



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANTENIMIENTO, OPTIMIZACIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE SITIOS
DE TELEFONÍA CELULAR**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :
JESÚS MANUEL VALDIVIESO VEGA**

**ASESOR:
M.I. JUAN FERNANDO SOLÓRZANO PALOMARES**



MÉXICO, D. F.

2005

m. 341023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVO	7

CAPÍTULO I CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE TELEFONÍA CELULAR

1.1 El medio o canal de propagación no guiado	10
1.2 El fenómeno y modelo de propagación	12
1.3 Modelos de fluctuaciones rápidas y lentas	13
1.4 El ambiente móvil	15
1.5 Fundamentos de RF y sistemas de Microondas	17
1.6 Fundamentos de antenas y líneas de transmisión	21
1.7 Fundamentos de Hardware para el procesamiento de datos y señales inalámbricas de sitios celulares	32
1.8 Teoría de tráfico telefónico	46
1.9 Equipos de medición	51

CAPITULO II TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL EN SISTEMAS INALÁMBRICOS E INTERFACES AÉREAS DE ACCESO MÚLTIPLE

2.1 Modulaciones Analógica y Digital	54
2.2 Interferencia entre símbolos	56
2.3 Modulación PSK, QPSK, MSK, QAM	60
2.4 Técnicas de acceso múltiple en sistemas celulares FDMA (AMPS), TDMA (GSM, IS-136) CDMA (IS-95)	63
2.5 Capacidad comparativa entre GSM, IS-136, y IS-95	75

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a circular en forma definitiva e impresa el
contenido de mi trabajo intelectual.
NOMBRE: Valdivieso Vega
Jesus Manuel
FECHA: 11 FEB 105
FIRMA: [Firma]

CAPITULO III SISTEMAS CELULARES

3.1 Concepto celular	77
3.2 Cálculo de radio de señal a interferencia (SIR)	81
3.3 Re-uso de frecuencias	84
3.4 Modelos de tráfico en células (Erlangs)	87
3.5 Capacidad de sistemas celulares	89
3.6 Asignación de canales inalámbricos	90

CAPITULO IV IMPLEMENTACIÓN DE SITIOS CELULARES

4.1 Causas	94
4.2 Justificación	97
4.3 Realización de formatos para el registro de los resultados obtenidos en las pruebas del equipo celular	106
4.4 Implementación	111
4.5 Pruebas de Hardware al equipo del sitio celular	134
4.6 Puesta en servicio	136

CAPITULO V MANTENIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE CELDAS DE TELEFONÍA CELULAR

5.1 Procedimiento y realización de pruebas a sitios celulares para su mantenimiento y optimización	138
5.2 Interpretación y análisis de resultados	168
5.3 Pruebas de cobertura	170

CAPITULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Calidad del servicio	173
6.2 Costo beneficio	175
6.3 Evaluación de alternativas y opciones de servicio	178
CONCLUSIONES	181
BIBLIOGRAFÍA	183

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en la industria de las telecomunicaciones han marcado la pauta, no sólo en el desarrollo de un país en particular, si no que esta área de la ingeniería ha crecido de manera tan descomunal, que hoy en día casi todas las demás ciencias e ingenierías convergen en lo que hoy conocemos como la gran carretera de la información o mejor conocido como INTERNET, de la cual, cada vez existe una mayor demanda en los servicios de transferencia de voz, video y datos, por lo que se puede apreciar no sólo un crecimiento a nivel global en estos servicios, si no también gracias a las nuevas tecnologías en comunicaciones móviles en especial los sistemas de telefonía celular, estamos comenzando la nueva era en materia de telecomunicaciones del nuevo milenio o comunicaciones móviles de tercera generación. (3G), Cuya tendencia está enfocada en la integración y globalización de servicios de transferencia de grandes cantidades de información en cualquier parte del planeta, garantizando satisfacer la gran demanda de usuarios y brindando seguridad y calidad en estos servicios con la intención de que cualquier persona tenga acceso a estas tecnologías a precios accesibles.

Como los países desarrollados son los que marcan la pauta en el crecimiento y desarrollo de estos sistemas, nos vemos obligados a seguir dependiendo de estas tecnologías cada vez más complejas, por tal motivo los que nos dedicamos a esta área de la ingeniería es nuestra obligación estar al tanto de los nuevos avances en esta materia, ya que los cambios tecnológicos ocurren en tiempos cada vez más cortos en relación con otros avances en el estado del arte ya que cada vez se implementan nuevos algoritmos y técnicas en los procesos de transferencia de información por métodos electrónicos cada vez más sofisticados.

Entonces nuestro compromiso como ingenieros es el de establecer métodos y procedimientos que se ajusten a las necesidades y normatividad vigente en el país acorde a las normas internacionales. Actualmente en México no se tiene una plena reglamentación en materia de telecomunicaciones y la problemática de los sistemas de telecomunicaciones en el país no están debidamente reglamentados apreciando no sólo problemas de compatibilidad tanto en la norma europea como la americana si no que también influye la normatividad interna del país, aunado a esto también tenemos

problemas de incompetencia y malos manejos en la administración de estos sistemas. Además por un lado existe un constante incremento de compañías dedicadas a brindar servicios de telecomunicaciones móviles especialmente en las ciudades principales del país, sin que estén debidamente reguladas, y por otro lado también se da un aumento en el número de usuarios que cada vez demandan servicios, cada vez más complejos, pues una característica de las grandes urbes es la de manejar grandes cantidades de información, tanto diferida como en tiempo real, esto condiciona a las compañías a brindar servicios más confiables y eficientes, y las obliga a optimizar al máximo sus recursos haciendo uso de nuevas tecnologías y métodos para satisfacer la creciente demanda, previendo a futuro las nuevas necesidades que se puedan presentar, aplicando criterios de escalabilidad y compatibilidad en sus sistemas, así como también la implementación de políticas acordes a los requerimientos del país en materia de telecomunicaciones tanto a particulares como al aspecto gubernamental.

Por lo que el objetivo de esta tesis es plantear y establecer soluciones inmediatas y a futuro de los sistemas de telefonía celular, para una mejor planeación y desempeño en el crecimiento de estos sistemas, con la finalidad de brindar un buen servicio a usuarios acorde con los avances tecnológicos establecidos por los países desarrollados pero tomando en cuenta la situación real por la que atraviesa el país, ya que si hoy en día algunas de estas empresas atraviesan por una crisis económica esto no implica que todo el sector lo esté, ya que a pesar de todo en la actualidad la industria de las telecomunicaciones es uno de los rubros más confiables y recuperables en términos de grandes inversiones además de que una nación con una buena infraestructura en telecomunicaciones, puede apoyar al fomento y crecimiento en la economía del país.

A pesar de que en México no se desarrolla la tecnología empleada en los sitios celulares, esto no implica que no se pueda tener conocimiento de la planeación, optimización y organización de las redes de telefonía celular existentes en el país, así como también el conocimiento del funcionamiento modular de estos sitios, ya que tenemos la capacidad para el diseño implementación y prueba de redes de telefonía celular, por tal motivo en esta tesis se plantean algunas soluciones y procedimientos empleados en la implementación, optimización y mantenimiento de este tipo de redes fundamentándose en la experiencia adquirida en campo, conjuntamente con los

conocimientos adquiridos en la facultad de ingeniería de la UNAM, con la finalidad de aplicar un método general no sólo para sitios celulares sí no también para otros sistemas de telecomunicaciones móviles con miras a futuro en el desarrollo de sistemas móviles de tercera generación.

ANTECEDENTES

La telefonía móvil tiene sus comienzos a nivel comercial de alto consumo a principios de la década de los 80's, sin embargo se tiene conocimiento de que este tipo de servicio data desde finales de los 40's. Posteriormente, con el advenimiento de tecnologías VLSI y los avances en tecnología de materiales en dispositivos de RF en países desarrollados tales como Norte América, Europa occidental y Japón se empezaron a desarrollar sistemas de telefonía celular considerándolos actualmente como sistemas de primera generación o sistemas de telefonía celular analógica. Tales sistemas comenzaron a tener un auge en la demanda tanto a nivel empresarial como a particulares y en agencias gubernamentales, lo que causo el boom en los servicios de telecomunicaciones móviles. La característica principal de esos servicios se restringían sólo a la transmisión de voz. En México dichos sistemas se empezaron a emplear a finales de la década de los 80's y principios de los 90's, afortunadamente estas tecnologías han permitido que en México no se tenga un atraso considerable con respecto a los avances tecnológicos que cada día van en aumento a un ritmo creciente y constante ya que las bondades de la Ingeniería en telecomunicaciones y electrónica nos permiten establecer contactos a nivel mundial o global ya que ese es el objetivo o meta que establece esta tecnología tan diversa y eficaz. Por todo ello se puede apreciar que la diferencia cronológica entre lo que es el estado del arte y los productos y servicios en telecomunicaciones ofertados en el país no es tan grande con respecto a otro tipo de tecnologías ya que en cuestión de consumo y novedades en estos servicios. Además de que esta tecnología ha contribuido mucho al auge de la mercadotecnia de alto consumo y su comportamiento casi va a la par con lo que respecta a los países desarrollados, por tal motivo en México se está creando una infraestructura quizás no tan descomunal y compleja como la de los países tecnológicamente avanzados pero si con un nivel de aceptación razonable ya que a nivel comercial o de uso particular se pueden equiparar los servicios con respecto a los países desarrollados. No ocurre lo mismo a nivel empresarial y gubernamental ya que estos demandan altos niveles de calidad y confiabilidad, además de que se requiere de altos costos de inversión que en la mayoría de los casos no van acorde con la realidad económica y social de la región que se trate, ya que sólo en las principales ciudades se

tiene una mejor calidad en servicios de telecomunicaciones comparado con ciudades de menor importancia.

