los grupos cerrados de usuarios entre sí.
- \* **Conmutadores de gestión.** Entre los cuales se distribuye la inteligencia funcional de la red. En funcionamiento normal cada conmutador-repetidor, garantiza el control de uno o varios repetidores además del encaminamiento de las comunicaciones. Los conmutadores de repetidor gestionan las comunicaciones multicelulares del grupo. Terminales alámbricas se conectan en los propios conmutadores para superar las limitaciones de radio, en especial para salas de control. En el nivel más elevado se encuentra el conmutador de gestión. Existe uno por localidad, que opera como punto de acceso de Acropol a la red X25 nacional. Todos los intercambios interprovinciales de transmisión de datos, de correo electrónico o de señalización pasan por estos conmutadores de gestión: administran los equipos móviles y sus desplazamientos interdepartamentales y centralizan la explotación de la red y del tráfico. El conmutador de gestión está controlado por una interfaz hombre-máquina.

Las componentes de la infraestructura de Acropol están conectadas entre sí por enlaces de 2 Mbits/s, que pueden ser alámbricos o radioeléctricos.

## TERMINALES.

La terminal móvil está destinada a los vehículos de la policía. Comprende un mando a distancia separable y una unidad transreceptora que agrupa las funciones de radio y las funciones lógicas. Esta unidad se conecta y desconecta con facilidad de su soporte, y así los usuarios que temen robos de material pueden llevárselo del vehículo. La autonomía del equipo portátil es de ocho horas.

## CANAL RADIOELÉCTRICO.

Las frecuencias utilizadas se sitúan en la banda de los 450 MHz, con una modulación por desplazamiento y un acceso múltiple por división de frecuencias.

Las ventajas principales de la digitalización del canal de radio son las siguientes:

- \* La integración de los servicios de voz y datos en un equipo unificado es natural, con tiempos de conmutación casi instantáneos (una transmisión de datos sólo interrumpirá una comunicación telefónica el tiempo necesario).
- \* La protección de la señal contra las alteraciones mediante dispositivos correctores de error, sobre todo en la sección de radio, ofrece una buena calidad en telefonía, que se mantiene hasta el límite de alcance de radio.
- \* La codificación de todas las comunicaciones se realiza sobre información ya digitalizada, sin degradación de calidad ni tiempo para el reconocimiento de la voz.
- \* La señalización dispone de una velocidad binaria elevada, lo que permite incluir una gran variedad de servicios gracias a un protocolo muy completo.

## ORGANIZACIÓN DE LOS CANALES Y PROTOCOLO.

Cada repetidor posee un conjunto de cuatro a ocho canales de radio asignados de manera fija, ampliables a 16. Uno de los canales se utiliza para la señalización y la transmisión de datos (canal de control). Los demás se utilizan para las comunicaciones de voz o la transmisión de datos suplementarios. Cada canal está formado por un par de frecuencias, una emitida por el repetidor (canal descendente) y la otra por las terminales (canal ascendente).

## CANAL DE CONTROL

El canal de control está formado por:

- \* Canal de difusión: canal descendente que difunde a las terminales información relativa a la red.
- \* Canal de llamada: canal descendente que permite a la red llamar a las terminales en espera.
- \* Canales de datos: Se utiliza un protocolo de acceso múltiple multipunto. En el enlace las terminales secundarias son estaciones secundarias que acceden al recurso de radio en una ventana temporal asignada por el repetidor.
- \* Canal de acceso aleatorio: canal ascendente reservado para las peticiones de acceso de las terminales.
- \* Canal de acuse de recibo de acceso aleatorio, que contesta a las peticiones de las terminales.

## CANAL DE TRÁFICO

Cada canal de tráfico se utiliza para voz o para datos.

- \* Canal de tráfico para voz: la voz funciona en comunicación alternativa. Es transmitida por un canal ascendente y otro descendente que funcionan punto a punto o multipunto. La voz se transmite codificada a 6 kbit/s, entrelazada con la codificación del canal.
- \* Canal de difusión con acceso prioritario: canal lógico de baja capacidad que permite difundir mensajes breves superpuestos a la voz.
- \* Canal de tráfico de datos: su organización es análoga a la del canal de control. Es posible reservar de manera dinámica un canal de tráfico para la transmisión de datos.

## ARQUITECTURA

Los protocolos de transmisión utilizan una arquitectura OSI.

### CARACTERÍSTICAS DEL CANAL DE RADIO.

Velocidad	8 kBauds
Potencia emitida:	
Repetidor	15 W por canal
Móvil	10 W
Portátil	2 W
Separación entre canal	10 kHz
Sensibilidad típica:	
para las terminales	-118 dBm
para los repetidores	-120 dBm
Alcance	> 30 km
Protección contra interferencias entre canales colaterales	> -12 dB

### SERVICIOS DEL SISTEMA ACROPOL.

**SERVICIOS BÁSICOS DE VOZ:** Funciona en comunicación alternativa (simplex/semiduplex), una vez establecida la comunicación, el sistema asigna el canal a una terminal y difunde la voz correspondiente a las demás terminales afectadas por la comunicación. Así desaparece el riesgo de superposición que existe en las redes analógicas.

**Comunicaciones privadas:** Sólo tienen acceso a ella el solicitante y los usuarios que él ha designado.

**Comunicaciones de grupo:** Ofrece el funcionamiento de canal abierto, al cual se añaden las mejoras siguientes:

- \* la cobertura se puede ampliar a numerosos repetidores (hasta una provincia),
- \* el acceso al canal es limitado a los autorizados para ello, y
- \* la activación de un canal puede ser temporal

Elimina la espera antes de transmitir y garantiza la recepción inmediata de la llamada por los otros usuarios.

Es frecuente que un usuario quede en escucha de su unidad en la comunicación correspondiente, que puede durar todo el día, entonces el sistema lo libera cuando tiene alguna otra llamada y lo vuelve a introducir en la comunicación inicial cuando ésta termina.

**Llamada de socorro:** En caso de urgencia, al usuario le basta con pulsar una tecla para llamar a los usuarios más próximos a él, con la seguridad de obtener un canal su llamada se señaliza a

los usuarios accesibles de su célula, así como el operador, y se crea una comunicación prioritaria de grupo de socorro.

**Llamada fuera de zona:** Puede ocurrir que en un momento dado un equipo móvil se encuentre en una zona de sombra de radio, por ejemplo en una región montañosa; el usuario utilizará entonces la llamada fuera de zona, mediante la cual transmite con una frecuencia que todas las terminales escuchan cada cierto tiempo. Tan pronto como uno de éstos, se acerca al equipo móvil emisor, recibe y acepta la llamada, los dos usuarios se ponen en comunicación por un canal especial asignado a nivel nacional.

**SERVICIOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS:** Las transmisiones de datos que ofrece la red Acropol son servicios de transporte: correo electrónico protegido, correo electrónico directo, cuya misión principal es el intercambio entre las terminales y los ordenadores centrales, sobre todo la consulta de ficheros y el intercambio de mensajes con las salas de control. Por supuesto ambos son codificados.

## **FUNCIONES GENERALES ASOCIADAS A LOS SERVICIOS**

**Direccionamiento:** El direccionamiento en la red Acropol se realiza por medio de una numeración de nueve cifras que identifica la pertenencia de la terminal a su región y a su flota. Cada terminal posee una dirección propia. Direcciones implícitas permiten designar una terminal genérica que el sistema se encarga de concretar dentro de un conjunto operacional, así se facilita la llegada de llamadas destinadas a las salas de controles. Direcciones colectivas que designan conjuntos de terminales permiten, dirigir un mismo mensaje a todos los destinatarios correspondientes.

**Gestión de los grupos cerrados de usuarios:** El sistema permite crear la composición de los grupos de usuarios, modificar la lista de los mismos o agruparlos.

**Prioridades:** Acropol gestiona varios niveles de prioridad con el fin de que puedan tomarse decisiones adaptadas a las necesidades operacionales cuando haya que elegir la asignación de recursos. Los recursos afectados son los elementos de infraestructura sobre todo los canales de radio y por otra parte, la disponibilidad de las terminales que ya están ocupadas en comunicaciones. El nivel de prioridad puede ser implícito, como ocurre en el tratamiento de la llamada de socorro, que goza siempre del nivel de prioridad más elevado.

**Desvío y transferencia de llamada:** Cuando el usuario se va a ausentar de una terminal, puede ordenar el desvío automático de las llamadas para dirigir las a otra terminal.

**Seguimiento de las terminales en sus desplazamientos nacionales (roaming):** El sistema está informado en todo momento de la célula de radio en la que se sitúa cada terminal de radio. Para ello, cuando una terminal cambia de célula, intercambia con la infraestructura datos que permiten señalar su nueva posición y al mismo tiempo transmitir al nuevo conmutador una serie de datos de la terminal. Este sistema permite la localización de cualquier terminal a la que se llame en una comunicación y por otra, disponer de un medio de neutralizar a distancia una terminal perdida o robada.

**Reacciones ante los incidentes:** Detecta las anomalías y se reconfigura por sí misma, en particular en casos de ruptura entre dos conmutadores. Para garantizar la disponibilidad, las funciones principales de los conmutadores de repetidor pueden estar duplicadas.

**Codificación:** En la red Acropol, todas las comunicaciones de voz y datos se codifican de un extremo a otro, de manera automática y transparente para el usuario. La renovación de las claves de codificación de vida corta se realizan por el sistema vía radio, sin necesidad de que intervenga el usuario; evitando los errores y los riesgos de corrección que acompañan a los sistemas manuales.

## EXPLOTACIÓN DEL SISTEMA ACROPOL

Se gestionan varias categorías de operadores con accesos diferentes, asociados a las funciones de explotación.

La unidad de supervisión local se ocupa al mismo tiempo de la gestión técnica de la red (supervisión del estado técnico y mantenimiento a distancia) y de su gestión operacional.

En lo que respecta a la gestión técnica, la unidad de supervisión local controla los diferentes objetos de las bases de datos asociadas a la infraestructura; creación, modificación, supresión, puesta fuera de servicio de cada elemento. Cuando un elemento de la infraestructura detecta un mal funcionamiento, emite una alarma a la unidad de supervisión local.

En lo que respecta a la gestión operacional, la unidad de supervisión local gestiona los objetos asociados a los usuarios (terminales con sus atributos, direcciones, grupos cerrados de usuarios) y a los servicios (de comunicaciones de grupo).

**RADIOTELEFONÍA DIGITAL.**

La puesta en operación de líneas telefónicas representa un esfuerzo considerable, sobre todo en lo que respecta al despliegue de la planta telefónica externa. La construcción de la planta telefónica externa implica:

- \* Investigaciones de mercado.
- \* Planeación y especificación de proyectos de construcción.
- \* Permisos de construcción.
- \* Exhaustivas obras civiles con costos económicos, sociales y de imagen.
- \* Materiales y suministros.
- \* Manejo de inventarios de materiales y suministros.
- \* Posterior necesidad de mantenimiento.

Por ejemplo, mediante el sistema de radiotelefonía digital GMH 2000 de Alcatel, se elimina la necesidad de instalar pares físicos de cobre hasta el abonado. En la tabla 18 se muestran las características del sistema GMH 2000:

	Técnica de transmisión	Características
GMH 2000 (Alcatel)	E-TDMA que le permite manejar 16 veces más tráfico que los equipos con AMPS	<p>Transmisión digital hasta el abonado.</p> <p>Aprovechamiento del espectro de frecuencias.</p> <p>Capacidades digitales que permiten reducir el número de células necesarias.</p> <p>Conmutador central digital con control (hardware y software) totalmente distribuido.</p> <p>Mayor capacidad de servicios al utilizar enlaces de radio</p> <p>La unidad básica soporta hasta 64 abonados con alambrado convencional dentro o fuera del edificio.</p> <p>Unidades de abonados múltiples que permiten la conexión de aparatos telefónicos.</p> <p>Evolución a un sistema celular digital, configuración por software para coexistir con los servicios AMPS, TDMA, y E-TDMA.</p> <p>Facilidades O &amp; M centralizadas, capacidad de control y diagnóstico a distancia, asignación de frecuencias a distancia.</p> <p>Operación, configuración y pruebas centralizadas de todo el equipo de radio.</p> <p>Aislamiento de fallas.</p> <p>Interfaz inteligente con el usuario.</p> <p>Bases de datos distribuidas.</p>

Tabla 18 Características del sistema GMH 2000'

En la fig. 55 se muestra la arquitectura del sistema de radiotelefonía digital GMH 200.

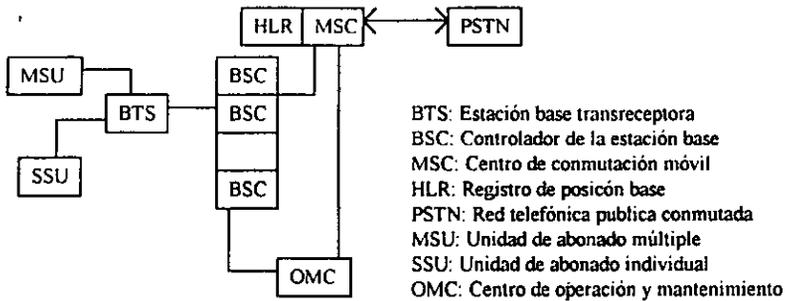


Fig. 55 Arquitectura del sistema de radiotelefonía digital GMH 200.

El MSC esta compuesto de:

- \* Módulos HW y SW estándar.
- \* Módulos HW para la función de interfuncionamiento.
- \* Módulos SW para las funciones de Radiotelefonía Digital.

En la fig. 56 se muestran los bloques funcionales de software:

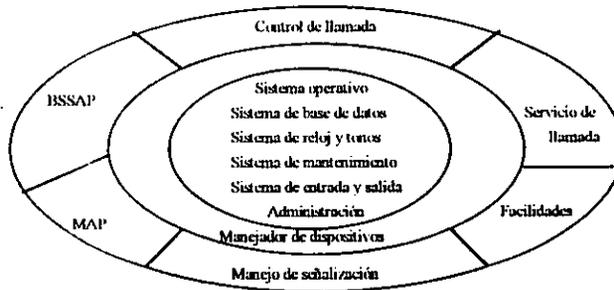


Fig. 56 Bloques funcionales de software.