Si los sistemas de segunda generación tuvieron sus inicios a principio de los 90's en México se comenzaron a dar a mediados de los 90's y sólo existían dos compañías: Iusacel y Telcel, también con un crecimiento exponencial en la demanda. Dada esta competencia, la compañía Telcel siempre se caracterizó por tener una mejor cobertura a nivel nacional y, en consecuencia un mayor número de celdas dada su relación con Telmex la cual controla el monopolio de la Telefonía en México, manteniendo el control de casi un 95% del tráfico telefónico a nivel nacional; y un tanto más en el internacional, especialmente con los E.U. Con el advenimiento de las nuevas normas y reglamentación establecidas por la S.T.C. se permitió la libre competencia de diversas compañías dedicadas a brindar estos servicios, por lo que el número de compañías ha ido en aumento al igual que la demanda. A partir de entonces empieza a presentarse una serie de irregularidades con lo que respecta a la reglamentación y normatividad de estos servicios lo que se ve reflejado en una mala calidad del servicio, sobretodo si no se tiene el debido cuidado en la planeación y control de estos sistemas. Aunque el hardware y el software estén operando adecuadamente se pueden presentar problemas en cuestión de cobertura y fenómenos de afectación de la señal por celdas aledañas no sólo de otras compañías si no también puede haber una afectación inferida por celdas aledañas de la misma compañía si su señalización y sus dispositivos de hardware no están debidamente calibrados de acuerdo a la normatividad vigente sobre todo en dispositivos de RF ya que son los principales encargados de establecer la comunicación móvil o inalámbrica, por tal motivo se deben de tener los cuidados pertinentes en una adecuada implementación y administración de estos sistemas cumpliendo con las normas y con los procedimientos de mantenimiento y operación óptima de la red celular, realizando el análisis y pruebas pertinentes con el objetivo de cumplir con la demanda, ya que estamos comenzando a hacer uso de servicios de tercera generación donde además de integrar la transmisión de voz video y datos, se genera una nueva gama de servicios relacionados con la mercadotecnia y la vinculación con Internet generados por el auge y desarrollo de la tecnología en ciencias computacionales, tanto en materia de hardware como de software, y el procesamiento digital de señales, sistemas neuronales y lógica difusa los sistemas tienden a ser cada vez más complejos

y eficaces por lo que se deben de tener una perspectiva sobre la planeación y desempeño a futuro de las redes de comunicaciones móviles ya que los requerimientos en servicios integrales del nuevo milenio cada vez requieren de mas confiabilidad y seguridad en los servicios de red además de que la meta es la de alcanzar una cobertura global en cualquier punto del planeta.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVO

El principal problema en el desempeño de las celdas de telefonía celular es el de evitar la afectación de la señal de RF por ondas electromagnéticas o señales ajenas al sistema a tratar, con la finalidad de mantener integra la información en el proceso de transmisión y recepción ya sea audio video y datos, se deben implementar medidas de prevención de fallas con la finalidad de garantizar un buen servicio a usuarios, manteniendo los niveles de seguridad y confiabilidad en el proceso de transferencia de información.

También existen otros factores que pueden afectar el desempeño óptimo de la celda o sitio celular; como pueden ser las anomalías provocadas por las condiciones ambientales, a saber, el incremento de temperatura en los sitios celulares, provocado ya sea por factores externos como el des-abasto de energía eléctrica, que provoca que el sistema de aire acondicionado no trabaje adecuadamente trayendo como consecuencia un sobrecalentamiento en los dispositivos de Hardware, esto, a su vez provoca caídas de voltaje en transmisores, fuentes de suministro de energía eléctrica (convertidores de voltaje) CPU's, y otros dispositivos de Hardware empleados en el acondicionamiento control y proceso de las señales empleadas en los sistemas de comunicación móvil. Cuando se presenta la falta de suministro de energía eléctrica la celda cuenta con un banco de baterías el cual suministra la energía eléctrica a la celda por un lapso no mayor a seis horas, sin embargo en la mayoría de los sitios celulares estos bancos sólo le dan soporte a los módulos de Hardware, y el tiempo de duración varía con respecto al tráfico. En consecuencia, en sitios con alto índice de tráfico los módulos de Hardware especialmente los transmisores son los que más consumen energía eléctrica, por tal motivo estos bancos no alimentan ni al sistema de aire acondicionado, ni al sistema de iluminación.

En la mayoría de los casos cuando el desabasto de energía es muy prolongado, se hace uso de una planta móvil (generador Diesel), esto soluciona el problema siempre y cuando el desabasto sea de celdas aisladas o casos particulares, mas no es eficaz si se presenta un desabasto en una zona considerable, pues las compañías no cuentan con suficientes plantas para satisfacer la demanda en contingencias extremas, además

de que esto no es óptimo cuando se presentan períodos prolongados de falta de suministro eléctrico.

Otros fenómenos físicos o ambientales que pueden afectar el desempeño del sitio celular además del sobrecalentamiento, tanto exterior como interior, al no tener compartimientos adecuados y herméticamente bien aislados, son la humedad y la salinidad del medio que actúan como agentes corrosivos en los módulos de Hardware; especialmente, en los dispositivos de RF, líneas de transmisión y los módulos de Microondas ya que estos, se instalan en la mayoría de los casos en las torres de los sitios celulares, a la intemperie, sometidos por consiguiente a condiciones ambientales extremas como son la lluvia y altas o bajas temperaturas según la zona geográfica en la cual esté situada la celda, dado que siempre hay ubicaciones de sitios celulares en zonas de alto riesgo.

También las celdas pueden ser afectadas por celdas aledañas si en la planeación no se tienen los cuidados pertinentes en lo que respecta a la ingeniería de RF y señalización del sistema pues pueden presentarse fenómenos de interferencia distorsión y altos niveles de ruido y atenuación de la señal.

Por todo ello, se ha podido apreciar que el buen desempeño de una red de telefonía celular no sólo depende de las condiciones ambientales y geográficas, sino también de una buena planeación, ya que este es un factor determinante en el funcionamiento óptimo de la red de telefonía celular.

Haciendo hincapié en el factor humano sobre todo en un país como México y de acuerdo a la experiencia laboral de un servidor, muchos problemas que se presentan en los sistemas celulares se pudieron prever si se hubiera tenido una buena planeación desde la aparición de este tipo de sistemas. Además, dado que México es un país en vías de desarrollo, desde los comienzos de esta tecnología hasta la actualidad, no se ha contado con un número suficiente de Ingenieros y técnicos especializados que cumplan el perfil adecuado para desempeñar esta tarea, sumado al atraso tecnológico y a las políticas en materia de normatividad y tecnología de Telecomunicaciones móviles, ocasionan que no contemos con un conocimiento absoluto y una información detallada

de estos sistemas, por lo que nos vemos obligados a depender en gran medida no sólo de la planeación y la tecnología extranjera, si no que, también se afecta la toma de decisiones para definir los criterios y procedimientos empleados en la instalación de estos sistemas, los cuales a veces no se ajustan al 100% de las necesidades reales que demanda el gran número de abonados en el país.

Por tal motivo el objetivo de esta tesis es el de proponer procedimientos óptimos y eficaces para la instalación, mantenimiento y operación de sitios celulares, de acuerdo con la normatividad vigente y acorde con la situación real de nuestra infraestructura en telecomunicaciones móviles y al constante aumento en el número de usuarios, tanto nacionales como extranjeros, los cuales además de demandar servicios de tercera generación cada vez más confiables, requieren de nuevas tecnologías capaces de satisfacer sus demandas, tomando en cuenta las limitaciones prácticas que se presentan en la industria celular con el aumento en canales o localidades espectrales que se refleja en un alto incremento en la capacidad requerida por la celda, esto, a su vez implica una reducción de la zona de cobertura o alcance máximo de la celda, y por tal motivo, si se tiene un mayor número de celdas, se incrementa la actividad en la señalización por lo que se requiere de que los 'HANDOFFS' o manipuleo de la señal de celda a celda ocurran más rápidamente ya que también influye en el registro y petición de llamada de las estaciones móviles o teléfonos celulares Este problema se agudiza en grandes áreas urbanas donde las capacidades y requerimientos deben ser satisfechos de manera inmediata, tomando en cuenta que los sistemas digitales de alta capacidad derivan aplicaciones o algoritmos de técnicas avanzadas de transmisión incluyendo un procesamiento y codificación digital de voz cada vez más eficiente, canales de codificación para la corrección de errores y técnicas de modulación para hacer más eficiente el ancho de banda, con la capacidad de integrar servicios de transmisión de voz audio video y datos en tiempo real o alta velocidad.

CAPITULO I

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE TELEFONÍA CELULAR

1.1 EL MEDIO O CANAL DE PROPAGACIÓN NO GUIADO

Antes de incursionar en lo que respecta a métodos y aplicaciones reales, referentes al mantenimiento e implementación de sitios de telefonía celular, se deben considerar los fundamentos de ingeniería en radiocomunicaciones, ya que para poder justificar con niveles de aproximación, veracidad y certidumbre en lo que se refiere a los resultados que se obtengan de las pruebas a realizar en sitios celulares, se podrán derivar métodos y procedimientos a proponer en esta tesis. Por consiguiente, se deben tener conocimientos básicos de ingeniería en RF, para realizar y fundamentar los procedimientos y métodos propuestos para la solución de los problemas anteriormente descritos y referidos a sitios celulares, por eso, en este capítulo se hará una descripción breve y concisa en lo que respecta a los fundamentos de telefonía celular comenzando por hacer una descripción del fenómeno de multitrayectoria en el medio o canal de propagación de la onda de radio. Las ondas de radio cubren una parte del espectro electromagnético que se extiende desde los 30 Khz., con una longitud de onda de 10 Km., hasta los 300 Ghz, con una longitud de onda de 0.1 cm.

Como sabemos la energía electromagnética se puede propagar desde una antena de transmisión en forma de ondas de radio. En el espacio libre estas ondas de radio en frecuencias de Gigahertz se propagan en línea recta y se pueden reflejar en objetos al igual que las ondas luminosas cuando inciden sobre ellos. Por consiguiente, se considera que en el espacio, la línea de vista entre el transmisor y el receptor en donde viaja la señal es totalmente recta.

Las ondas de radio en el medio terrestre son afectadas por el tipo de terreno en la superficie del planeta, la atmósfera y objetos naturales y artificiales propios del terreno en cuestión. Para las ondas de radio en el medio terrestres, dependientes de la frecuencia de transmisión existen tres medios principales de propagación las cuales son: ondas terrestres, onda troposférica, y onda ionosférica o espacial.

La onda terrestre es la porción en la que la radiación es directamente afectada por el tipo de terreno y objetos contenidos en él. La onda terrestre viaja en contacto con la superficie de la tierra, esparciéndose entre construcciones o edificios, zonas de densa vegetación, colinas, montañas y otras irregularidades de la superficie terrestre. De esta manera, existen varias trayectorias entre el transmisor y el receptor y de ellas la que se encuentra en la línea de vista de propagación de la onda terrestre provee la señal dominante en el receptor.

Las ondas terrestres afectan toda la gama de frecuencias desde frecuencias bajas hasta microondas. Para señales de onda media (0.3-3MHz) y ondas cortas (3-30MHz) el medio de propagación no es tan confiable comparado con el de señales VHF y de mayor frecuencia, ya que la señal se va debilitando rápidamente conforme aumenta la distancia desde el transmisor.

La onda troposférica tiene la característica de que una porción de la radiación permanece cerca de la superficie de la tierra como resultado de la refracción de la señal en la baja atmósfera. Esta característica de la refracción troposférica a veces hace posible la comunicación a grandes distancias para señales VHF y de mayor frecuencia tomando en cuenta que la distancia entre transmisor y receptor es mucho mayor de la que puede cubrir una onda terrestre ordinaria. Para señales de VHF y UHF usadas para comunicaciones celulares y PCS la propagación de onda a través de la troposfera no es tan eficiente ya que causa interferencia, esta afectación de la señal es un tema tan complejo que requiere de un estudio más minucioso, por lo que únicamente se hace mención de esta característica, sin profundizar tanto en materia del análisis de las ondas radiadas y teoría electromagnética ya que están fuera del alcance de los objetivos planteados en esta tesis.

Las ondas ionosféricas o espaciales surgen de las ondas de radio emitidas por antenas orientadas angularmente con respecto a la horizontal. Bajo ciertas condiciones estas ondas se pueden reflejar por medio de las altas capas de la ionosfera hasta la superficie terrestre cubriendo distancias en un rango de 4000 Km desde el transmisor.

Las reflexiones sucesivas desde la superficie de la tierra hasta la alta atmósfera pueden establecer la comunicación cubriendo grandes distancias, del orden de miles de millas o kilómetros y en ocasiones la señal de radio puede viajar alrededor de toda la superficie terrestre.

En las capas regulares de la ionosfera la propagación de la señal puede tomar frecuencias por debajo de los 30 Mhz. La propagación en la ionosfera depende de la intensidad de los ciclos solares, ya que a veces una alta actividad solar provoca que la máxima frecuencia utilizable entre dos puntos de la superficie terrestre pueda exceder los 50 Mhz. Y en periodos de baja actividad solar la máxima frecuencia utilizable (MUF) puede ser menor a 2 o 3 Mhz.

1.2 EL FENÓMENO Y MODELO DE PROPAGACIÓN

Un punto importante a considerar sobre las comunicaciones móviles en términos de la cantidad de información que se va a transmitir por medio de canales inalámbricos es la velocidad de transmisión en función de la frecuencia y la relación señal-ruido.

$$W=H \log_2(1+S/N)$$

La expresión anterior se utiliza en transmisiones medias incluyendo inalámbricas pero sólo se limita a un solo canal de transmisión, ya que en la realidad para canales inalámbricos esta tasa de transmisión suele ser significativamente baja ya que existe incompatibilidad en los canales inalámbricos lo que trae como consecuencia errores en la recepción; estas incompatibilidades se deben en gran medida al medio físico en el cual se propaga la onda de radio. El conocimiento del fenómeno de propagación es de suma importancia pues provee los medios para predecir las interferencias experimentadas por el receptor y el área de cobertura, aunque los mecanismos que gobiernan la propagación de la onda electromagnética a través del espacio son cada vez más complejos se pueden atribuir los siguientes fenómenos como causantes de esta afectación los cuales son las pérdidas en el espacio libre, el efecto Doppler provocado por la estación móvil, el mecanismo de reflexión, esparcimiento y difracción

causados por el debilitamiento de la señal; Por tal motivo se han creado modelos para predecir el arribo de la señal en el receptor llamados modelos de propagación y son esencialmente un grupo de algoritmos, expresiones matemáticas y diagramas para predecir la propagación de la señal en un medio determinado. Los modelos de propagación se pueden formular empíricamente por métodos estadísticos, teóricos y determinísticos o una combinación de ambos.

La utilización de modelos empíricos es la de describir las características de radio basados en mediciones en el medio ambiente, cuya ventaja estriba en la consideración implícita de todos los factores que afectan la propagación de la señal.

Los modelos teóricos basan sus predicciones en el análisis teórico de las ondas de radio y no en mediciones experimentales por lo que los modelos teóricos no dependen de las mediciones en un medio ambiente específico por lo que las predicciones son más aproximadas en un amplio rango de diferentes medios de propagación ambientales, con la desventaja de que los algoritmos empleados son sumamente complejos lo que hace ineficiente el proceso de cómputo. Por esta razón los modelos teóricos se emplean con frecuencia en interiores, y pequeñas áreas en el exterior de inmuebles.

En términos del medio ambiente y la radio señal los modelos de propagación se categorizan en interiores y exteriores los cuales se subdividen en modelos para microceldas los que se emplean en áreas pequeñas de cobertura y las macroceldas para grandes extensiones de área.

1.3 MODELOS DE FLUCTUACIONES RÁPIDAS Y LENTAS

Para señales de alta frecuencia especialmente UHF y microondas se requiere de una línea de vista adecuada entre transmisor y receptor para tener un nivel adecuado en la intensidad de la radio señal. Las áreas sombreadas en distancias cortas dan como resultado una razón de cambio en la potencia de la señal con tendencia al debilitamiento o atenuación, a este fenómeno se le conoce como fluctuación lenta.

El debilitamiento del fenómeno de propagación multitrayectoria se le conoce como fluctuación rápida ya que la potencia de la señal en el receptor varía rápidamente a una razón de tres a cuatro veces el valor de la magnitud de la señal cuando el receptor se mueve una fracción de la longitud de onda de la señal. Estas fluctuaciones se deben al arribo de los ecos con diferente fase respecto al receptor lo que da como resultado la generación de la señal de ruido. A pesar de que las fluctuaciones rápidas debidas a la propagación multitrayectoria la potencia promedio de la señal en el receptor, la cual se computa con base en el movimiento del receptor a una razón de 10 a 40 longitudes de onda y utilizando un receptor controlador de decisión de 'roaming' y potencia, se caracteriza por pequeñas variaciones a gran escala y decrece sólo cuando el transmisor se mueve a grandes distancias con respecto al receptor.