Elementos de programaci3n de computador.

- \* Lenguaje de programaci3n de alto nivel.
- \* Concepto de máquina virtual.
- \* Conceptos de Máquinas de Mensajes Finitos (FMM) y Máquinas de Soporte de Sistema (SSM).
- \* Comunicaci3n entre módulos sólo a través de mensajes.

MAP: Parte de Aplicaci3n Móvil.

BSSAP: Parte de Aplicaci3n del Subsistema de Estaci3n Base.

El BSSAP maneja todas las comunicaciones entre MSCs y BSSs y se divide en dos partes:

- \* Parte de Aplicación de Administración del Subsistema de Estación Base (BSSMAP).
  - Administración y supervisión de RF.
  - Coordinación de recursos para el BSS.
- \* Parte de Aplicación de Transferencia Directa (DTAP).
  - Control de transferencia de llamada.

El MAP se encarga del manejo de servicios suplementarios, la administración de parámetros de abonados, recuperación de parámetros de abonados, transferencia de datos relativos a la seguridad, y la localización/cancelación de registros.

En la tabla 19 se muestran las características de las componentes del sistema GMH 2000:

Componente	Características
Hardware MSC	Organización distribuida de los dispositivos de control Duplicidad de módulos Misma red tanto para la conmutación de canales de usuario, como para la conexión entre procesadores
O&M del MSC	Administración de tarificación Administración de enrutamiento Administración de tráfico Administración de la red celular Mantenimiento Operaciones de control del sistema
BTS	Soporta patrones de radiación omnidireccionales o sectorizados Antenas receptoras en diversidad Combinadores de canales de transmisión de sintonización automática Terminal local de vigilancia Opciones múltiples de retroalimentación para aislar fallas Control automático de redundancia para todas las componentes Control centralizado de canal: nivel de potencia, asignación de frecuencias, mantenimiento en servicio y fuera de servicio
Transceptor	Software configurado para cualquier modo de transmisión. Procesamiento DSP (Procesamiento digital de señales) Unidades de construcción modular Capacidad multicanal

Tabla 19 Características de las componentes del sistema GMH 2000

**Subsistema de red: Funciones de operación y mantenimiento.**

Funciones de O&M							
Administración de operación y mantenimiento del sistema de la red.	Control de las modificaciones del sistema.	Administración de abonados.	Administración de tarifas.	Administración del enrutamiento.	Administración de la red celular.	Medición de los datos de desempeño.	Mantenimiento.
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Acciones para el manejo de la red de telecomunicaciones.	Mejoras, reconfiguraciones, nuevas características del sistema.	Datos de abonado.	Control de la tarificación, puesta al día de las tablas de control que manejan los datos de tarificación.	Módulo de los circuitos, manejo de las rutas.	Crear sistemas de administración de los elementos, células, circuitos de la red, administración de parámetros.	Medición del tráfico, y disponibilidad.	Supervisión y vigilancia del estado del equipo, manejo de alarmas, pruebas, diagnósticos.

**Principios de la tecnología E-TDMA:**

Los beneficios de E-TDMA se deben a la incorporación de dos tecnologías digitales DSI (Interpolación Digital de Voz), y Codificación digital de voz. Para poner en práctica DSI en el ambiente de un circuito local celular o inalámbrico se le asigna un canal aéreo al abonado únicamente cuando se está transmitiendo la voz; esta técnica se aplica en ambos sentidos (hacia adelante y hacia atrás).

**Funcionalidad E-TDMA:**

Ejemplo de grupo DSI. Cuando tres canales de RF operan a media capacidad (half rate) se puede crear un grupo DSI. Los canales escogidos pueden estar separados ampliamente.

F1	C	V	V	C	V	V
F2	V	C	V	V	C	V
F3	V	V	C	V	V	C

28 móviles

F1	C	V	V	C	V	V
F2	V	C	V	V	C	V
F3	V	V	C	V	V	C
F4	V	V	V	V	V	V
F5	V	V	V	V	V	V
F6	V	V	V	V	V	V
F7	V	V	V	V	V	V
F8	V	V	V	V	V	V

115 móviles.

C = Control V = Voz

F1	C	V	V	C	V	V
F2	V	C	V	V	C	V
F3	V	V	C	V	V	C
F4	V	V	V	V	V	V
F5	V	V	V	V	V	V
F6	V	V	V	V	V	V
F7	C	V	V	V	V	V
F8	V	V	V	V	V	V
F9	V	V	C	V	V	V
F10	V	V	V	V	V	V
F11	V	V	V	V	C	V
F12	V	V	V	V	V	V

176 móviles

F1	C	V	V	C	V	V
F2	V	C	V	V	C	V
F3	V	V	C	V	V	C
F4	V	V	V	V	V	V
F5	V	V	V	V	V	V
F6	V	V	V	V	V	V
F7	C	V	V	V	V	V
F8	V	C	V	V	V	V
F9	V	V	C	V	V	V
F10	V	V	V	C	V	V
F11	V	V	V	V	C	V
F12	V	V	V	V	V	C
F13	V	C	V	V	V	V
F14	V	V	V	V	V	V
F15	V	V	V	C	V	V
F16	V	V	V	V	V	V

240 móviles

Otras ranuras de control pueden configurarse para el tráfico de datos u otros usos.

El objetivo de la tecnología digital E-TDMA es dar un paso adelante en la radiotelefonía digital:

- \* Interfaz aérea de alta capacidad.
- \* Transmisión digital de alta calidad y costo moderado.
- \* Estándar de transmisión de múltiples características.

Los requisitos de un sistema de radiotelefonía digital son los siguientes:

- Capacidad: Suficiente para soportar densidades de abonados de decenas o cientos de miles en una zona metropolitana típica.
- Calidad: Comparable a la línea alámbrica, sin desvanecimiento y alta confiabilidad.
- Costo: Inversión inicial menor que en las soluciones alámbricas y menor costo de operación y mantenimiento.
- Servicios: POT [Telefonía convencional], datos, fax, evolución a IN y características RDSI.

Instalación: En comparación con la línea alámbrica, instalación considerablemente más rápida.

A continuación se presenta una comparación de las tecnologías inalámbricas:

	AMPS	TDMA Convencional.	E-TDMA
Capacidad		*	*
Calidad	*	*	*
Costo		*	*
Servicios			*
Instalación rápida	*	*	*

E-TDMA		
Ventajas	Calidad	Capacidad
No se requiere de construcción y mantenimiento de la planta externa. Procesamiento concentrado de la señal en el equipo digital (no en pares de cobre). El proceso de asignación de canales distribuye el equipo de canal únicamente durante los periodos de conversación. Mejor utilización del equipo celular Mayor intensidad de tráfico en cada célula Menos equipo celular y células	Transmisión digital Utiliza FEC Señalización (desde el abonado hasta el sitio de la célula) a través de canales digitales fuera de banda La asignación de canales E-TDMA supervisa la calidad del canal para eliminar el efecto de desvanecimiento	Mejor capacidad a través de la codificación avanzada de la voz y DSI. Reutilización de frecuencias en la zona de servicio que implica una mayor capacidad de tráfico entre 16 veces comparado con AMPS.

Tabla 20 Ventajas, calidad y capacidad de la tecnología E-TDMA

A continuación se presentan equipos que se necesita para operar una red celular o paging , y las características de este equipo:

Controlador de estación	SC 604	SC601	SC4850
Tecnología	CDMA	CDMA	CDMA
Costo en instalación y mantenimiento	reducido	reducido	reducido
Aire acondicionado	no se requiere	no se requiere	no se requiere
Tipo de control	centralizado	centralizado	centralizado
Equipo de control	CBSC <sup>1</sup> , OMC-R <sup>2</sup>	CBSC, OMC-R	CBSC, OMC-R
Tamaño y peso	pequeño/ligero	pequeño/ligero	ND <sup>3</sup>
Instalación	interior	interior o exterior	exterior
Emisión de ruido	cero	cero	ND
Configuración de sectores	omni o tres	ND	ND
Ubicación del equipo auxiliar	en el sitio de una célula: rectificadores, duplexores,...	en el sitio de una célula: rectificadores, duplexores,...	ND
Rango de frec. de 800 MHz			
Base de transmisión	869-894 MHz	869-894 MHz	ND
Base de recepción	824-849 MHz	824-849 MHz	ND
Rango de frec. de 1.9 GHz			
Base de transmisión	1.93-1.99GHz	1.93-1.99GHz	1.93-1.99GHz
Base de recepción	1.85-1.91 GHz	1.85-1.91 GHz	1.85-1.91 GHz
Capacidad	16 ó 36 canales/portadora/sector	16 ó 36 canales/portadora/sector	ND
Configuración mínima	48 canales	ND	ND
Configuración máxima	108 canales	320 canales	ND
Ventajas	ejecución diaria de tareas como configuración, fallas y manejo del funcionamiento de fallas remotas	ejecución diaria de tareas como configuración, fallas y manejo del funcionamiento de fallas remotas	ejecución diaria de tareas como configuración, fallas y manejo del funcionamiento de fallas remotas

- 1 Controlador de la Estación Base Centralizado  
 2 Centro de Radio de Operación y Mantenimiento  
 3 No disponible

	Estación base RBS884 (para picocélulas)	BTS (Qualcomm)
Llamadas simultáneas	8-11	135
Normas	AMPS y D-AMPS	IS-95 compatible con AMPS
Frec. de operación	850 - 1900 MHz	800 MHz
Tasas de vocoders		13 kbps, 8 kbps
Sectorización	ND	expansión de sectores omni a tres
Características	utilizada principalmente para aplicaciones interiores: lobbies de hotel, estaciones del metro, ...	Digital, electrónica RF, redundancia capacidad hot line pruebas de interfaces pruebas de seguridad y capacidad de diagnóstico interface para un sistema centralizado OA&M control y monitoreo de la configuración respaldo T1 o E1, fibra optica o microondas

Centro de Conmutación Móvil	Características	Servicios
MSC (PCS 1900)	redes inteligentes con la capacidad que se requiera	servicios de datos servicios de mensajes cortos llamadas en espera retención de llamadas servicios multigrupo familia de servicios números personales

Transmisor	Tx lineal paging (GL-T9000)	Tx RF (Phoenician Wireless Loop)	Tx de paging digital 925
Tecnología	DSP	ND	ND
Ventajas	adaptación sencilla para todos los esquemas de modulación. migración de la trayectoria entre ReFLEX25, InFLEXion y paging parámetros de operación ajustables en tiempo real, remotamente o localmente	apoya el crecimiento de redes modulares de 200 a 4000 usuarios transmisión RF flexible crecimiento o reducción continuas	reduce el tamaño en el sitio de instalación mantenimiento muy bajo menor enfriamiento requerido construcción modular, sistemas de antenas software para el control y supervisión de todas las funciones locales o remotas configuraciones en línea "stand-by"
Potencia	potencia modular las configuraciones de potencia variable soportan subcanales múltiples, celular.	ND	potencia ajustable de 100-250 W para operación continua
Protocolos	InFLEXion ReFLEX25 ReFLEX50	protocolos aéreos GSM 900 y 1900 MHz	
Canales	16	ND	120 operación de canal múltiple
Espacio entre canales		ND	25 kHz
Frec. de Tx	929-942 MHz en pasos de 6.25 kHz	ND	929-932 MHz
Tasas de datos	Nivel 2: más de 3200 bps Nivel 4: más de 6400 bps ReFLEX25 más de 19200 bps ReFLEX50 más de 25600 bps	ND	redes de paging de alta velocidad

	Radio de onda milimétricas Tel-Link23	Radio Spread Spectrum (MDS SST1/E1)	Radio de onda milimétricas Tel-Link38
Capacidades	1x2.048, 2x2.048, 4x2.048 (E1, 2E1 y 4E1) 1x1.544 y 4x1.544 Mb/s (DS1 y 4DS1)	ND	1x2.048, 2x2.048, 4x2.048 (E1, 2E1 y 4E1) 1x1.544 y 4x1.544 Mb/s (DS1 y 4DS1)
Espacio de canal RF	E1 & 2E1-3.5 MHz, 4E1-7 MHz (E1, 2E1 y 4E1) 1xT1-5 MHz, 4xT1-15 MHz (DS1 y 4DS1)	ND	E1 & 2E1-7 MHz, 4E1-14 MHz (E1, 2E1 y 4E1) 1xT1-5 MHz, 4xT1-15 MHz (DS1 y 4DS1)
Tipo de modulación	FSK	ND	2-FSK
Rango de la frec. de operación	21.2 a 23.6 GHz	2.4 GHz	37 a 39.5 GHz (E1, 2E1 y 4E1) 38-40 GHz (DS1 y 4DS1)
Espacio Tx-Rx	1200 MHz (DS1 y 4DS1)	ND	1260 MHz (E1, 2E1 y 4E1) 700 MHz (DS1 y 4DS1)
Canales de servicio (opcional) Número de canales	tres	ND	tres
Capacidad	64 kb/s (cada canal)	full duplex para conexión T1 (1.544 Mbps) o E1 (2.048 Mbps)	64 kb/s (cada canal)
Antenas Diámetro	0.3 m 0.6m	ND	0.3 m 0.6m
Ganancia	34.0 dBi 40.5 dBi	ND	38.0 dBi 44.0 dBi
Ancho de haz	3.2° 1.5°	ND	1.6° 0.8°
Polarización	Vertical o horizontal	ND	Vertical o horizontal
Características	ND	enlace punto a punto con otro MDS SST1/E1 diseño para aplicaciones de voz y telemetría	ND

## CAPÍTULO XII

### DISEÑO.

El diseño de una red celular no es un trabajo sencillo, se requiere tomar en consideración numerosos factores; por ejemplo para diseñar una red celular se debe considerar que:

Existen muchos tipos de células, su tamaño y figura se determina por el número de usuario fijos y móviles, tráfico, nivel de potencia radiada, localización de la antena y medio ambiente de vecindad. El sistema telefónico móvil utilizará una estructura de células hexagonales con una Estación Base al centro de cada célula la cual proporcionara la cobertura de radio de la célula y la conectará a la red pública telefónica. Un modelo hexagonal proporcionara la mejor cobertura con un área de traslape menor. El diámetro de las células nominales variará dependiendo de la densidad de tráfico.