Para modelos de fluctuaciones lentas se utiliza la función de probabilidad de Rayleigh:

$$P(R) = 1 - 2\exp(-R/R_m)$$

Esta función describe un método estadístico de primer orden de la señal a cortas distancias para un nivel significativo relativo a una constante. La distribución de Rayleigh nos da información relativa al porcentaje total de localidades o espacios de tiempo los cuales son de gran ayuda en la selección de la velocidad de transmisión, longitud de palabra y esquemas de codificación en sistemas de radio para un desempeño más eficiente.

Para fluctuaciones rápidas se emplea la función de densidad de probabilidad normal:

$$P(m)$$

Al igual que la función de Rayleigh esta distribución también nos da criterios para la toma de decisión en lo que respecta a la velocidad de transmisión ó 'bit rate' y los demás parámetros afectados por el fenómeno de propagación.

1.4 EL AMBIENTE MÓVIL

Como se ha mencionado anteriormente, los mecanismos de propagación de las ondas electromagnéticas se deben principalmente a la reflexión, dispersión y difracción en el medio o ambiente móvil, el cual en el caso de comunicaciones móviles depende de la situación geográfica de la zona y los dispositivos empleados en establecer la comunicación, como son los teléfonos celulares, radios móviles y computadoras con radio módems integrados, los cuales, se pueden considerar como estaciones o bases móviles afectadas por el fenómeno de reflexión el cual, ocurre cuando las ondas electromagnéticas chocan con cuerpos u objetos cuyas dimensiones son mucho mayores a la longitud de onda. La dispersión ocurre cuando la señal es obstruida por objetos de dimensiones semejantes a la longitud de onda de la señal de radio, este fenómeno provoca que la energía de la señal se transmita en diferentes direcciones lo que resulta difícil de predecir dicho comportamiento. Finalmente la difracción conocida comúnmente como sombreado ocurre cuando la onda de radio choca en objetos impenetrables lo que ocasiona que dicha onda genere una serie de rebotes en función a los objetos presentes en la zona o área de propagación y la frecuencia en uso ya que para bajas frecuencias las señales se difractan más que en altas frecuencias.

El ambiente móvil en exteriores se caracteriza por tener un gran número de macroceldas y altos niveles de potencia y velocidad del transmisor por lo que se hace uso de una función de densidad de probabilidad normal para predecir y modelar el fenómeno de la propagación donde se pueden apreciar variaciones considerables en la desviación estándar; por ejemplo para zonas urbanas y suburbanas se pueden tener niveles de potencia de 10 dB. En áreas rurales y montañosas se utilizan valores menores.

En interiores como son oficinas, casa habitación y otro tipo de inmuebles se utilizan microceldas y bajos niveles de potencia cuyas antenas en el interior establecen la comunicación con las macroceldas o estaciones base en el exterior además de que la pérdida de energía o atenuación y dispersión provocado por el piso, techo y estructuras metálicas. Las pérdidas por penetración en paredes y techos varían acorde al material.

Las Figuras 1.1 y 1.2 representan el ambiente móvil y las formas de propagación.

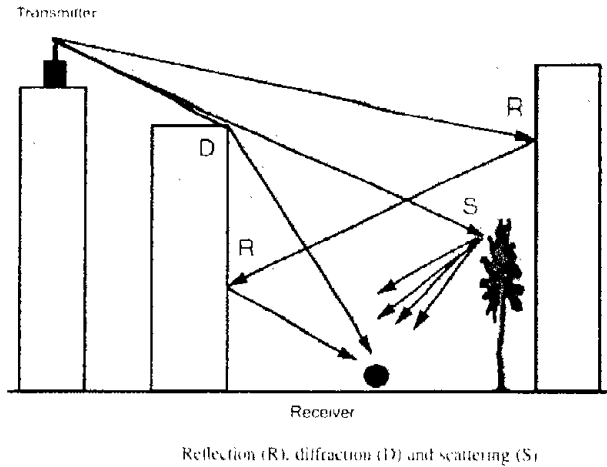
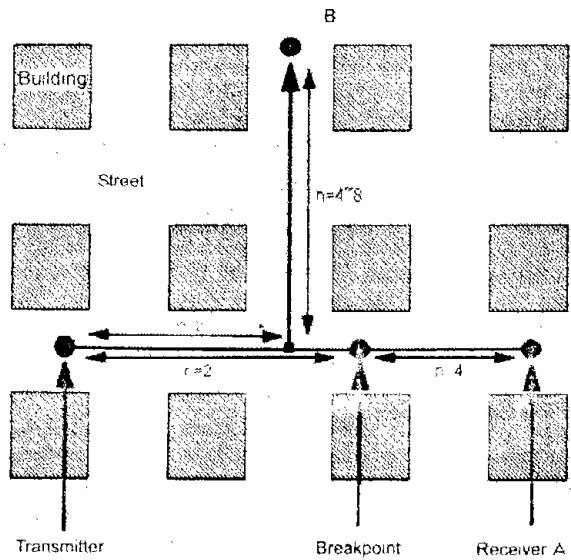


Fig. 1.1 Formas de propagación.



Path loss situations in a street microcell

Fig. 1.2 Ambiente móvil.

1.5 FUNDAMENTOS DE RF Y SISTEMAS DE MICROONDAS

Las ondas de radio y microondas juegan un importante rol en la vida moderna, como pueden ser las señales de TV. las cuales se transmiten alrededor del globo terrestre por medio de satélites, así como también señales de radar y sistemas de navegación empleados en el tráfico guía y control aéreo terrestre y marítimo, sistemas de telefonía y señalización de datos y comunicaciones inalámbricas fijas y móviles.

Un sistema inalámbrico está compuesto por dispositivos activos y pasivos interconectados con una función definida. Un ejemplo simple de un sistema de radio se muestra en la siguiente Figura 1.3:

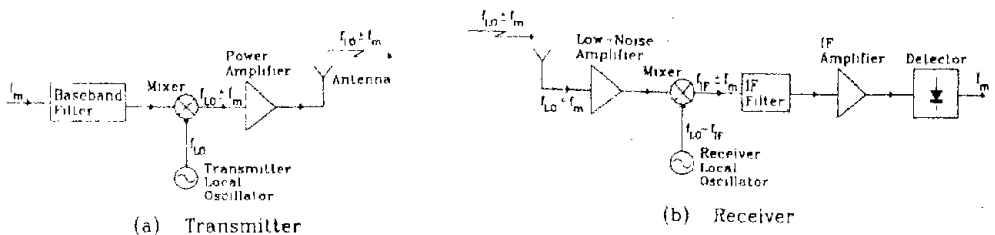


Fig. 1.3 Sistema de RF.

El transmisor opera por medio de una señal de entrada en banda base la cual puede ser voz, video y datos o las tres a la vez, asumiendo una banda limitada a una frecuencia FM, esta señal se acota con un filtro paso banda para modular la señal o mensaje por medio de un oscilador local produciendo la señal portadora cuya frecuencia es mucho mayor a la del mensaje, tal señal es amplificada y después se transmite por medio de una antena.

Cuando la señal llega al receptor normalmente es amplificada por un amplificador de bajo ruido (LNA) el cual se puede omitir cuando se trata de enlaces a corta distancia. El mezclador produce una señal de frecuencia intermedia mucho menor a la del oscilador local la cual pasa por un proceso de amplificación y filtrado para suprimir las armónicas y señales espurias producidas por el proceso de mezclado. A la salida del amplificador la señal pasa por una etapa de detección para obtener la señal original o mensaje.

El desempeño de todas estas funciones depende de la confiabilidad de cada uno de los componentes que forman el sistema de microondas los cuales se clasifican en líneas de transmisión, acopladores de impedancia, filtros cavidades y circuitos resonantes, amplificadores, osciladores, componentes de control y adecuación de la señal mezcladores detectores guías de onda y antenas.

Para hacer una pequeña descripción de lo que es un enlace de microondas podemos ejemplificarlo mediante un sistema punto a punto en un área urbana, operando en una banda de frecuencia de 6 Ghz y una distancia total de 300 Km

La estación terminal se ubica en los puntos más altos de la zona montañas acantilados y edificios con una línea de vista aceptable de punto a punto con la finalidad de minimizar el número de estaciones repetidoras ya que estas están ligadas al tráfico de información entre la fuente y el destino por medio de circuitos multiplexores tanto en división de tiempo como en frecuencia. La Figura 1.4 muestra un diagrama de bloques simplificado de un enlace con un solo repetidor:

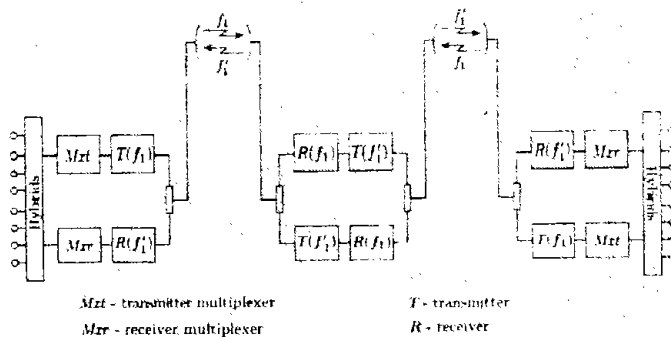


Fig. 1.4 Enlace de microondas de un solo repetidor.

En la mayoría de los casos la capacidad del enlace no sólo se concentra en un simple transmisor y receptor sino que se subdivide en un grupo formado por varios transmisores y receptores idénticos, de los cuales el número es un determinante en la capacidad del enlace. Esta Configuración se conoce comúnmente como m+r tal que $r=1,2,3,\dots,n$ es el número de estaciones repetidoras las cuales dependen de los requerimientos del sistema. Para una estación dada todos los transmisores y receptores

involucrados en el enlace con la estación próxima utilizan la misma antena ubicada en lo alto de una torre o mástil y de acuerdo con la importancia de la estación y la altura de la antena las torres pueden ser:

- * Para alturas mayores a 6 m deben ser auto soportadas simples y de estructura metálica
- * Para alturas mayores a 100 m deben ser del tipo simple y estructura metálica.
- * Para alturas entre 30 y 300 m deben ser complejas de estructura auto soportada de metal, concreto o ambos.

La Figura 1.5 ejemplifica los tipos de torre empleados en enlaces de microondas.

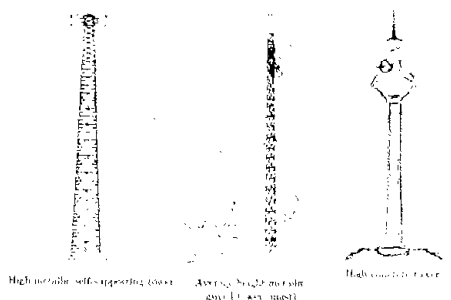


Fig. 1.5 Diferentes tipos de torres de transmisión celular.

Los transmisores y receptores se conectan a la antena por medio de cables coaxiales o guías de onda para frecuencias por arriba de los 2 Ghz, asociados a filtros y circuladores como se muestra en la siguiente Figura (1.6).

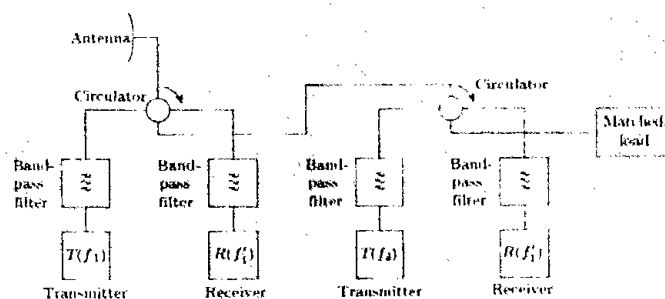


Fig. 1.6 Sistema de microondas Tx / Rx.

Para frecuencias por arriba de 1 Ghz se emplean antenas parabólicas como se muestra en la Figura 1.7:

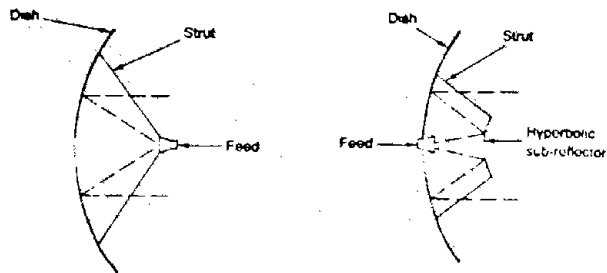


Fig. 1.7 Tipos de antenas parabólicas.

Para frecuencias por debajo de 1 Ghz y acorde con los requerimientos en la polarización, ancho de banda y ganancia se emplean arreglos de antenas Yagi-Uda o Helicoidales sin planos reflectores.

Los receptores comúnmente son heterodinos de conversión doble con frecuencias intermedias alrededor de 1 Ghz hasta 70 Mhz. Por razones de simplicidad y bajo costo las etapas en la amplificación de RF se omiten hasta que los factores de ruido sean requeridos.

Desde que cada sección de radio utiliza un par de frecuencias (TX/RX) ambos son controlados por un cristal oscilador y factores de sintonía, sin embargo hoy en día se hace más común el empleo de sintetizadores para habilitar los ajustes en la frecuencia de operación.

La transmisión de señales en los enlaces de microondas puede ser analógica o digital. Para señales analógicas en términos de ancho de banda se le da gran importancia a los sistemas de TV. y al proceso de multiplexaje en telefonía con una banda base de 10 Mhz. Para señales digitales, en telefonía se utiliza comúnmente la técnica de multiplexaje por división de tiempo.

Las estaciones enlazadas vía microondas además de depender de las condiciones de propagación, también se interconectan con estaciones de relevo con la finalidad de tener un sistema redundante interconectando transmisores y receptores en diferentes rutas con el objetivo incrementar la complejidad y flexibilidad del sistema para hacerlo más confiable y eficiente. La interconexión en banda base implica el uso de moduladores y demoduladores en las estaciones de relevo para darle más disponibilidad a la señal en banda base con el fin de simplificar la conexión de un enlace móvil a una red de telecomunicación fija. La interconexión á nivel de canal o grupo de canales además de requerir moduladores y demoduladores se deben agregar equipos multiplexores

1.6 FUNDAMENTOS DE ANTENAS Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Antenas

Las antenas son dispositivos empleados para transmitir las señales de RF y físicamente están formadas por un par de conductores ó alambres conectados en paralelo, cuyas terminales son semejantes a una línea de transmisión pero dobladas de tal forma que impida que los campos formados en cada conductor no se cancelen, ya que al doblar cada conductor se debe considerar una distancia de una cuarta parte de la longitud de onda como se muestra en la Figura 1.8.

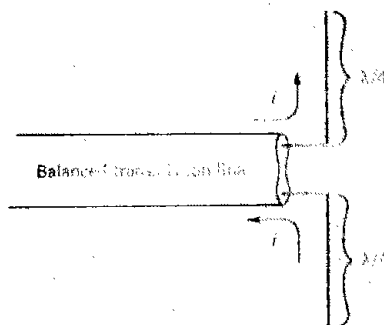


Fig. 1.8 Antena Dipolar.

A este tipo de arreglo se le conoce como antena dipolar ya que los componentes de los campos electromagnéticos en lugar de cancelarse al estar separados lo suficiente uno del otro para impedir el retorno de la señal de RF, hacen que ésta se propague en el espacio, ya que los campos eléctricos y magnéticos son ortogonales en dirección a la propagación cuya energía se puede calcular por la regla de la mano derecha y si el vector de campo eléctrico es vertical, se considera que esta polarizado verticalmente, en caso contrario cuando el vector de campo eléctrico es horizontal la señal esta polarizada horizontalmente y si el vector de campo eléctrico es rotatorio se le llama polarización circular.

Para estructuras simples de antenas, el campo eléctrico se genera paralelamente al plano del elemento activo, esto quiere decir que el dipolo esta orientado horizontalmente con respecto a la superficie terrestre radia una señal polarizada horizontalmente, y para tener un nivel de potencia aceptable en el receptor la antena se debe orientar paralelamente al campo eléctrico.

Los patrones de radiación de una antena usualmente se comparan mediante una fuente puntual de radiación isotrópica ya que desde este punto se transmite la potencia radiada isotrópicamente formando un patrón esférico de radiación como se muestra en la Figura 1.9:

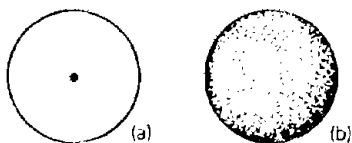


Fig. 1.9 Fuente puntual de radiación Isotrópica.

Los patrones de radiación se pueden representar mediante gráficas en coordenadas polares para cuantificar por medio de un método gráfico la intensidad de campo en un plano horizontal como se representa en la siguiente Figura muestra un patrón de radiación para un dipolo ideal de media onda en la cual se puede notar que la radiación de la intensidad de campo es máxima en el centro de la longitud de la antena, y la potencia transmitida se concentra en dos lazos cuando es en dos dimensiones y es

toroidal en tres dimensiones, los puntos que forman el círculo en la Figura 1.10 representan la máxima radiación isotrópica cuyo valor aproximado es de 2.15 dB y comúnmente se le conoce como ganancia máxima o directividad del dipolo con respecto al radiador isotrópico teórico y se representa en dBi.