En una célula hexagonal, el número de células dentro del modelo repetidor será 3, 4, 7, 9, 12 y múltiplos de estos valores, siendo el número de siete células el más utilizado.

Las macrocélulas se interconectarán a los Centros de Conmutación Móviles en configuración estrella, esto facilitará la transmisión en enlaces de 1.5 Mb/s ó 2 Mb/s. Las microcélulas son sitios de radiación remota en donde las señales radio móvil RF o IF se transmitirán sobre un enlace óptico, o un enlace de radio punto a punto de distribución de microondas, que actuará como el centro físico de la microcélula.

Las funciones del Centro de Conmutación Móvil (MSC) serán:

- \* procesar los registros de las Estaciones de Usuarios Celulares,
- \* seleccionar la Estación Base más adecuada para el manejo de una llamada,
- \* establecer la conexión entre la red telefónica pública y la Estación Base asignada al manejo de la llamada,
- \* mantener la conexión a otros Centros de Conmutación Móvil, y
- \* coordinar las actividades handoff.

Las características del conmutador central digital serán:

- \* control distribuido,
- \* soportará redes inteligentes e interfaces de redes inteligentes,
- \* contará con módulos HW para funciones de interfuncionamiento,
- \* organización distribuida para los dispositivos de control del HW, y,
- \* duplicidad de módulos HW en el Centro de Conmutación Móvil

El Registro de Localización Local (HLR) contendrá los parámetros de los usuarios permanentes, estos registros de localización serán utilizados para soportar roaming automático. La entrada del Registro de Localización Local para cada Estación de Usuario Celular incluirá el

número de identificación móvil, y establecimiento de las características a las cuales las Estaciones de Usuarios Celulares estén suscritos.

La función del Registro de Localización de Visitantes (VLR) será asistir en la localización de la Estaciones de Usuarios Celulares durante la transmisión de una llamada. El Registro de Visitantes es una base de datos dinámica, cuyas entradas cambiarán dependiendo del movimiento del usuario. Al igual que los Registros de Localización Local los Registros de Visitantes se utilizarán para soportar roaming automático. El Registro de Visitantes obtendrá los parámetros del usuario del Registro Local. Cuando el usuario llega al área de localización el Registro de Visitantes actualiza al Registro Local del usuario. Este funcionamiento autentificará y localizará temporalmente los número telefónicos de localizaciones específicas además, actualizará al Registro Local respecto al estado de servicios suplementario.

Las Estaciones Base (BS) se colocarán de acuerdo al rango máximo que pueda acomodarse. Este rango dependerá de:

- \* características físicas del medio ambiente,
- \* frecuencia de propagación,
- \* ganancia máxima de la antena, y
- \* características físicas del equipo

Las herramientas de planeación en las microcélulas de calle son seguras siempre y cuando la antena de la Estación Base este sobre una línea urbana. En las Estaciones Base se requieren de antenas omnidireccionales en el plano horizontal. Para proveer cobertura en áreas difíciles puede ser necesario utilizar una antena que tenga una directividad elevada.

En la Estación Base se concluyen los protocolos de radio en la comunicación con las Estaciones Móviles. Durante esta operación se requieren elementos de control. Los controladores se co-localizarán con los transreceptores, o un controlador podrá soportar transreceptores remotos múltiples.

Los controladores de las Estaciones Base se limitan a la información procesada directamente; esta información se relaciona con el establecimiento, conservación y liberación de uno o más enlaces de radio. Cada Estación Base transmitirá en una frecuencia diferente a la de la célula colindante. Si el número de células del modelo se incrementa, la distancia entre las Estaciones Base de frecuencia idéntica será muy grande, por lo que la interferencia co-canal correspondiente disminuirá.

En los enlaces de línea de vista solamente se considerará la onda superficial si las antenas se encuentran sobre la superficie. Para las ondas reflejadas se requiere de una superficie rugosa para que estas se dispersen y no lleguen a la antena. Cuando el ángulo de incidencia es grande se tendrá una superficie rugosa.

En los sistemas de comunicación de línea de vista la propagación de la señal electromagnética se vera afectada por fenómenos meteorológicos y de cobertura; se utilizarán técnicas de modulación angular como MPSK o técnicas Spread Spectrum. Para el diseño de este tipo de enlaces se involucra:

- \*Selección de sitios que estén en línea de vista entre si.
- \*Selección de la banda de frecuencia de operación, considerando interferencia de radio frecuencia y restricciones gubernamentales.
- \*Desarrollo de los perfiles de ruta para determinar la altura de las torres. Si la altura de estas excede un cierto límite económico entonces se debe repetir el primer paso, reconfigurando la ruta. En este paso debe de tomarse en cuenta que la energía de microondas es: atenuada o absorbida por objetos sólidos, reflectada por superficies conductoras planas tales como el agua, difractada alrededor de objetos sólidos, y reflectada por la atmósfera.
- \*Después de elegir una cierta confiabilidad del enlace, se deberán hacer los cálculos de enlace para asegurar que la señal recibida este por arriba del nivel de umbral del demodulador.
- \*Una vez acabados los estudios de gabinete se inspeccionará de nuevo la ruta para asegurar que lo acentuado en los pasos anteriores sea correcto.
- \*Instalación de los equipos, programación de los parámetros y pruebas de aceptación (se debe tener un BER  $\leq 10^{-7}$  por 24 horas).

La longitud del enlace base-móvil es usualmente de 24 km. Si el enlace es digital se tiene un BER  $\leq 10^{-7}$  para datos y  $\leq 10^{-4}$  para voz.

El método de análisis gráfico para calcular la altura de las torres es:

- a) El perfil del terreno en la ruta a utilizarse se gráfica a una escala conveniente sobre un terreno plano
- b) Se analiza el terreno para observar los puntos potenciales de obstrucción
- c) Para cada uno de estos puntos se calcula el incremento de altura, debido a la curvatura de la tierra y a la refracción
- d) Se calcula también la primer zona de Fresnel y se aplica el criterio respectivo de libramiento. El punto de reflexión se puede recorrer variando la altura de las torres, tomando en cuenta el criterio de libramiento
- e) Se suman los valores obtenidos en los puntos c y d a la altura de los obstáculos y se marca dicha altura en la gráfica
- f) Después de haber hecho los cálculos para todas las obstrucciones se traza una línea recta entre los puntos Tx y Rx de tal manera que se libren todos los obstáculos

g) Se lee en la gráfica la altura requerida de las torres.

En un enlace de línea de vista la potencia es:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_{SF} + G_{RX} - L_{RX} - L_{MISC} - M$$

donde:

$P_{RX}$ .- Es el nivel de potencia en la entrada del receptor

$P_{TX}$ .- Es la potencia de salida del transmisor

$L_{TX}$ .- Son las pérdidas en el sitio transmisor debidas a la línea de transmisión, conectores, divisores, etc.

$G_{TX}$ .- Es la ganancia de la antena transmisora

$L_{SF}$ .- Son las pérdidas en el espacio libre

$L_{MISC}$ .- Son las pérdidas misceláneas, las pérdidas por lluvia son para frecuencias mayores a 10 GHz y las pérdidas por gases para una frecuencia mayor a 1 GHz

$M$ .- Es el margen de implementación del enlace y es de aproximadamente 3 dB

Es conveniente que el transceptor sea multimodal (AMPS, TDMA); el software del transceptor estará configurado para cualquier modo de transmisión, procesamiento digital de señales, unidades modulares, capacidad multicanal, flexibilidad máxima y crecimiento futuro.

Las Estaciones Móviles o Estaciones de Usuarios Celulares (CSS) son las terminales portátiles utilizadas por los usuarios para enviar y recibir información.

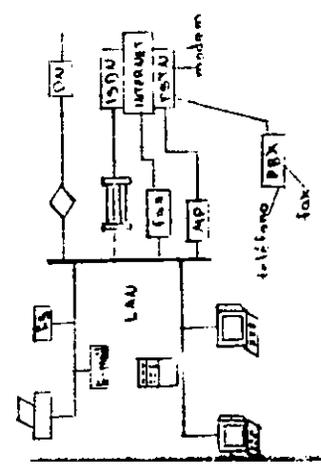
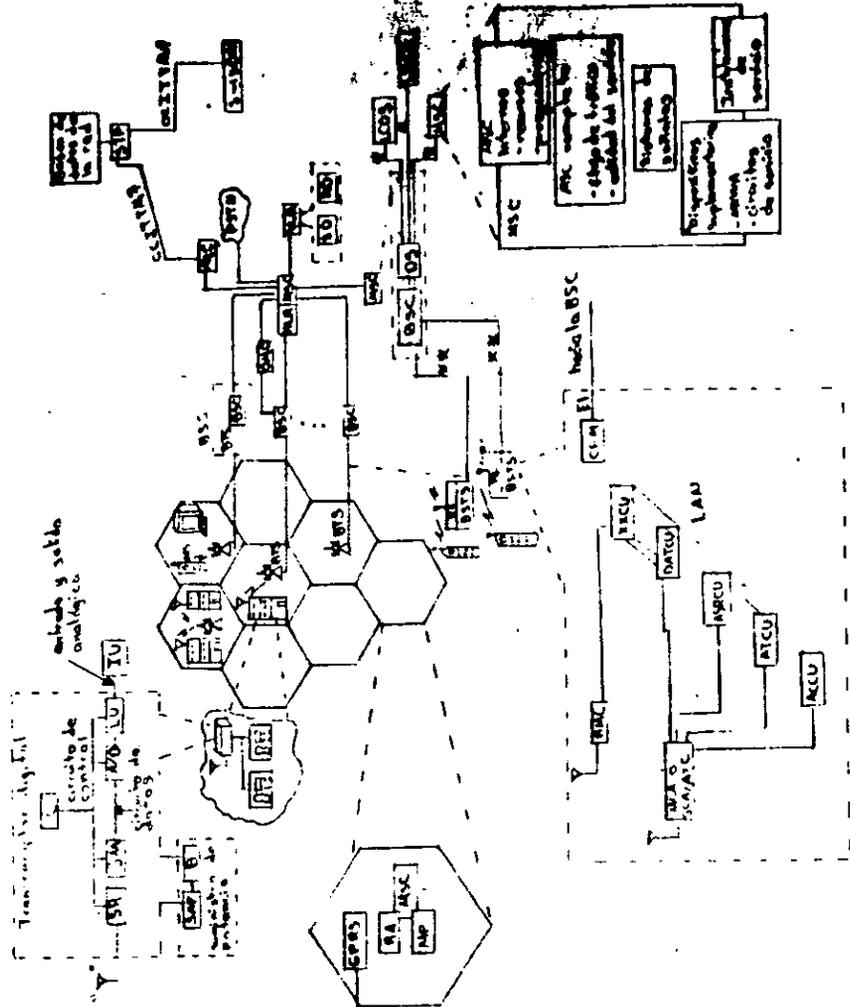
En el subsistema de radio se soportarán estándares de transmisión y datos diferentes, facilidad para el control y diagnóstico a distancia, configuración para la gama completa de frecuencias y facilidad para expandir su capacidad.

Las funciones de Operación y Mantenimiento serán centralizadas y se tendrá capacidad de asignar frecuencias a distancia. Las funciones de Operación y Mantenimiento serán:

- \* controlar las modificaciones del sistema,
- \* administración de abonados,
- \* enrutamiento, operación y mantenimiento del sistema de la red,
- \* medir el desempeño del sistema,
- \* aislar fallas a distancia,

y tendrá:

- \* interfaz inteligente con el usuario,
- \* base de datos distribuida, y
- \* operación, configuración y pruebas centralizadas de todo el equipo de radio



A/D	Subsistema de conversión analógica a digital	RD	Base de datos de roaming
ACCU	Unidad de canal de control analógico	RF	Radio frecuencias
ASRCU	Unidad de canal de barrido analógico	RMC	Acoplador múltiple del receptor
ATCU	Unidad de canal de tráfico analógico	SAP	Subsistema de suministro de potencia
B	Batería	SCA/ATC	Amplificador de canal individual/combinador de sintonía automático
BSC	Controlador de la estación base	SD	Base de datos del usuario
BSS	Subsistema de la estación base	SM	Subsistema de modulación
BST	Subsistema transceptor de la estación base	SR	Subsistema de radio
BTS	Estación base de transrecepción		Impresora
C	Controlador		Equipo ISDN
CFM	Módulo de funciones comunes		Transreceptor digital
BATCU	Unidad de canal de tráfico analógico doble		Ruteador
DN	Red digital	STP	Punto de transferencia de señalización
DS	Computador digital	VLS	Registro de localización de visitante
DTCU	Unidad de canal de tráfico digital		Unidad de abonado
E-mail	Servidor de correo electrónico		Teléfono celular
E-mail	Servidor de archivos	..	más de 26 T1's
GPRS	Servicio general de paquetes de radio		más de 4 T1's
HLR	Registro de localización local o de la posición base		
ISDN	Red digital de servicios integrados		
IU	Dispositivo de la interfase de usuario		
LAN	Red de área local		
LCOS	Computador de oficina central local		
LDCS	Computador de distancia local		
LU	Subsistema de interfase de la línea de usuario		
MCA	Amplificador multicanal		
MIMVA	Módulo de interfuncionamiento		
MP	Gabinetes de modems		
MS	Estación móvil		
MSC	Centro de conmutación móvil		
OMC	Centro de organización y mantenimiento		
PBX	Red telefónica privada		
PSTN	Red telefónica pública		
RA	Adaptador de tasas		

## CONCLUSIONES

El objetivo que esta tesis cumple es el de dar a los estudiantes de la carrera de telecomunicaciones un panorama general de los diferentes medios de comunicación inalámbricos, sus características de funcionamiento, aplicaciones y mercado.

Para poder comprender algunos de los conceptos aquí tratados es necesario tener los conocimientos que las materias de comunicaciones dan como por ejemplo, modulación y corrección de errores de Comunicaciones Digitales, tipos de antenas de Radiación y Propagación, características de los diferentes tipos de satélites de Radio Microondas y Satélites, tipos de polarización de Teoría Electromagnética, etc.

El motivo por el cual se eligió este tema principalmente es que las tecnologías inalámbricas serán el medio de comunicación del futuro. A pesar de esto, el mercado PCS en México está en sus inicios en varios países, actualmente en ellos se siguen haciendo las elecciones sobre las normas que estos adoptarán. La adopción de ellas depende de las características que se requieran en el mercado local. En el mercado mexicano se tiene una penetración muy baja, debido a que no se cuenta aún con la infraestructura y regulación necesaria. En los sistemas inalámbricos, el software que se requiere es complejo ya que las redes tienen funciones también complejas para poder manejar los diferentes servicios, entre los que se encuentra el handoff.

En un principio como se pudo ver, los sistemas celulares fueron analógicos pero debido al incremento en la demanda de estos fue necesario ampliar la capacidad por lo que actualmente se utilizan los sistemas digitales. Con los sistemas digitales se amplía la capacidad y se tiene mayor seguridad para que teléfonos "clones" no puedan tener acceso a la red.

El desarrollo en el campo del celular y comunicaciones de radio inalámbricas están dirigidas por mecanismos de seguridad, gran capacidad, tamaño pequeño de las

células, menor potencia de transmisión, uso e instalación sencillas, costos bajos, y características de interés.

Los requerimientos futuros en celular y comunicaciones de radio inalámbricas en el sector de los negocios y privado son:

- \* mejor área de cobertura,
- \* mejorar la calidad de la señal y confiabilidad,
- \* incorporar servicios de datos, textos e imágenes,
- \* terminales de peso ligero,
- \* menor costo, y
- \* operación basada en conceptos de uniformidad y economías de escala.

Los beneficios que deben desarrollarse para que una arquitectura PCS sea mejor en comparación con celular son reducir el tráfico aéreo originado por la señalización entre grupos así como reducir el tiempo de conexión para el establecimiento de las llamadas, brindar mayor ubicuidad que celular, y mejor administración del espectro de RF.

Al poner en funcionamiento una red PCS se debe de tomar en consideración el tiempo de establecimiento de la llamada y la carga de señalización ya que de estos factores dependerá la calidad del servicio. El tiempo de espera promedio para handoff depende del número de canales disponibles y del tiempo que dura la llamada.

Los requerimientos de PCS son:

**Unidad de Usuario:** La definición que actualmente se tiene para el servicio de comunicación personal no es clara sin embargo, se observan algunas características que estas unidades deben de tener, como lo son la facilidad que presenten para ser llevadas a cualquier lugar, un uso amigable y prestar servicio en cualquier lugar del mundo.

**Movilidad:** Con la movilidad se le da al usuario el servicio que este desee, sin importar el lugar en que se encuentre y la hora en que él lo requiera. Las unidades de usuario trabajan individualmente en todo momento, y no existe ninguna diferencia entre el servicio que se presta a las oficinas y a los hogares.

**Eficiencia Espectral:** Al seleccionar un sistema PCS se debe de considerar la eficiencia espectral; debido a que el espectro es un recurso limitado. Un sistema PCS necesita servir a una gran cantidad de clientes en un espectro localizado limitado.

**Concepto de unidad:** Se espera que la aplicación del usuario PCS este diseñada como una unidad, es decir que trabaje en sistemas múltiples.

**Red Inteligente:** El manejo de un sistema PCS requiere de una red inteligente con una base de datos centralizada, para proporcionar todos los servicios que el usuario requiera mediante puntos de control del servicio.

**Acceso Múltiple:** Para que las llamadas sean servidas, el sistema proporciona una asignación de un canal de radio.

Entre los problemas a los cuales se tienen que enfrentar los carriers PCS, está el de reducir los diferentes tipos de interferencias que se ocasionan en el ambiente, así como tener una utilización eficiente del espectro, y aumentar la capacidad de los canales.

Existen diferentes técnicas para incrementar el número efectivo de canales que se tienen. Entre estas técnicas se encuentran la reutilización de frecuencia y la asignación de canales dinámicos, de esta manera los canales disponibles se asignan a un usuario activo solamente determinado tiempo. Las redes cuentan con sistemas que se adaptan a la asignación de canales según la carga de tráfico y la interferencia en los canales.

Mediante un control de potencia adecuado en la transmisión se disminuye la interferencia que causan los usuarios, por lo que la calidad en las llamadas se mejora.

La capacidad del usuario depende de factores como lo son la cantidad disponible del espectro, tamaño de la cobertura de radio desde la estación base, y la interferencia máxima que se puede soportar en el enlace.

El tamaño de la célula asegura que se tenga el mejor funcionamiento y calidad del servicio. Con la disminución del tamaño de la célula se incrementa la capacidad de la red, pero esto trae como consecuencia que la infraestructura que se requiere en la red aumente su complejidad.

Debido a la necesidad de vencer las limitaciones por el limitado espectro electromagnético, se ha tenido que recurrir a técnicas como lo son los saltos múltiples de frecuencia, que permiten tener la mejor utilización del espectro.

Existen problemas de propagación los cuales se deben al medio ambiente, este problema es difícil de resolver y los sistemas PCS deben de encontrar maneras de solucionarlos. En el medio ambiente de propagación se tiene la difracción, dispersión y reflexión que causan que la señal no llegue con las características deseadas.

Durante la propagación se considera el traslape entre las células. El traslape y la forma se determina en gran parte por la distribución que se tenga en las calles.

La propagación que se tiene en el interior de los edificios depende del piso en el que uno se encuentre, del material con que este construido el edificio y del tipo de ventanas, ya que las ventanas con matiz metálico impiden una penetración adecuada de las señales.

En los edificios modernos en donde se tienen paneles movibles, es más sencillo tener una propagación interior adecuada ya que estos paneles se pueden cambiar.

En los edificios antiguos es más difícil tener una propagación interior adecuada ya que los muros no son móviles y se dificulta la penetración de la señal.

Ya que es muy importante la propagación que se tenga en el ambiente, se han estudiado diferentes modelos de propagación, entre los que se encuentran los modelos estadísticos y específicos. Los modelos específicos se utilizan para determinar en una zona el ambiente de propagación. El modelo estadístico describe solamente la propagación que se tendrá en promedio.

La computadora es una herramienta importante para diseñar las redes y ver la propagación que se tendrá en el interior, con la computadora se pueden hacer simulaciones de la propagación de la señal que se aproximen más a un valor real. Además, debemos recordar a PCS como un sistema digital.

Los modelos de tráfico son una herramienta invaluable para la planeación y diseño de la red. Estos son útiles en áreas en donde se requiere comparar la arquitectura de la red, la localización de la fuentes de la red y la evaluación del funcionamiento de sus protocolos.

El mercado para los diferentes servicios inalámbricos de comunicación esta creciendo rápidamente. Por ejemplo, en Estados Unidos existían más de 30 millones de usuarios celulares en febrero de 1997, y este número esta creciendo exponencialmente. Ya que el uso de los sistemas inalámbricos se ha ido incrementado también se incrementa el uso no autorizado por los teléfonos "clones", por lo que los carriers deben de ofrecer seguridad a los usuarios. Entre las soluciones que se tienen para evitar el uso no autorizado se encuentra la autenticación mediante los números de identificación personal.

Con la apertura mundial de mercados que actualmente se tiene, el mercado PCS al igual que otros mercados busca alianzas para poder crear compañías que tengan un gran valor competitivo.

Las redes inalámbricas están teniendo un gran impacto en las industrias y en la forma en que las personas utilizan los servicios de información. El interés por la

industria inalámbrica crece cada vez más, por lo que se realizan investigaciones para encontrar formas que permitan tener un mejor funcionamiento y una mejor propagación de las señales.

Sin la estandarización, la interoperabilidad de los sistemas y servicios es imposible, y las economías de escala nunca serían realidad para los inversionistas y fabricantes. Históricamente la estandarización se ha establecido por los jugadores dominantes en una industria en particular. Entre más rápido los carriers lleguen a adoptar una norma estos tendrán la capacidad de competir rápidamente en el mercado, por lo que actualmente la mayoría en América está utilizando la norma GSM. La adopción de esta norma se debe a que esta terminada y la norma CDMA que aunque ofrece mayores ventajas aún no ha sido terminada oficialmente, por lo que los carriers no quieren tomar el riesgo de elegir una norma que aún no esta finalizada y que después podría no reunir todas las características que se espera que CDMA tenga.

El paging a pesar de que se empezó a comercializar antes que el celular no se ha popularizado grandemente, por ejemplo en Asia, que es un mercado grande ya que se tiene un poder adquisitivo mayor la penetración es del 25%, mientras que en Norteamérica la penetración es del 12%. En México, es una buena opción de comunicación personal por su bajo costo.

En México, la penetración del paging ha sido lenta debido a que la gente prefiere comunicarse directamente con la persona, además, la penetración que se ha conseguido tener está en el paging alfanumérico. En países como E. U. en donde se tiene acceso fácilmente a los teléfonos públicos, la penetración que se ha conseguido esta en el paging numérico; mientras que en México las personas desean saber inmediatamente el mensaje para no tener que buscar un teléfono.

Los servicios telefónicos son aún escasos en las poblaciones rurales en México. Es por este motivo por el que se están implementando redes celulares, con las cuales no se requieren hacer excavaciones para colocar las líneas telefónicas con esto, las poblaciones tendrán mayor acceso a la comunicación, quizás después de que el desarrollo en líneas telefónicas llegue a completarse el paging sea más utilizado.

Entre otros servicios inalámbricos que se están desarrollando se encuentran los sistemas de transporte inteligente. En México aún no se tienen este tipo de servicios pero en países como E. U. y Japón se tienen grandes avances, siendo Japón el país que más avances tiene en este tipo de servicios. Los sistemas de posicionamiento global ya están siendo comercializados en Japón, y todas las compañías automotrices los ofrecen.

Con estos sistemas lo que se intenta es tener un manejo más rápido en las comunicaciones terrestres, evitar accidentes mediante el acceso por parte del usuario a las condiciones del terreno y manejo más eficientemente de los servicios de emergencia.

México tiene un nivel privilegiado entre los países de América, ya que nuestro país despierta gran interés para invertir en diferentes aspectos entre los que se encuentran las telecomunicaciones

El crecimiento que se ha tenido en México en el sector de las telecomunicaciones ha sido del 40%; sin embargo, las inversiones que se están haciendo actualmente en el sector de las telecomunicaciones se han enfocado en las comunicaciones telefónicas de larga distancia; ya que con estas los carriers recuperan rápidamente la inversión realizada, después de esto lo que se intenta es abrir el mercado hacia la telefonía celular.

En lo que respecta a la educación, en la Facultad de Ingeniería se han realizado modificaciones a los planes de estudio y se creó la carrera de Ingeniero en Telecomunicaciones ya que se vio la importancia que esta área está adquiriendo; los planes de estudio se apegan a lo que las empresas están buscando en un Ingeniero sin embargo, aún se tienen algunas deficiencias en lo que respecta a la vinculación que la Facultad debe de tener con las empresas. Los estudiantes deben de tener más acceso a problemas reales, a los cuales se enfrentarán como futuros ingenieros.

Para finalizar se pueden predecir algunas de las tendencias que las comunicaciones inalámbricas tendrán en un futuro debido a las actuales características que este mercado presenta. Existirá una gran variedad de estándares y elecciones para las comunicaciones inalámbricas. Las razones de esto son:

- \* Los requerimientos para las LAN, WAN y MAN son tan diversos que surgirán nuevas tecnologías.
- \* No hay un jugador dominante en la industria inalámbrica que pueda dictar un estándar. Ericsson, Motorola, AT&T, los operadores celulares y las redes de paging son lo suficientemente fuertes como para tener un estándar y mantener al mercado dividido.

Esta variedad de estándares podría llevar a una confusión inicial mientras que los usuarios y carriers hacen sus elecciones, pero al final los usuarios se beneficiarán con una mayor diversidad de características y capacidades.

La penetración que PCS llegue a tener en los mercados dependerá de las características y servicios que estos sistemas ofrezcan; debido a que los usuarios están acostumbrados a un cierto nivel de confort, los sistemas PCS deberán de satisfacer estas demandas y crear nuevas características que sean de interés, para que puedan atraer nuevos usuarios.

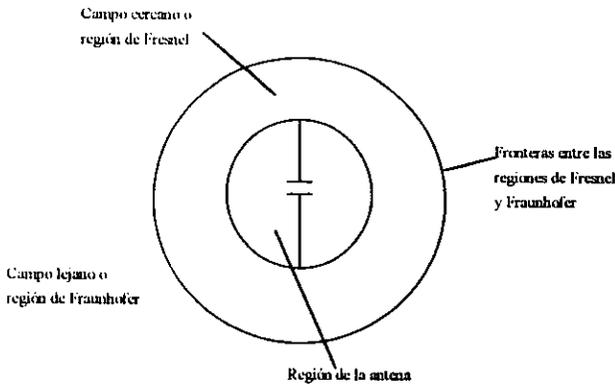
## Apéndice.

**AMPLITUD DE BANDA.-** Diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja de una señal transmitida utilizada para voz, datos o información de video.