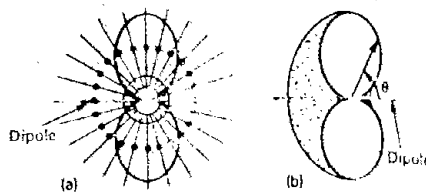


Fig. 1.10 Patrones de radiación.

Las estructuras de antenas que concentran la potencia en una sola dirección a expensas de la radiación en otras direcciones tienen una ganancia direccional comparado con el radiador isotrópico. La directividad se puede definir como la relación la máxima intensidad de radiación transmitida y la intensidad promedio radiada.

Otro factor asociado a la directividad es el ancho de banda. Al trazar dos líneas desde el centro de la grafica del patrón de radiación pasando por los puntos donde la potencia radiada es 3dB menor a la potencia máxima el ángulo formado por las dos líneas representa el ancho de banda.

La antena Yagi esta formada mediante un arreglo lineal el cual consiste de un dipolo y una o más elementos parásitos utilizados para incrementar la ganancia y directividad. La antena Yagi esta formada básicamente por tres elementos los cuales son un dipolo, un elemento parásito posicionado al frente o por detrás del dipolo con respecto a la dirección de la propagación de la señal. Al elemento ubicado por detrás del dipolo se le conoce como reflector cuya dimensión con lo que respecta a su longitud es 5% mayor a la longitud del dipolo, y el elemento ubicado al frente de dipolo de dimensión 5% menor a la del dipolo y ambos están espaciados de 0.15 a 0.25 veces del valor de la longitud de onda para máxima directividad por arriba de 9 dB. La energía de la señal que llega en la dirección del elemento director al chocar con los tres elementos

de conducción de la antena genera el fenómeno de resonancia, adicionalmente el reflector produce una pequeña ganancia extra sobre los otros elementos ya que al incrementar el número de directores se incrementa considerablemente la ganancia, por ejemplo para tener una excelente ganancia se emplean cinco directores los cuales suman siete elementos pero para fines prácticos se recomienda como máximo cinco elementos en total.

Los patrones de intensidad de la señal y los elementos que componen las antenas Yagi se muestran en la Figura 1.11:

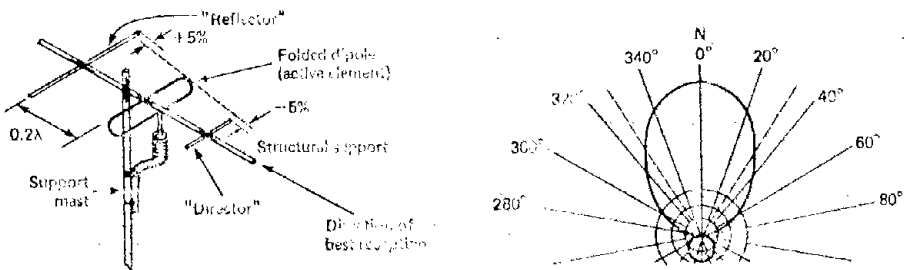


Fig. 1.11 Antena Yagi.

Se puede notar que los elementos parásitos incrementan la directividad sobre el dipolo además de que el lóbulo principal es mucho mayor comparado con los lóbulos que están atrás de él.

La FBR (front-to-back ratio) relaciona la máxima señal al frente o lóbulo mayor con respecto al lóbulo menor. Ya que la FBR se considera como otro indicador de directividad de la antena y si la relación entre el lóbulo mayor con respecto al menor da como resultado un valor que excede los 3 dB se puede considerar que el diseño y construcción de la antena es bastante aceptable para fines prácticos.

Otro tipo importante de antenas son las de lazo cerrado cuya principal ventaja es su vasto ancho de banda y su pequeño tamaño. Como se muestra en la siguiente Figura 1.12, el lazo puede tener diferentes formas, sin embargo la forma tiene poco efecto en radiaciones de largo alcance lo que se aprovecha es su corta longitud de onda ya que con un diámetro de $1/16$ de la longitud de onda se puede recibir un amplio

rango de frecuencias. La Figura 1.12 muestra las diferentes formas que pueden tomar este tipo de arreglo y su patrón de radiación.

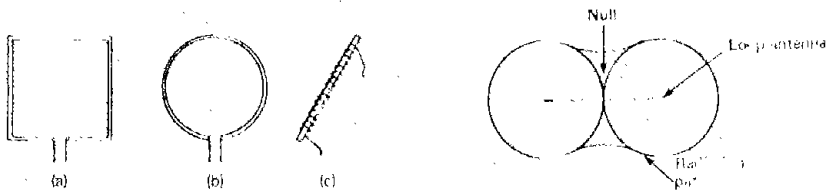


Fig. 1.12 Antenas de banda ancha.

Su patrón de radiación y pequeño tamaño hacen que la antena de lazo cerrado sea ideal para aplicaciones de detección y encuentro de estaciones transmisoras de RF ya que estas se alinean angularmente al plano del lazo o 'loop'. La sensibilidad se puede incrementar aumentando el número de vueltas en el lazo como se puede ver en receptores de AM los cuales utilizan núcleos de ferrita ya que esta ayuda a concentrar las líneas de flujo magnético ya que el voltaje inducido es proporcional al número de vueltas.

Para la transmisión de radio microondas punto a punto se utilizan antenas de disco o parabólicas por su característica de altos niveles de ganancia y directividad ya que su utilidad principal se refleja en el uso de enlaces a larga distancia y sistemas de transmisión satelital. Los componentes básicos de esta antena es el reflector parabólico semejante al que se utiliza en reflectores de luz relampagueante o 'flash', ya que por la geometría del dispositivo se aprovecha la máxima concentración de energía en el punto focal como se ilustra en la Figura 1.13.

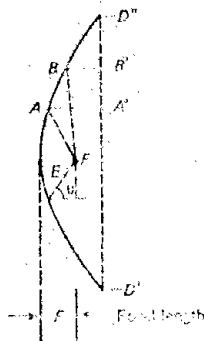


Fig. 1.13 Antenas parabólicas o de disco.

Líneas de transmisión y guías de onda.

La Figura 1.14 ilustra la estructura de una línea de transmisión:

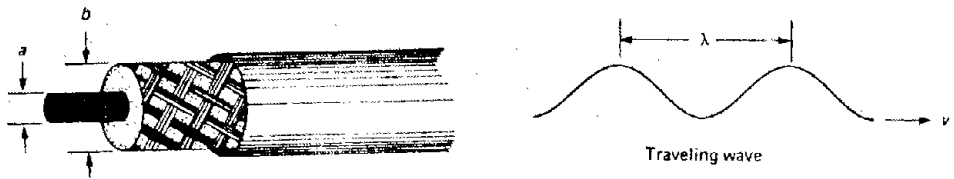


Fig. 1.14 Estructura de una línea de transmisión.

Las líneas de transmisión se caracterizan por tener dos o más conductores los cuales se encargan de suministrar corriente eléctrica a una determinada carga como pueden ser antenas, amplificadores de RF y otros dispositivos que demandan energía eléctrica. Para un cable o línea coaxial la corriente eléctrica fluye a lo largo del conductor central, donde la señal se propaga por medio de fluctuaciones de la onda electromagnética. Para líneas planas formadas por dos conductores ó líneas en paralelo a circuito abierto, como se muestra en la Figura 1.15

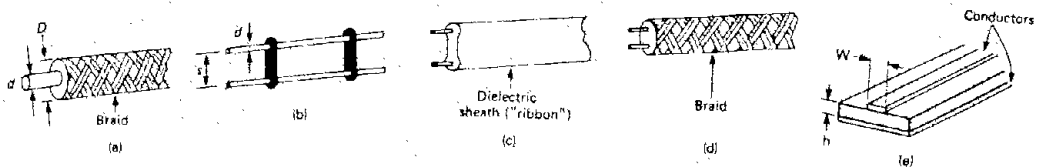


Fig. 1.15 Diferentes tipos de líneas de transmisión.

La onda electromagnética se propaga alrededor de cada conductor donde el material dieléctrico mantiene un espacio constante entre los dos conductores y comparado con la estructura del cable coaxial está es más simple y barata, sin embargo produce más fenómenos de interferencia debido a su característica de simetría del campo electromagnético y blindaje entre los dos conductores como se ilustra en la Figura 1.16.

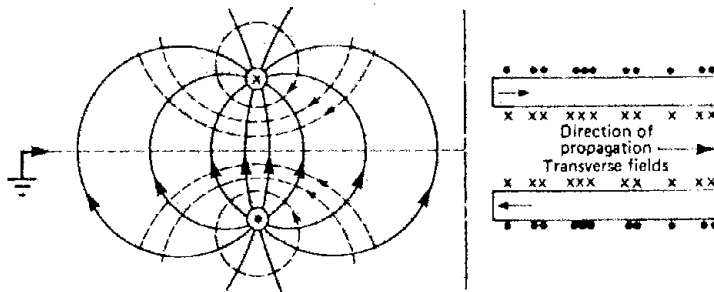


Fig. 1.16 Campo Electromagnético.