**ANTENA.-** Estructura asociada con la región de transición de una onda guiada y una onda en el espacio libre. Es un transductor de ondas electromagnéticas a pulsos eléctricos (voltaje y corriente); acoplador de impedancias.

**BER.-** La tasa de bits erróneos es una medida de la calidad de la transmisión digital, es usualmente una razón, 1 error en  $10^5$  ó  $10^9$  bits.

**CAMPOS DE UNA ANTENA.-**



**Región de la antena:** Transferencia de una campo electromagnético en corriente y voltaje.

**Región de Fresnel:** Las características de radiación de la antena no son constantes, el campo varía totalmente dentro de esa zona en función de la distancia y orientación en que se mida.

**Fraunhofer.-** Región en donde las características de radiación son constantes al menos en dirección. Existe una transición gradual entre el campo cercano y lejano.

**CAPACIDAD DE CANAL.-** Velocidad máxima a la cual se surte de información segura al destino.

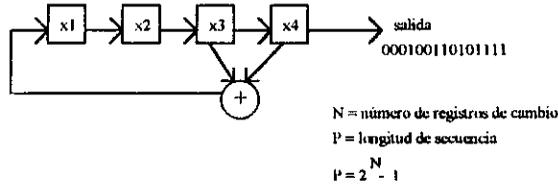
**CHIP.-** Son pulsos mucho más cortos que los bits del mensaje.

**C/I.-** Requerimiento de la razón portadora/interferencia.

**CÓDIGO CONVOLUCIONAL.-** En un código convolucional la palabra del código que excita al codificador depende de los bits del mensaje del bloque, y de los bits de mensajes de bloques previos.

**CÓDIGO REED SOLOMON.-** Código que corrige errores aleatorios y ráfagas de errores.

**CÓDIGO PN.-** Código generador de secuencia de longitud máxima.



**CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS.-** Es la conmutación o diseño de red que es capaz de proporcionar una conexión directa entre los puntos de origen y fin de la comunicación para la duración completa de una llamada.

**CORRECCIÓN.-** Se determina exactamente cual es el bit erróneo.

**DATOS.-** Es el termino utilizado para describir la información numérica y alfabética almacenada y procesada por computadoras.

**DESVANECIMIENTO RAYLEIGH.-** Todas las ondas reflectadas recibidas en la unidad móvil se combinan para producir una señal de desvanecimiento multitrayectoria.

**DETECCIÓN.-** Se hace detección cuando se determina la presencia de un error sin saber donde se localiza.

**DETECCIÓN NO COHERENTE.-** Es la recuperación de la señal de banda base sin utilizar una portadora de exactamente la misma frecuencia (y fase) que se uso para la modulación.

**DECIBEL (dB).-** Una medida de la fuerza de la señal, volumen, amplificación o perdida de la señal.

**DISTRIBUCIÓN RICE.-** Es cuando se presenta una onda con una fuerza relativamente grande en comparación con las ondas reflectadas.

**DIVERSIDAD.-** Los esquemas de diversidad proveen dos o más entradas a la unidad de recepción móvil así, el fenómeno de desvanecimiento entre esas entradas no está correlacionado. El mensaje llevado por dos canales debe ser siempre el mismo. Existen diferentes métodos que pueden crear la menor correlación entre dos señales desvanecidas.

**DIVERSIDAD DE FRECUENCIA.-** Cuando dos frecuencias separadas por un ancho de banda  $B_c$  es tal que dos señales desvanecidas recibidas en dos frecuencias diferentes no están correlacionadas. Un valor de  $B_c$  de 50 kHz debe utilizarse para áreas urbanas, y de 300 kHz para áreas suburbanas. En áreas abiertas no se observan desvanecimientos severos, por lo que no se requiere diversidad. Para utilizar  $B_c$  en ambas áreas suburbanas y urbanas,  $B_c$  debe ser de 300 kHz o mayor. Con la diversidad de frecuencia el costo aumenta ya que se deben de tener dos equipos para la misma función.

**DQPSK.-** Es la transmisión de dos señales utilizando portadoras de la misma frecuencia pero en cuadratura de fase.

**DUPLEX.-** Se tiene una transmisión de las señales en dos direcciones, en ambas direcciones recepción y transmisión sin interferencia.

**ECUALIZACIÓN.-** Es el proceso realizado sobre las líneas para contrarrestar efectos de distorsión y atenuación; estabiliza la fuerza de la señal de varias componentes de frecuencia para igualar a la señal original.

**EFICIENCIA DE CANAL.-** La eficiencia de canal esta definida por el número máximo de canales que se pueden proporcionar en un ancho de banda espectral total.

**EFICIENCIA ESPECTRAL.-** La eficiencia espectral esta definida como el número máximo de llamadas que se pueden servir en una área dada. En la mayoría de los sistemas la eficiencia de canal esta directamente relacionada con la eficiencia espectral.

**ERLANG.-** Medida de la intensidad de tráfico en los circuitos de conmutación de las redes. Un Erlang de tráfico representa la demanda promedio de una llamada en progreso continuamente en la hora de ocupación de una ruta o conmutación dada.

#### ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.-

Banda de frecuencia	Designación métrica	Designación coloquial	Banda de microondas (GHz)	Identificación	Usos
0 a 30 Hz	Ondas gigamétricas	VELF			Aplicaciones de solenoides, relevadores y motores de D.C
30Hz a 300Hz	Ondas megamétricas	ELF			Motores de A.C., bocinas, micrófono, fuentes de poder.
300Hz a 3kHz	Ondas megamétricas	VF			Interfonos, señalización de baja frecuencia.
3kHz a 30 kHz	Ondas miriamétricas	VLF			Localización de largo alcance, sonar.
30 kHz a 300kHz	Ondas kilométricas	LF			Auxiliares de navegación (radiofaros)
300kHz a 3MHz	Ondas hectométricas	MF			Radio marítimo, buscador de dirección, llamadas de auxilio, guardacostas, radiodifusión de A.M. (550kHz a 1600kHz)

3MHz a 30MHz	Ondas decamétricas	HF			Búsqueda y rescate, comunicación de aviación a barco, telegrafo, comunicación de barco a tierra
30MHz a 300MHz	Ondas métricas	VHF			Canales de T.V. VHF, radiodifusión de F.M. (88MHz a 108MHz), transporte terrestre, aviación privada, policía, taxis.
300MHz a 3GHz	Ondas decimétricas	UHF	0.5 a 1.0 1.0 a 2.0 2.0 a 3.0	VHF L S	Telefonía celular, canales T.V. en UHF, radiosonda, radar, radio vigilancia
3GHz a 30GHz	Ondas centimétricas	SHF	3.0 a 4.0 4.0 a 6.0 6.0 a 8.0 8.0 a 10.0 10.0 a 12.4 12.4 a 18.0 18.0 a 20.0 20.0 a 26.5 26.5 a 40.0	S C C X X Ku K K Ka	Radioaltímetros, microondas terrestres, comunicaciones vía satélite, microondas punto a punto, radar meteorológico, radar aéreo.
30GHz a 300GHz	Ondas milimétricas	EHF			Comunicaciones entre ferrocarriles, sistemas de radar para aterrizajes, aplicaciones aun en experimentación.
300GHz a 3THz	Ondas decimilimétricas				Banda en experimentación

Significa que estas bandas son microondas

- VELF Frecuencia extremadamente muy baja
- VF Frecuencia para voz
- LF Frecuencia muy baja
- HF Frecuencia alta
- UHF Ultra alta frecuencia
- EHF Frecuencia extremadamente alta
- ELF Frecuencia extremadamente baja
- VLF Frecuencia muy baja
- MF Frecuencia mediana
- VHF Frecuencia muy alta
- SHF Super alta frecuencia

**ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.-** Son las frecuencias que se encuentran por encima de las audibles pero por debajo de las frecuencias visibles.

**FDM.-** Es una técnica que permite a un número de señales de audio diferentes dividir una misma línea sin interferencia. Una línea de transmisión con un gran ancho de banda es dividido en pequeños anchos de banda utilizados cada uno para transmitir una señal de usuario diferente.

**FEC.-** Relación que indica que en una cantidad de bits de información "x" hay una cantidad "y" de bits erróneos.

**FRAME RELAY.-** Es una tecnología para transportar información a través de redes privadas y públicas que permiten aprovechar al máximo los circuitos digitales. También denominado "relevo de tramas" (debido al hecho de trabajar con paquetes de información llamados tramas que son la unidad básica de transporte)

**FRECUENCIA.-** En señales electromagnéticas, el número de ondas hertzianas por segundo de la señal.

**FSK.-** Es cuando una señal portadora es modulada en frecuencia con una señal de datos binaria, y la señal portadora se alterna entre dos o más valores fijos.

**FUERA DE BANDA.-** Término utilizado para describir el rango de frecuencias dentro de una localización de 4 kHz del ancho de banda, fuera del rango de conversación. Se utiliza para la interconexión de sistemas de señalización, para que los tonos de señalización no interfieran y además se evita que teléfonos no autorizados puedan tener acceso.

**FULL DUPLEX.-** Full duplex permite permanentemente, y simultáneamente transmisión de información en dos direcciones, sin interacción o interferencia de la señal recibida y transmitida.

**GEO.-** Satélites de comunicación en una órbita arriba del ecuador de la tierra, moviéndose a la misma velocidad de rotación de la tierra.

**HALF DUPLEX.-** Un dispositivo de telecomunicaciones que permite la transmisión de señales en dos direcciones, pero únicamente en una dirección a un tiempo. Así, un dispositivo half duplex no puede transmitir y recibir simultáneamente.

**HORA DE OCUPACIÓN.-** Es el periodo continuo de una hora que en días consecutivos forma la parte ocupada de un año y contiene la máxima intensidad promedio de tráfico.

**INTENSIDAD DE TRÁFICO.-** La medición de la demanda instantánea en una red, cuantificada en términos del número de usuarios que utilizan la red simultáneamente.

**INTERFACE.-** La interacción entre capas adyacentes (en sus fronteras).

**INTERFERENCIA.-** Un deterioro de la señal que es causado por la interacción de una señal adyacente no deseada.

**INTERFERENCIA DE CANAL ADYACENTE.-** Es la interferencia de canales que están cercanos uno a otro en el espectro de frecuencias.

**INTERFERENCIA CO-CANAL (CO-CHANNEL).-** Es la interferencia producida por la reutilización de frecuencias en la célula.

**INTERFERENCIA INTERCELULAR.-** Interferencia que se tiene entre las células.

**INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA.-** Es cuando se enciende el final de un bit con el principio de otro (la señal no puede llegar a cero) lo que implica pérdida de información.

**INTERFERENCIA INTRACELULAR.-** Es la interferencia originada en el interior de la célula.

**INTERFERENCIA NEAR-FAR.-** Considerando que cada unidad móvil se mueve dentro de la cobertura de una estación base, algunas unidades móviles están siempre más cerca de la estación

base que otras. Cuando dos unidades móviles transmiten simultáneamente señales a la estación base, la señal recibida de la unidad móvil cercana a la estación móvil es más fuerte que la señal recibida desde una unidad móvil lejana. La señal recibida con más fuerza cubrirá a la débil. El grado de cubrimiento depende de la diferencia de distancia a la estación base. La diferencia de potencia debida a la pérdida de trayectoria entre la localización receptora y los dos transmisores es la razón de interferencia near-far.

**INTERPOLACIÓN DE VOZ.-** Método para llevar a cabo la multiplicación de circuitos por el entremezclado de otras conversaciones en el espacio entre palabras individuales, oraciones y en el periodo mientras que el usuario lejano está hablando.

**ISDN.-** Jerarquía planificada de sistemas de transmisión y conmutación digital, sincronizados de manera que todos los elementos digitales operen en forma compatible para transmitir señales de voz, datos y video.

**LAN.-** Una red privada de comunicaciones que enlaza terminales y computadoras de un área específica tal como un edificio de oficinas o un complejo industrial; usualmente a lo largo de una espina o círculo de una longitud menor de 200 m.

**LÍNEA DE VISTA.-** La trayectoria de línea de vista es la trayectoria clara desde los edificios.

**LONGITUD DE ONDA.-** Es la distancia entre máximos sucesivos de una onda viajera.

$$\text{longitud de onda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\text{frecuencia de la onda viajera Hz}}$$

**LOOP.-** En telefonía, las líneas de transmisión local que conectan al usuario con la central telefónica más cercana.

**MÉTODO DE MARKOV.-** La localización Markov asigna a cada llamada nueva el primer canal que no esta siendo utilizado ni interferido.

**MICROONDAS.-** Son sistemas que operan en una frecuencia de portadora en el rango de 1-30 GHz. En las redes de telecomunicaciones, las microondas de radio son utilizadas para atravesar distancias grandes y zonas geográficas que presentan numerosas dificultades.

**MODEM.-** Abreviatura de "modulador demodulador"; dispositivo utilizado en cada extremo de un circuito de transmisión vocal telefónica que permite la transmisión de impulsos de datos digitales en forma de tonos de audio. El modem permite el transporte de la información de datos digitales sobre líneas de transmisión analógicas.

**MONTE CARLO.-** Análisis de los sistemas o simulaciones en donde se generan números aleatorios.

**MULTIPLEXAJE.-** Combinación de varios canales de comunicación para que compartan un circuito común.

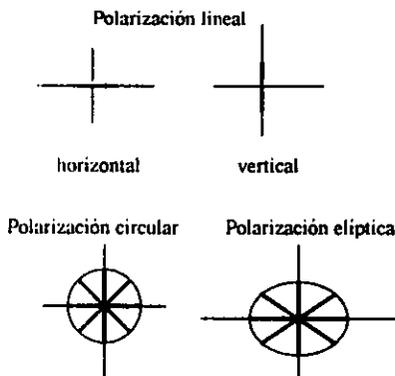
**MULTITRAYECTORIA.-** Variaciones en la señal que se deben a las ondas reflejadas de los edificios cercanos y otras estructuras.

**PAGING.-** El paging es una forma limitada de radio móvil ya que la comunicación en dos direcciones no está normalmente disponible. El objetivo de un sistema de paging es notificar al personal que está trabajando dentro de un rango de la estación base que se requiere que ellos se reporten.

**PCM.-** Método de conversión utilizado para permitir que la voz u otra señal de audio analógica sea transportada sobre una trayectoria de transmisión digital.

**PCN.-** Técnica e infraestructura para proporcionar el servicio PCS.

**POLARIZACIÓN.-** Orientación que presentan el campo eléctrico y magnético.



**PRINCIPIO DE HUYGENS.-** Cada punto en un frente de onda primario sirve como fuente de onditas esféricas secundarias tales que el frente de onda primario un momento más tarde es la envolvente de estas onditas.

**PROBABILIDAD OUTAGE.-** La probabilidad de que se tenga una recepción no satisfactoria.

**PROCESADOR IF.-** Es una pieza de equipo que opera a frecuencias intermedias de aproximadamente 100 MHz a 1GHz.

**PROPAGACIÓN.-** Capacidad de desplazamiento de ondas.

**PROTOSCOLOS.-** Son las reglas de algún procedimiento por el cual los dispositivos de computo se intercomunican.

**PROTOSCOLOS DE INTERFACE.-** Reglas para lograr interacciones y comunicación entre capas adyacentes.

**RADIO FRECUENCIAS.-** Es la utilización de las ondas electromagnéticas y su propagación o transmisión en el espacio para lograr enlaces de telecomunicación para poder transmitir señales (datos, voz, video).

**RANGO DINÁMICO.-** El rango dinámico es la diferencia entre ecos grandes y pequeños que se observa en los sistemas.

**RED INTELIGENTE.-** Red que tiene una base de datos centralizada y provee servicio a sus clientes a través de un punto de control de servicio. La red inteligente en un sistema PCS reconoce únicamente el número de identificación del usuario, no de la unidad del usuario.

**RED JERÁRQUICA.-** Sistema de comunicaciones diseñado con etapas específicas de canalización y multiplexaje de señales para mejorar la eficiencia de transmisión.

**RED PÚBLICA DE CONMUTACIÓN.-** Sistema de telecomunicaciones que enlaza todos los teléfonos mediante circuitos cerrados, troncales o conmutadores propiedad de y operados por compañías telefónicas públicas u organismos gubernamentales de comunicación.

**REPETIDOR.-** Un dispositivo insertado en un estado intermedio de una línea de transmisión analógica para contrarrestar los efectos de deterioro de la señal (particularmente atenuación) que ocurren en líneas de una gran distancia.

**RETARDO DE PROPAGACIÓN.-** El retardo encontrado por una señal durante el curso de la transmisión del origen al destino.

**REUTILIZACION DE FRECUENCIA.-** En un sistema celular de siete frecuencias diferentes, se puede observar que un usuario móvil, que se encuentra presente cerca de la frontera de la célula B, y que sea servido por la célula adyacente A, puede producir interferencia a otro usuario móvil que es servido por la célula B y que también se encuentre cerca de la misma frontera, para evitar que los usuarios se provoquen interferencia mutua porque los dos son servidos por ambas células A y B, con niveles de potencia comparables, a cada célula se le asigna diferente banda de frecuencias de operación. En un sistema de 7 frecuencias, cada una con un ancho de banda  $B = 12.5 \text{ MHz} / 7 = 1.8 \text{ MHz}$ . Empleando esta asignación de frecuencias, las células adyacentes operarán en diferentes bandas y como consecuencia la interferencia entre usuarios de células adyacentes no presenta un problema más. Esta técnica es denominada reutilización de frecuencias, y como una respuesta de este sistema, no puede haber más de  $N = 1.8 \text{ MHz} / 30 \text{ kHz} = 60$  usuarios por cada célula. Algunos de estos canales son reservados para señalización, permitiendo aproximadamente 55 usuarios por célula.

**SATÉLITE.-** En términos de telecomunicaciones, una estación repetidora de radio operando en el rango de frecuencias de las microondas, el cual está situado en el espacio en una órbita de la tierra.

**SEÑALES BANDA BASE.-** El término banda base se usa para designar la banda de frecuencias de la señal que entrega la fuente. En la comunicación de banda base, las señales se transmiten sin modular, esto es, sin ningún corrimiento del rango de frecuencias de la señal. Las señales de banda base poseen potencia adecuada a las frecuencias bajas, no pueden transmitirse a través de un enlace de radio pero sí resultan adecuadas para su transmisión a través de un par de alambres o cables coaxiales.

**SEÑALIZACIÓN.-** En una red de comunicaciones es la inteligencia que se requiere por un circuito de abonado para interconectarse con cualquier otro en esa red. La señalización también proporciona al abonado ciertos estados de información tales como tonos de marcado, tono de ocupado, etc. Existen dos tipos de señalización:

**Línea.-** Se utiliza para la comunicación entre equipos. Comunicación terminal-terminal, abonado-abonado,...

**Registro.-** Se utiliza para llevar el registro de cada equipo.

**SERVICIOS FIJOS.-** Servicios restringidos a señales de televisión, radiotelefonía, radiotelegrafía, enlaces estudio planta para los sistemas de radiodifusión de AM y FM, música continua, enlaces de microondas punto a punto y punto a multipunto, radiotransmisión de datos, etc.

**SERVICIOS MÓVILES TERRESTRES.-** Radiotelefonía celular, radiocomunicación móvil especializada de flotillas, radiolocalización móvil de personas, búsqueda de personal, radiotelefonía privada, banda civil, sistemas personas de comunicación, etc.

**SHADOWING.-** Mediante la difracción la energía de radio frecuencia viaja en ambientes urbanos y rurales sin una trayectoria de línea de vista, este fenómeno es llamado "shadowing".

**SIMPLEX.-** Una transmisión destinada a permitir únicamente en una dirección la transmisión.

**SPOTBEAMS.-** Son los haces del satélite que cubren cierta área geográfica.

**SPREAD SPECTRUM.-** Debido a que el espectro electromagnético es un recurso finito; es necesario encontrar alternativas que permitan la optimización del espectro radio eléctrico.

La tecnología Spread Spectrum técnicamente es otro tipo de modulación de radio frecuencia, que fue desarrollada para uso exclusivamente militar ya que ofrece mayor protección a las comunicaciones contra interferencias. Con esta técnica varios radios pueden compartir la misma banda de frecuencias y pueden convivir con otros sistemas convencionales debido a su nivel de potencia de operación.

Spread Spectrum es básicamente un sistema de transmisión, en donde, la energía media de la señal transmitida se reparte sobre un ancho de banda mucho mayor que la de la información y

es precisamente de este hecho, del cual se deriva el nombre de la tecnología. Este sistema esencialmente intercambia un mayor ancho de banda de transmisión con una densidad espectral más baja, y entre sus cualidades más sobresalientes son: mayor rechazo a las señales interferentes que se ocasionan en la misma banda de frecuencias, también permite la posibilidad de compartir el espectro con sistemas de banda estrecha debido a la posibilidad de transmitir a una potencia inferior en la banda de paso de los receptores de banda estrecha.

Spread Spectrum está basado en la digitalización de una señal y sobretodo en la encriptación de la misma, y ha sido considerado como un decodificador inviolable.

El reciente uso de protección en las comunicaciones confidenciales o el uso de sistemas de encriptación cada día es mayor, tanto, que ha sido necesario llevar los enlaces a un método de transmisión que ha ganado un reconocimiento y uso extenso. Este sistema es conocido como Spread Spectrum. En una clase de transmisión diferente la portadora del radio es controlada por una secuencia usualmente pseudoaleatoria de números o bits. El receptor, el cual conoce esta secuencia, la usa para reconstruir la portadora original.

Una manera de hacer esto, es mediante un proceso llamado Salto de Frecuencia (*Frequency Hopping*). El transmisor emite sucesivamente en diferentes frecuencias en rápidos bloques cortos en un orden controlado sobre un rango ancho. El receptor conoce este orden, reconoce los bloques sucesivos y los estructura para reconstruir el mensaje original.

Otra forma de transmisión es la conocida como Secuencia Directa "Direct Sequence" y emplea una secuencia pseudoaleatoria de la misma manera que la técnica de salto de frecuencia, la única diferencia de la técnica anterior, es que esta emplea pulsos mucho más cortos que los bits del mensaje que son llamados "Chips". Estos Chips multiplican sucesivamente fracciones de los bits; el resultado es entonces transmitido. En el receptor la señal que va llegando es multiplicada por el chip de secuencia para recuperar los bits originales.

Debido a que este tipo de transmisión emplea en todas sus formas o técnicas un ancho de banda extenso en el espectro electromagnético; muchas veces mayor que el ancho requerido por la señal de la información original, ha sido llamado Spread Spectrum. Dos características principales son: su relativamente escasa detectabilidad y su invulnerabilidad a la interceptación de la señal. Una señal interferente, no importa que tan fuerte, en una frecuencia única, a algunas veces una banda de frecuencias, destruirán únicamente una porción pequeña del espectro total usado para transmitir la información. Su escasa posibilidad de detectabilidad al final, en su forma de secuencia directa deriva de dos hechos: una ordinaria banda angosta de radio fallaría en casi toda la transmisión y la transmisión se oíría no como una señal sino como ruido, de igual manera, si el receptor fuese de banda ancha, la señal es tan ancha que pasa desapercibida por estar debajo del nivel de ruido que monitorea el receptor.

Cuando los canales son usados ligeramente la tecnología Spread Spectrum permite la operación simultánea de muchos transmisores a través del mismo ancho de canal con muy poca interferencia. La razón es que distintas secuencias pseudoaleatorias coincidirán muy raramente; pero cuando demasiados transmisores son puestos en operación al mismo tiempo el nivel de ruido se incrementa en proporciones intolerables cuando el uso es constante.

La secuencia ya sea de frecuencias, bloques de tiempo o chips, es elemento crítico en Spread Spectrum. Si cualquiera lo conociera, o todos emplearán el mismo orden de secuencia, por ejemplo, subir desde bajas hasta altas frecuencias, la tecnología Spread Spectrum perdería sus ventajas; por lo tanto el orden de secuencia para cada radio debe ser diferente.

Una manera práctica de llevar a cabo estos requisitos es generar una secuencia pseudoaleatoria, una secuencia que puede ser reconstruida pero que sin embargo, tiene propiedades de aleatoriedad.

Los pseudoaleatorizadores suelen implantarse como registros de corrimiento con realimentación. El bit de entrada se modifica añadiendo el estado de ciertos bits seleccionados del registro de 7 bits al bit entrante. Estos se diseñan con el fin de asegurar que los valores de ángulo de fase posibles tienen igual probabilidad de producirse y así procurar corrimientos de fase suficientes como para que el demodulador del receptor recupere la señal de reloj. La aleatorización aumenta la tasa de error ya que es probable que un error en un bit ocasione errores en bits subsecuentes. FH y la secuencia directa Spread Spectrum usan secuencias pseudoaleatorias para generar la secuencia de expansión, la más comúnmente usada es la "máxima longitud" registro de corrimiento lineal. Un registro de corrimiento grado  $n$  es un dispositivo que almacena  $n$  posiciones binarias consecutivas el cual varía de una posición a otra en orden descendente por medio de un reloj interno.

Un parámetro determinante en el buen funcionamiento de un sistema de comunicaciones es la relación de señal a ruido  $[S/N]$ ; estos sistemas deben operar con una relación  $S/N$  muy baja en la portadora.

La capacidad de un canal para transferir errores en la información es aumentada con el incremento del ancho de banda, aún cuando la relación  $S/N$  es disminuida a causa del incremento del ancho de banda. Estas son las bases en las que fundamenta sus técnicas el sistema Spread Spectrum.

**Correlación.** La correlación es un proceso fundamental en un sistema Spread Spectrum; se compara la similitud que existe entre dos señales; es decir, que tan similares son en apariencia una con respecto a la otra, un par perfecto de señales es indicado por un cero y un par parcial puede tener un valor que varíe entre cero y uno, dependiendo de la semejanza. En un receptor con tecnología Spread Spectrum la correlación es usada frecuentemente para identificar una señal que ha sido codificada con la secuencia pseudoaleatoria deseada.

En un sistema de Secuencia Directa, el correlacionador es usado para identificar y detectar señales con el código de ampliación deseado. En un sistema FH la frecuencia transmisora portadora se mueve varias veces por segundo.

Tres principales técnicas de Spread Spectrum son:

- a) Spread Spectrum por Secuencia Directa: Emplea una secuencia digital de código, además de utilizar cualquier tipo de modulación convencional, para modular una portadora RF por una señal de Spread Spectrum. Posee la característica de contar con una velocidad de datos codificados muy superior a la velocidad binaria de la señal de información; de hecho cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de datos codificados.

La información es usada para modular una portadora antes de que esta sea expandida por el código, sin embargo, no es esta la única manera de montar la información en una señal de Spread Spectrum, un método muy usual es adicionar la información al código de Spread Spectrum antes de que este sea usado para ampliar la modulación.

b) **Spread Spectrum por Salto de Frecuencia:** La técnica de Salto de Frecuencia emplea un código pseudoaleatorio, tanto en el transmisor como en el receptor, ambos capaces de producir códigos idénticos con la sincronización apropiada. No hay restricción en la elección de la modulación de la información. En el método de Salto de Frecuencia el código secuencial pseudoaleatorio es empleado para conmutar la frecuencia portadora, en lugar de modular directamente la misma, es decir, se hace variar de manera pseudoaleatoria la frecuencia portadora en incrementos discretos dentro de una gama de frecuencias. FH es un sistema de modulación por desplazamiento de frecuencias (MDF, *Modulation Displace Frequency*).