La Figura 1.17 nos muestra los parámetros distribuidos de una línea de transmisión:

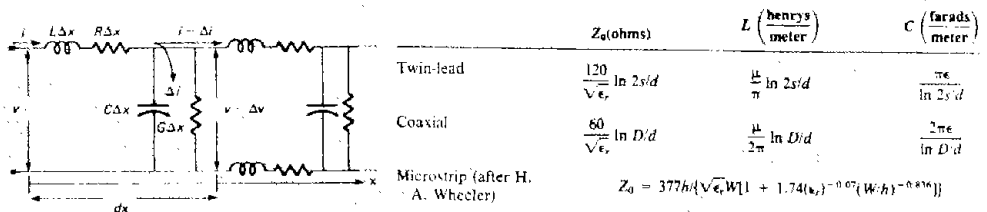


Fig. 1.17 Parámetros distribuidos de una línea de transmisión.

Donde L es la inductancia por metro R es la resistencia por metro, C la capacidad por metro y G es la conductancia por metro. El cálculo de estos Parámetros requiere de procedimientos matemáticos los cuales no se consideran en esta tesis, ya que este no es el objetivo principal sólo me remitiré a una breve introducción sobre los conceptos de los parámetros empleados en las pruebas a líneas de transmisión en sitios celulares.

Una línea ranurada es un dispositivo el cual contiene un punto de prueba a lo largo de la línea de transmisión con la finalidad de conectar un voltímetro en dicho punto, para hacer mediciones de magnitud coeficiente de reflexión e impedancia de carga como se muestra en la Figura 1.18.

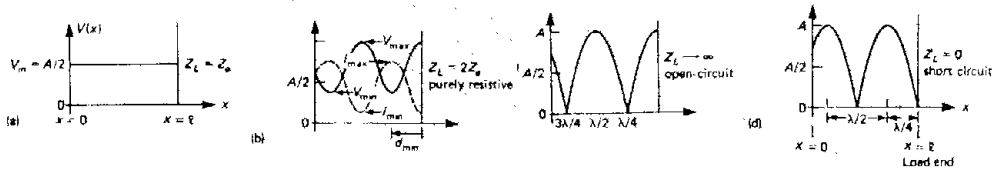


Fig. 1.18 Curvas de prueba de una línea ranurada.

La relación del voltaje máximo entre el voltaje mínimo de una onda estacionaria se define como la relación de voltaje de una onda estacionaria ó VSWR. Está relación sirve para calcular el coeficiente de reflexión y la impedancia de carga máxima y mínima. Donde ρ es la magnitud del coeficiente de reflexión.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

$$\rho = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

$$VSWR = V^+(1 + \rho)/V^-(1 - \rho)$$

$$VSWR = (1 + \rho)/(1 - \rho)$$

$$Z_{min} = \frac{Z_0}{VSWR}$$

$$Z_{max} = Z_0(VSWR)$$

Ec. 1.1 hasta 1.5

La carta de SMITH (Figura 1.19) es un método gráfico por el cual se pueden calcular impedancias de carga para diferentes longitudes de líneas de transmisión, sin embargo en la actualidad existen instrumentos de medición tales como los analizadores de red los cuales simplifican en gran medida este cálculo.

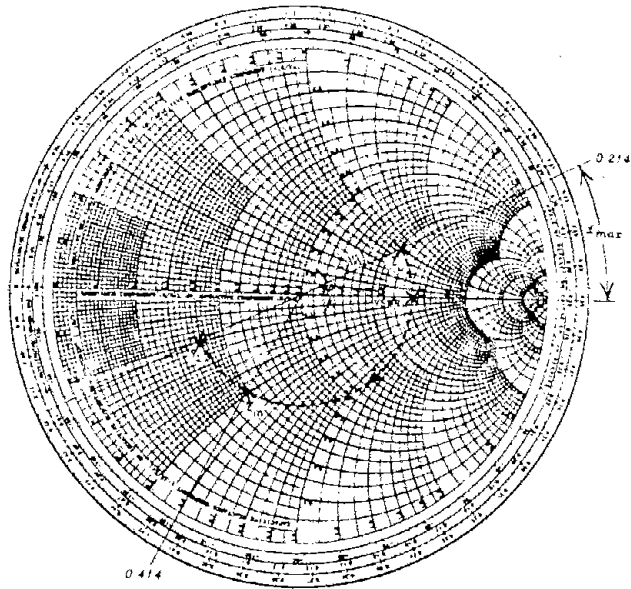


Fig. 1.19 Carta SMITH.

Un mal acoplamiento en la impedancia de carga ya sea una antena o cualquier otro dispositivo de microondas produce pérdidas de energía en la línea de transmisión por tal motivo se deben utilizar técnicas para el cálculo de impedancias con la finalidad de hacer más eficiente la pérdida de energía en la línea evitando así un sobrecalentamiento en el transmisor.

En redes y dispositivos de microondas, uno de los parámetros mas comúnmente utilizado para su caracterización, es el parámetro S y la razón de su utilidad en el análisis de reflexión y esparcimiento de ondas electromagnéticas en circuitos de microondas y al igual que la carta de Smith, este se puede calcular mediante un analizador de redes.

Como ya sabemos la energía electromagnética se puede guiar y propagar a través de un elemento dieléctrico y el espacio libre, y si esta circunda por medio de una estructura de tal manera que las líneas de fuerza curvean o reflejan en forma de

zigzag de tal manera que la estructura actúa como una guía de onda como se muestra en la Figura 1.20

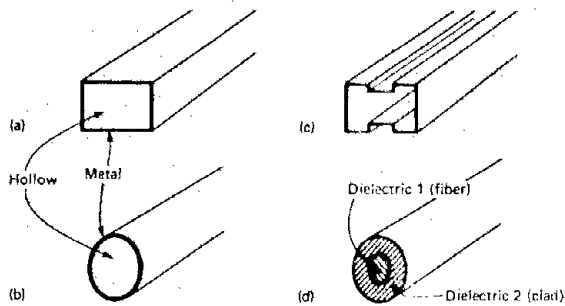


Fig. 1.20 Diferentes tipos de guías de onda.

La barra sólida dieléctrica mostrada se utiliza comúnmente como una guía de onda la cual se refiere a una estructura metálica de forma rectangular cuyo material puede ser cobre aluminio o latón ya que por su alto índice de conductividad actúan como un espejo reflejante de ondas electromagnéticas. Las condiciones de frontera determinan la Configuración de un campo en particular los cuales se conocen como modos de propagación de la línea de onda, como por ejemplo las ondas electromagnéticas transversales ó TEM las cuales caracterizan la Configuración del campo en el espacio y líneas de transmisión y ya que existen diferentes modos de propagación en guías de onda se pueden considerar dos configuraciones básicas: Las TE ó modo eléctrico transversal y la TM ó modo magnético transversal. Para tener una idea más clara de los modos de Configuración de líneas de onda imaginemos dos ondas TEM cruzando una tras otra en el espacio como se muestra en la Figura 1.21:

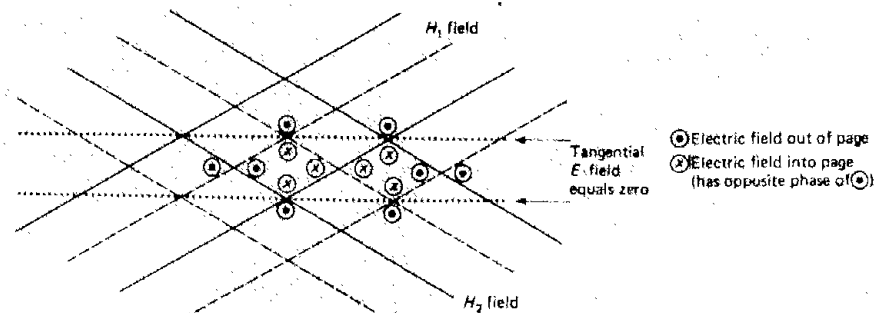


Fig. 1.21 Ondas TEM cruzando el espacio.

Se puede notar que el campo eléctrico el cual es perpendicular en cualquier parte del campo magnético se cancela a lo largo de la línea horizontal punteada donde se refuerzan los vectores de campo eléctrico. Si las paredes de conducción de la guía de onda rectangular se localizan a lo largo de las líneas punteadas se trata del modo de propagación TE. La Figura 1.22 y 1.23 esquematizan en tres dimensiones los campos generados que satisfacen las ecuaciones de Maxwell para guías de onda rectangulares:

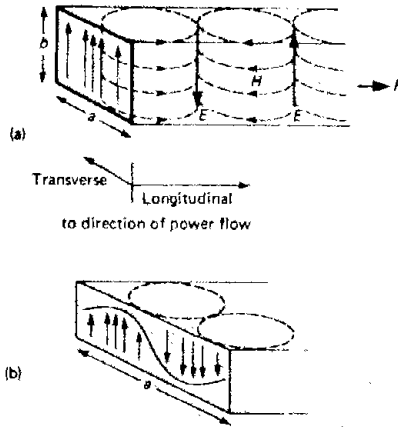


Fig. 1.22 Guías de onda rectangulares.