En el transmisor FH, el generador de códigos controla el sintetizador de frecuencia u oscilador local que hace variar las frecuencias de manera pseudoaleatoria. El receptor FH mezcla la señal de entrada con una señal del oscilador local controlado por un generador de códigos de funcionamiento síncrono. Esto produce una señal deseada de salida constante en la banda de paso FI. La interferencia es estrecha con relación al ancho de banda FH y que no esta sincronizada con el oscilador local de salto de frecuencia, sólo aparece ocasionalmente en la banda de paso FI. La banda de paso de FI, por lo tanto, rechaza la potencia de la señal no deseada.

c) **Spread Spectrum por Impulsos de Frecuencias (CHIP):** En esta técnica de modulación un pulso largo transmitido es modulado y el receptor está diseñado para accionar en la modulación la compresión del pulso en uno mucho más corto.

**Aplicaciones de Spread Spectrum:** La protección contra interferencia en banda es frecuentemente llamada protección anti-obstrucción. Esta es particularmente la aplicación más extensa de la tecnología Spread Spectrum. Una aplicación similar es la de Acceso Múltiple por el número de usuarios quienes comparten el mismo espectro de una manera coordinada, en esté cada uno emplea señales características o parámetros (frecuentemente referida a códigos) las cuales son distinguibles unos de otros usuarios. Una razón para usar este espectro compartido, conocido como Acceso Múltiple por división de código (CDMA). Otra forma de interferencia suprimida por las técnicas de Spread Spectrum es la misma interferencia causada por multitrayectoria en la cual versiones retrasadas de la señal llegan a trayectorias alternativas interfiriendo con la trayectoria directa de transmisión.

Otra aplicación se centra en la reducción de la densidad de la energía de la señal transmitida. También estas aplicaciones tienen tres propósitos:

- 1) Encontrar las regulaciones de las asignaciones internacionales.
- 2) Minimizar la detectabilidad.
- 3) Privacidad.

Empleando la técnica Spread Spectrum en CDMA puede lograrse un incremento significativo en el número de usuarios por célula, en comparación con la técnica TDMA. En el sistema CDMA, a cada señal se le asigna un código pseudoaleatorio diferente, de este modo, los usuarios móviles en células adyacentes usan el mismo ancho de banda y por consiguiente comparten también la misma interferencia, haciendo aparecer a cualquier señal deseada recibida un poca ruidosa, tanto

como el número de usuarios servidos por una célula aumente. Cada señal indeseada de cualquier usuario genera un poco de energía interferente cuya magnitud depende del proceso de ganancia. Puesto que el número del factor de interferencia no es severo, no se necesita emplear el re-uso de la frecuencia. De este modo, cada célula de Spread Spectrum puede usar una banda completa de 12.5 MHz para la transmisión y otra banda completa de 12.5 MHz para la recepción.

**TDM.-** Técnica que permite un número de señales digitales diferentes dividir la misma línea sin impactar a otras. Una línea de transmisión digital con una tasa alta de bits es dividida en un número de tasas de bit de componentes pequeñas, intercaladas en tiempo con otras y cada una utilizada para transportar una señal de usuario final diferente.

**TEOREMA 1.-** Los parámetros siguientes son utilizados en el análisis del funcionamiento de la red celular:

**NC** .- número de canales en la célula.

**N** .- número de usuarios en la célula.

**TC<sub>i</sub>** .- tiempo de la llamada en una célula para el usuario  $i \in \{1, \dots, N\}$ .

**TW** .- tiempo promedio para esperar que un canal este disponible.

En el teorema 1 se analiza el tiempo de espera promedio para que un canal se pueda acceder cuando se establece una llamada en una célula o cuando el usuario móvil se mueve a otra célula. Si existe al menos un canal por usuario en la célula, entonces el canal es localizado sin retardo. Así, el tiempo de espera promedio para que un canal este disponible es cero.

$$TW = 0.$$

Si existe menos de un canal disponible por usuario en una célula, entonces algún usuario tendrá que esperar hasta que se complete al menos una llamada o algún usuario se mueva a otra célula. El tiempo de espera depende del tiempo de la conversación actual en una célula para el móvil actual, los usuarios estacionados, y el número de canales en la célula. Así, el tiempo de espera promedio para que un canal este libre es la suma del tiempo de la conversación actual para los usuarios actuales en la célula, dividida por el número de canales disponibles en la célula:

$$TW = \frac{\sum_{i=1}^N TC_i}{NC}$$

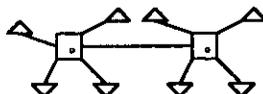
Debido a que la célula en la red fue seleccionada arbitrariamente, el resultado del Teorema 1 es general y se aplica para cualquier célula en la red. Los resultados presentados del Teorema 1 permiten calcular el tiempo de espera promedio para un canal, en la red celular.

TOPOLOGÍAS DE REDES.-

a) Centro único = estrella única = multipunto

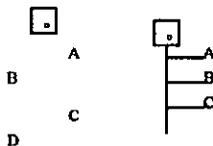


b) Multiestrella = multicentro



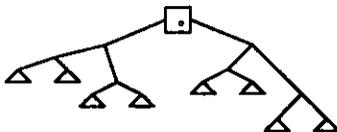
tiene unidad de respaldo

c) Lineal y espinal



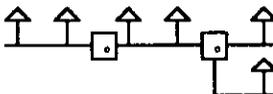
Los usuarios dependen de la conectividad del bus

d) Árbol



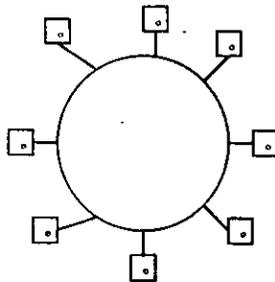
Se reduce la posibilidad de fallas

e) Segmentada



Se tiene respaldo

## f) Anillo



Se tienen varias fuentes, cada fuente tiene comunicación con cualquier otro punto. Si se rompe el bus no se pierde la comunicación.

**TRANSMISIÓN DIGITAL.-** Método de transmisión de señales en el cual la velocidad o información de datos esta representada como una clave de dígitos binarios.

**TRANSMISIÓN LÁSER.-** Las transmisiones láser son soluciones para un trayecto corto utilizadas principalmente para conectar edificios. Las LAN inalámbricas son el área de mayor aplicación aunque se utilizan para otros datos como lo son voz y video.

El uso de rayos de luz para las comunicaciones fue concebido a principios de este siglo por Alejandro Graham Bell, quien desarrollo un método para transmitir sonido audible de un transmisor de modulación de luz a un receptor.

Un gran número de tecnologías inalámbricas está disponible para redes de edificio a edificio. El costo está en función de la distancia y de la velocidad que se requiera. El usuario debe pagar más por un ancho de banda grande o por un rango amplio y el doble si requiere velocidad y distancia. La ventaja distintiva de las comunicaciones láser es la red, con una capacidad de transmisión de 155 Mbps o más.

La tecnología láser provee un método conveniente para la transmisión entre localizaciones sin que se requiera cable trenzado. La transmisión láser funciona mediante la capa física de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, *Open Systems Interconnection*), así, que prácticamente cualquier protocolo puede ser aceptado dentro de las especificaciones físicas del sistema de transmisión. En el sitio receptor, el rayo óptico energiza un fotodiodo que permite la regeneración de la señal modulada. La señal es demodulada y transformada de regreso dentro del protocolo de comunicación que requiere la red. En las configuraciones full-duplex, cada fin del enlace punto a punto requiere un transmisor y receptor.

**Rango de transmisión:** Los lasers comerciales Class IIIB tienen un diodo con una potencia de salida menor a los 500 mW y no requieren licencia técnica especial en la operación y manejo. Estos sistemas pueden soportar tasas de datos arriba de los 155 Mbps a una distancia mayor de 4000 ft. Los diodos de potencias altas proveen una buena señal durante el funcionamiento con ruido para transmisiones con un rango amplio, pero requieren de precauciones especiales por seguridad del ojo.

Los lasers Class IIIB con una potencia de salida del diodo de 20 mW requieren de precauciones para la seguridad de los ojos únicamente alrededor de 50 a 75 ft del transmisor. Transmisiones arriba de los 4000 ft pueden ser provistos con un BER de  $10^{-9}$  a una tasa de datos superior a los 34 Mbps.

**Factores que afectan el funcionamiento del enlace:** Las transmisiones comerciales de láser son líneas de vista que utilizan luz infrarroja, en la fig. A se muestra la instalación. Una línea de vista clara es esencial para un enlace confiable. La transmisión láser requiere una línea de vista clara a través de la trayectoria del rayo, del transmisor al receptor. En un sistema láser la potencia de la señal específica es transmitida y recibida a una distancia lejana. Los sistemas de transmisión láser están diseñados con el suficiente margen de desvanecimiento para vencer las atenuaciones y asegurar una comunicación confiable en la mayoría de las condiciones.

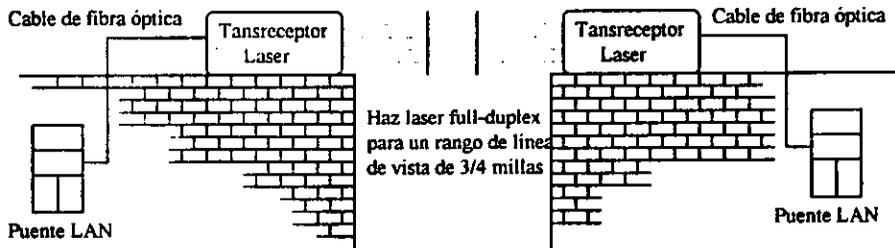


Fig A. Instalación: enlace típico entre edificios

El margen de desvanecimiento es medido en dB de la pérdida de potencia y representa la cantidad máxima de luz de potencia que puede perderse entre el transmisor y el receptor en una distancia específica mientras se mantienen las especificaciones de funcionamiento. En la Tabla A1 se presentan algunas mediciones del margen de desvanecimiento. Algunas atenuaciones ocurren por: absorción de la luz por los gases, vapor de agua en la atmósfera, y precipitaciones; las lluvias muy fuertes, niebla, y nieve tienen la capacidad de interrumpir la transmisión láser.

Porcentaje de luz recibida	Perdida de potencia (dB)
10.00%	10
1.000%	20
0.100%	30
0.010%	40
0.001%	50

El centelleo ocasionado por el calor puede también afectar la transmisión láser. El aire caliente que asciende crea vórtices que difractan los rayos de luz. Los transmisores y receptores láser deben localizarse de manera que se minimicen los efectos de centelleo, asegurando que la trayectoria del rayo este colocada arriba de los 10 ft sobre la superficie problema.

La luz del sol, emite ondas de luz infrarrojas que también pueden afectar el funcionamiento láser, ya que brillan de manera directa dentro del campo receptor de interés.

**Instalación y mantenimiento:** Un rayo angosto transmitido sobre una distancia grande es sensible a los movimientos o vibraciones. El movimiento de un miliradian angular causa que el rayo se mueva de manera oblicua un metro, al final de una transmisión de un kilómetro. Se utilizan servo mecanismos de auto-rastreo o reflectores parabólicos para mantener la alineación. Los sistemas de transmisión láser pueden instalarse rápidamente, lo cual es una de las razones por las que se tiene un interés creciente. La instalación interior de ventana a ventana también es posible, aunque la atenuación causada por el vidrio debe considerarse al momento de planear la red.

Los sistemas de comunicación láser ofrecen una confiabilidad muy grande. El mantenimiento regular incluye de manera ocasional una realineación y limpieza de los lentes, y un replazamiento periodico de los diodos láser. Los diodos comerciales estimados tienen una vida típica de 2.5 años o más.

**Aplicaciones:** La transmisión láser es frecuentemente considerada como una alternativa en aplicaciones donde no se pueden instalar cables por las obstrucciones encontradas. La transmisión láser es en algunas ocasiones preferida a las microondas ya que la transmisión láser provee tasas altas de datos y pueden instalarse sin obtener licencias de radio frecuencia. La transmisión láser se ha incrementado de manera favorable en los sistemas de radio Spread Spectrum debido a la tasa de datos.

Los sistemas de transmisión láser pueden instalarse principalmente en ambientes de campos, incluyendo grupos de oficinas corporativas y de gobierno, universidades, escuelas, bases militares, sitios industriales, hospitales, estadios y museos para proveer acceso a voz y redes de datos, para conectar sitios de células inalámbricas a Oficinas de Conmutación de Telecomunicaciones Móviles (MTSOs, *Mobile Telecommunications Switching Offices*) o simplemente para conectar oficinas que se encuentran atravesando la calle.

**Perspectivas del futuro:** El crecimiento en la demanda de crecimiento para los sistemas de transmisión láser de edificio a edificio de forma inalámbrica está conducida por varios factores. Primero, el crecimiento en multimedia, cliente/servidor, procesos de transacción en tiempo real, imagen y redes de computadoras con un ancho de banda grande están creando el incremento en la demanda para redes LAN - LAN de velocidad elevada sin obstáculos. Segundo, existe un interés creciente en recorridos cortos de redes voz-"trunk" para soportar la cercanía de las estaciones base de telefonía celular en el mercado urbano y planeación de instalaciones de sitios de microcélulas PCS.

**TRANSPONDEDOR.**- Es un dispositivo que recibe una señal en una frecuencia y la transmite en otra frecuencia.

**VELOCIDAD DE BIT.**- El ancho de banda de una señal en la línea digital que gobierna la tasa a la cual los caracteres numéricos o alfabéticos individuales pueden ser llevados por la línea.

**VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN.**- Velocidad a la cual viajan los campos electromagnéticos  $3 \times 10^8$  m/s.

**VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (VT).**- Número de cambios de nivel (pulsos) que hay en un segundo, a la salida de un equipo. VT es la velocidad de señalización.

**VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN.-** Número de bits/s que salen. El baud será igual a bits/s cuando se transmite en binario y no se transmiten bits adicionales.

**WAN.-** Una red de comunicación de datos que conecta computadoras y terminales esparcidas sobre un área amplia, como una región, una nación o varios países, frecuentemente mediante el enlace de varias LAN.

## GLOSARIO

ACA	Adaptive Channel Allocation. Localización adaptada de canal.
ACCH	Associated Control Channel. Canal de control asociado.
AF	Attenuation Factor. Factor de atenuación.
AHP	Alarm Handling Protocol. Protocolo de manejo de alarmas.
AMPS	Advanced Mobile Phone System. Sistema de telefonía móvil analógico.
AP	Access Points. Puntos de acceso
APC	American Personal Communications. Comunicaciones personales americanas.
B-CDMA	Broadband CDMA. CDMA de banda ancha.
BER	Bit Error Rate. Tasa de bits erróneos.
BS	Base Station. Estación base.
BSC	Base Station Controller. Controlador de la estación base.
BSCM	Basic Call State Model. Modelo del estado de llamada básica.
BSS	System Station Base. Sistema de la estación base.
BST	Base Station Transmitter. Transmisor de la estación base.
BTS	Station Transceiver Base. Estación transreceptora base.
CAI	Common Air Interface. Interface aérea común.
CAN	Campus Area Network. Redes de campo.
CC	Communication Cabinet. Gabinete de comunicación.
CDMA	Code Division Multiple Access. Acceso múltiple de división de código.
CDPD	Cellular Digital Packet Data. Paquetes de datos digitales en celulares
C/I	Carrier/Interference. Portadora / Interferencia.
CITEL	Comisión Interamericana para las Telecomunicaciones.
CSS	Cellular Subscriber Stations. Estaciones de Usuarios Celulares.
DAT	Digital Audio Tapes. Cintas de audio digitales.
DBC	Database Server Cabinet. Gabinete servidor de bases de datos.
DCA	Dynamic Channel Assignment. Asignación dinámica de canal.
DCCH	Digital Control Channel. Control digital de canal.
DCPA	Distributed Call Processing Architecture. Arquitectura de distribución en el procesamiento de llamadas.
DCS 1800	Digital Cellular System. Sistema celular digital.
DECT	Digital European Cordless Telecommunications. Telecomunicaciones inalámbricas digitales europeas.
DN	Distribution Network. Distribución de la red.
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying.
DS	Direct Sequence. Secuencia directa.
DTX	Discontinues Transmission. Transmisión discontinua.
DVCC	Digital Verification Color Code. Código digital de verificación de color.
EDI	Electronic Data Interchange. Intercambio electrónico de datos.
EIA	Electronic Industries Association. Asociación de industrias electrónicas.
EISA	Extended Industry Standard Architecture. Arquitectura estandar de extensión industrial.
ERMES	European Radio Messaging System. Sistema de radio mensajes europeo.
ESMR	Enhance Specialize Mobile Radio. Radio móvil mejorado especializado.
ESN	Electronic Serial Number. Número electrónico serial.
ETSI	European Telecommunications Standars Institute. Instituto de normatividad de telecomunicaciones europeo.

<b>FACCH</b>	Fast Associated Control Channel. Canal de control asociado rápido.
<b>FAF</b>	Floor Attenuation Factor. Factor de atenuación de piso.
<b>FCA</b>	Fixed Channel Assignment. Asignación fija de canal.
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission. Comisión federal de comunicaciones.
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex. Duplexaje de frecuencias.
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access. Acceso múltiple de división de frecuencias.
<b>FH</b>	Frequency Hopping. Salto de frecuencia
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying.
<b>FTAM</b>	File Transfer Access and Management. Manejo y acceso de transferencia de archivos.
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol. Protocolo de transferencia de archivos.
<b>GAN</b>	Global Area Network. Redes de área global.
<b>GEO</b>	Geosynchronous Earth Orbit satellites. Satélites de órbita geosíncrona.
<b>GMSK</b>	Gaussian Minimum Shift Keying.
<b>GSM</b>	Global System for Mobility. Sistema global para la movilidad (previamente fue el grupo especial móvil).
<b>GPS</b>	Global Positioning System. Sistema de posicionamiento global.
<b>GTD</b>	Geometrical Theory of Diffraction. Teorías geométricas de difracción.
<b>HCS</b>	Hierarchical Cell Structures. Estructura celular de jerarquía
<b>HHO</b>	Hard Handover. Handover no flexible.
<b>HLR</b>	Home Location Register. Registro de localización local.
<b>ICO</b>	Intermediate Circular Orbit satellites. Satélites de órbita circular intermedia.
<b>ID</b>	Identity User. Identificación del usuario.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
<b>IN</b>	Intelligent Network. Red inteligente.
<b>IS-41</b>	Interim Standard 41 (TIA Standard) for Inter-System Operation of Cellular Systems.
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network. Red digital de servicios integrados.
<b>ITC</b>	International Technology Consultants. Consultores de tecnología internacional.
<b>ITI</b>	Intelligent Transportation Infrastructure. Infraestructura de transporte inteligente.
<b>ITS</b>	Intelligent Traffic System. Sistema de tráfico inteligente.
<b>IVHS</b>	Intelligent Vehicle Highway Systems. Sistemas de vehículos de caminos inteligentes.
<b>IWMT</b>	Inmarsat Wireless Messaging Technology. Tecnología de mensajería inalámbrica de Inmarsat
<b>LAN</b>	Local Area Network. Redes de área local.
<b>LEC</b>	Local Exchange Carrier. Portadora de conmutación local.
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit satellites. Satélites de órbita baja.
<b>LOS</b>	Line of Sight. Línea de vista.
<b>MAHO</b>	Mobile Assisted Hand-off. Asistencia móvil Handoff.
<b>MAI</b>	Multiple Access Interference. Interferencia de acceso múltiple.
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network. Redes de área metropolitana.
<b>MAP</b>	Mobile Applications Part. Parte de aplicaciones móviles.
<b>MAC</b>	Media Access Control. Control de acceso medio.
<b>MDF</b>	Modulation Displace Frequency. Modulación por desplazamiento de frecuencias.
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit satellites. Satélites de órbita media.
<b>MIN</b>	Mobile Identification Number. Número de identificación móvil.
<b>MLMR</b>	Maximum Likelihood Multiuser Receiver. Receptor multi-usuario con probabilidad máxima.
<b>MS</b>	Mobile Station. Estación Móvil.
<b>MSC</b>	Mobile Switching Center. Centro de conmutación móvil.

<b>MTP</b>	Message Transfer Part. Parte de transferencia de mensajes.
<b>MTSO</b>	Mobile Telecommunications Switching Offices. Oficinas de conmutación de telecomunicaciones móviles.
<b>NCC</b>	Network Control Console. Consola de control de red.
<b>NCU</b>	Network Control Unit. Unidad de control de red.
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephone. Telefónica móvil Nórdica.
<b>OC</b>	Operation an maintenance Cabinet. Gabinete de operación y mantenimiento
<b>OSI</b>	Open System Interconnection. Interconexión de sistema abierto.
<b>PACS</b>	Personal Access Communication System. Sistema de comunicación de acceso personal.
<b>4 PAM-FM</b>	Four Level Pulse Amplitude Modulation, Frequency Modulation. Modulación por frecuencia y modulación por amplitud de cuatro niveles.
<b>PCM</b>	Pulse Code Modulation. Modulación por códigos de pulsos.
<b>PCN</b>	Personal Communication Networks. Redes de comunicación personal.
<b>PCS</b>	Personal Communication Service. Servicios de comunicación personal.
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant. Asistente personal digital.
<b>PIN</b>	Personal Identification Number. Número de identificación personal
<b>PIRE</b>	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva.
<b>PL</b>	Path Loss. Pérdida de trayectoria.
<b>POSCAG</b>	Post Office Code Standardization Advisory Group
<b>PRMA</b>	Pocket Reservation Multiple Access. Acceso múltiple de reservación.
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network. Red telefónica de conmutación pública.
<b>QPSK</b>	Quaternary phase Shift Keying.
<b>RACE</b>	Research in Advanced Communications in Europe. Investigación de comunicaciones avanzadas en Europa.
<b>RBOC</b>	Regional Bell Operating Company.
<b>RBDS</b>	Radio Broadcast Data System. Sistemas de datos por transmisión de radio.
<b>RCIP</b>	Remote Control Information Protocol. Protocolo de control de información remota.
<b>RDS</b>	Radio Data System. Sistema de datos de radio
<b>RESCUE</b>	Remote Emergency Satellite Rescue Unit. Unidades de rescate satelital de emergencia remota.
<b>RF</b>	Radio Frequency. Frecuencias de radio.
<b>RIC</b>	Radio Identity Code. Código de identidad de radio.
<b>RMTS</b>	Radio Telephone Mobile System. Sistema móvil de radio telefonía.
<b>RP</b>	Radio Port. Puerto de radio.
<b>RPC</b>	Radio Port Controller. Controlador de puerto de radio.
<b>RPS</b>	Radio Paging Switch. Conmutador de paging de radio
<b>RSSI</b>	Received Signal Strength Indication. Indicador de la fuerza de la señal recibida.
<b>RTB</b>	Red Telefónica Básica.
<b>SACCH</b>	Slow Associated Control Channel. Canal de control asociado lento.
<b>SAW</b>	Surface Acoustic Wave. Ondas de superficie acústica.
<b>SCT</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
<b>SHO</b>	Soft Handover. Handover flexible.
<b>SHP</b>	Subscriber Handling Protocol. Protocolo de manejo de usuarios.
<b>SIM</b>	Subscriber Identity Module. Módulo de identificación del usuario
<b>SIR</b>	Signal to Interference Ratio. Tasa señal interferencia.
<b>SMS</b>	Short Message Service. Servicio de mensajes cortos.
<b>SMR</b>	Specialized Mobile Radio. Radio móvil especializado.
<b>SNR</b>	Signal to Noise Ratio. Razón señal ruido.
<b>SS7</b>	Signaling System #7. Sistema de señalización siete.

<b>STP</b>	Signal Transfer Point. Punto de transferencia de señal.
<b>TACS</b>	Total Access Communications System. Sistema de comunicación de acceso total.
<b>TDD</b>	Time Division Duplex. Duplexaje por división de tiempo.
<b>TDM</b>	Time Division Multiplex. Multiplexaje por división de tiempo.
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access. Acceso múltiple por división de tiempo.
<b>TIA</b>	Telecommunications Industry Association. Asociación industrial de telecomunicaciones.
<b>TLDN</b>	Temporary Local Directory Number. Número de directorio local temporal.
<b>TMC</b>	Traffic Management Control. Control del manejo de tráfico.
<b>TMOS</b>	Telecommunications Management and Operations Support. Manejo de telecomunicaciones y soporte de operaciones.
<b>TTLNA</b>	Tower Top Low Noise Amplifier. Amplificador de bajo ruido de tope de antena.
<b>TTP</b>	Toll Ticketing Protocol. Protocolo de boletos de cobro.
<b>UHC</b>	Uplink Hub Controller. Controlador hub de enlace ascendente.
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System. Sistemas de telecomunicaciones universales móviles.
<b>UPS</b>	Uninterruptible Power Supply. Suministro de potencia ininterrompible.
<b>UTC</b>	Universal Time Coordinated. Coordinador universal de tiempo.
<b>UTD</b>	Uniform Theory of Diffraction. Teorías uniformes de difracción.
<b>VLR</b>	Visitor Location Register. Registro de localización de visitante.
<b>WAN</b>	Wide Area Network. Redes de área ancha.
<b>WLL</b>	Wireless Local Loop. Enlaces locales inalámbricos
<b>WRL</b>	Wireless Rural Loop. Enlace rural inalámbrico.

## BIBLIOGRAFÍA

- \* Arne Persson  
Sistema T- A modular system for wide area paging.  
Ericsson review.  
vol. 72  
no. 3  
1995
  
- \* Bach Anersen Jorgen, Rappaport Theodore S., Yoshida Susumu.  
Propagation measurements and models for wireless communications channels.  
IEEE communications magazine.  
no. 1  
enero 1995
  
- \* Bainbridge Heather  
The wireless phone evolution  
WB&T  
enero-febrero 1996
  
- \* Barrit Keith A.  
FCC allocates millimeter wave spectrum for vehicle radar guidance systems.  
Telecommunications  
julio 1996
  
- \* Dell'Acqua Alexa A., Mazzafero John F.  
Wireless communications  
Telecommunications  
marzo 1996
  
- \* Expansión (Telecomunicaciones lazos de un futuro inalámbrico).  
El espectro de todas las batallas.  
junio 1996
  
- \* Flanagan Patrick.  
Personal communications services: the long road ahead.  
Telecommunications.  
febrero 1996

- Gerding Bruce.  
Personal communications via satellite: an overview  
Telecommunications  
febrero 1996
  
- Goodman David J., Meier-Hellstern Kathleen S., Pollini Gregory P.  
Signaling traffic volume generated by mobile and personal communications.  
IEEE communications magazine.  
no. 6  
junio 1995
  
- Greichen John, Lipoff Stuart J.  
PCS strategies: how to design the perfect system.  
Telecommunications.  
julio 1996
  
- Hác Anna.  
Wireless and cellular architecture and services  
IEEE communications magazine.  
no. 11  
noviembre 1995
  
- Jutila John M.  
Wireless laser networking  
Telecommunications  
febrero 1996
  
- LAN in the fast lane.  
Communications international.  
febrero 1996
  
- La Porta Thomas F., Ranjee Ramachandran, Treventi Philip A., Veeraraghavan Malathi.  
Distributed call processing for personal communications services  
IEEE communications magazine.  
no. 6  
junio 1995

- \* Lee Barbara.  
Integrating technologies in the wireless sphere.  
WB&T  
enero-febrero 1996
  
- \* More than a bleeper  
Communications international  
febrero 1996
  
- \* Schuerholz Katie.  
Going mobile, thanks to new mobile satellite technologies.  
Via satellite.  
octubre 1996
  
- \* Washburn Brian  
Wireless applications for intelligent transportation systems.  
Telecommunications.  
julio 1996