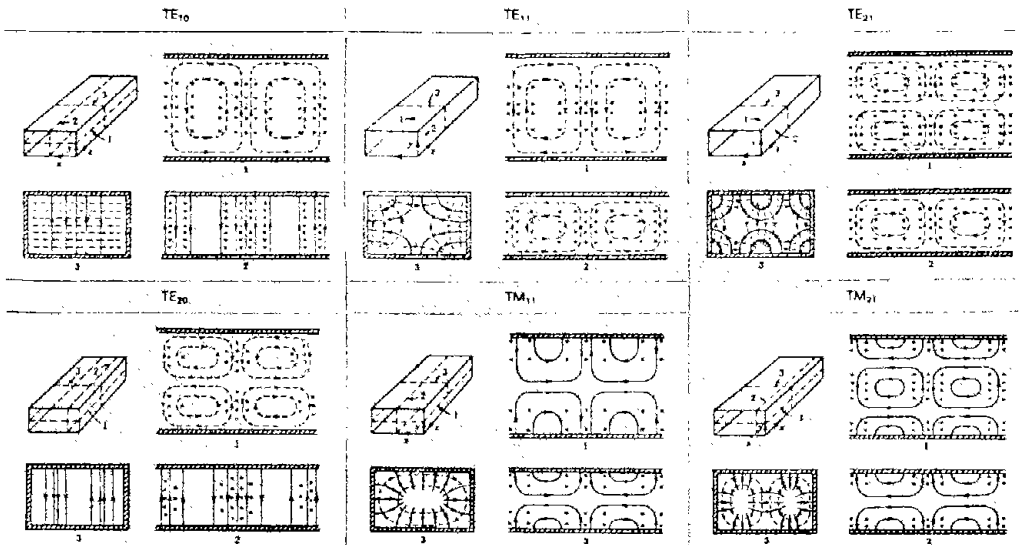


Fig. 1.23 Campos generados en guías de onda rectangulares.

El acoplamiento de la señal de microondas entre y dentro de la guía de onda como se muestra en la Figura 1.24.

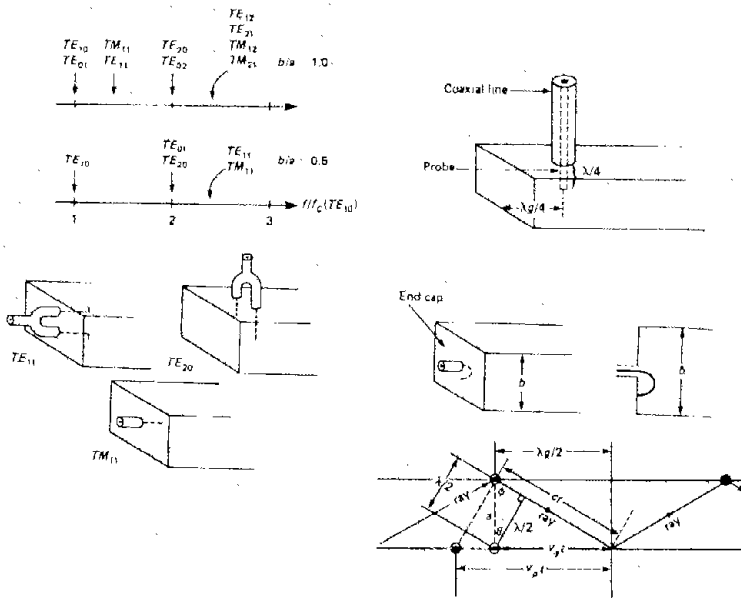


Fig. 1.24 Acoplamiento en las guías de onda.

1.7 FUNDAMENTOS DE HARDWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS Y SEÑALES INALÁMBRICAS DE SITIOS CELULARES

Hablar del hardware empleado en sitios de telefonía celular es un tema tan amplio dado que existe una gran variedad de fabricantes y proveedores, dedicados a este rubro, además, también la implementación de estos dispositivos depende de la normatividad y la zona en la cual se instalan estos equipos. En el caso de México el tipo de hardware utilizado en celdas de telefonía celular se ajusta a la norma americana de la cual se hará referencia de una celda básica para ejemplificar de manera general partiendo de un caso particular el tipo de dispositivos empleados en la implementación de estas celdas, de tal manera que al hacer referencia a los equipos utilizados por la firma Northern Telecom. (NT) se puede considerar como punto de referencia para entender los conceptos de hardware empleados por otras firmas fabricantes de estos equipos, ya que fundamentalmente sus diseños son muy semejantes ya que son

regulados por la EIA (North American Electronic Industry Association) y la CCITT, con el propósito de promover la compatibilidad de los sistemas celulares empleados en Norte América.

El hardware empleado en los sitios celulares es el responsable de establecer la comunicación entre las unidades o teléfonos móviles y las estaciones fijas comúnmente llamados sitios celulares los cuales se encargan de procesar y mandar estas señales a los supernodos de las centrales telefónicas las cuales se encargan de realizar el proceso de conmutación, control y tarificación de las llamadas telefónicas y transferencia de datos hasta servicios de Internet de Banda Ancha.

Los sitios celulares alojan dos tipos de estructuras: Las de equipo común (CE Common Equipment) y las estructuras de RF, estas estructuras realizan el control y prueba del equipo celular, alarmas, interfase de conmutación y equipos de RF. Las especificaciones de hardware difieren de acuerdo al equipo de RF utilizado tales como:

*Transreceptores estación base (BSTs) configurados con CSC (cell site control) ó controlador de sitio celular ó ICP (Intelligent Cellular Peripheral) ó periférico celular inteligente.

*Unidades duales de radio DRU (Dual Radio Units) los cuales se pueden configurar para trabajar en modo analógico, modo digital ó la mezcla de los dos (análogo/digital). El radio de control de canal RCU (Radio Control Channel) realiza tres funciones:

*Control de canal CCH (control channel) el cual provee un flujo continuo de datos entre el CSC y el MSU (Mobile Subscriber Unit) ó abonado de la unidad móvil ó teléfono celular ó simplemente móvil. Dicho canal provee la información total del sistema a los móviles cercanos a la cobertura de las estaciones base con el objeto de determinar el estado y disponibilidad de los receptores para el proceso de llamada o marcación manteniendo el control desde el que la origina hasta el que la recibe.

*El canal de voz VCH (Voice Channel) Utilizado para establecer la conversación ó interfase de audio provee la ruta y sustento de la señal de audio al realizar la llamada por el móvil, pues supervisa y monitorea la intensidad de la señal de RF, calculando también el rumbo ó curso por si es requerido un intercambio ó manipuleo de la señal entre celdas conocido en el medio como 'HANDOFFS'.

*El canal receptor de ubicación LCR (Locating Receiver Channel) mide la intensidad de la señal RSSI (Received Signal Strength Indicator) en todos los canales de la banda de recepción para reportarlo a la central ó "SWICHT" con la finalidad de asignar al mejor candidato en el proceso de Handoffs entre celdas.

Controlador del sitio celular CSC (cell site controller)

El CSC realiza el control absoluto del sitio celular realizando el enlace por medio de un software de control de interfase entre el equipo de radio y la central telefónica. El CSC tiene la capacidad de diagnosticar y reportar fallas en el sistema, ya que se tienen dos CSC por sitio con la finalidad de hacerlo redundante ya que si uno de ellos falla entra en operación el otro CSC para soportar al sistema.

Unidad de prueba y alarmas. TAU (Test and alarm unit)

El TAU ejecuta diversas funciones para mantener al equipo de RF operando adecuadamente ya que constantemente monitorea al CCH para detectar pérdidas ó degradación de radio frecuencia así como también la sincronización y los factores que rebajan el rendimiento de los dispositivos que intervienen en el proceso de transferencia del mensaje, al igual que el estado de las alarmas en el sitio.

Filtro receptor y Multiacoplador

La función de este dispositivo es la de filtrar, amplificar y distribuir la señal receptora ya que la divide en bandas individuales de frecuencia asignando una ruta apropiada a cada banda de radio.

Combinador transmisor

Su función es la de combinar las señales emitidas por los amplificadores de potencia dentro de una sola salida a las antenas.

Filtro transmisor

Este filtro aloja señales con un cierto rango de frecuencias de paso sin atenuarlas o distorsionarlas.

Antenas

La orientación y localización de las antenas tiene efectos significativos en la calidad del servicio. La instalación orientación y mantenimiento están en función del equipo de RF.

Configuración de sitios celulares NT (Manufactura Northern Telecom.)

Originalmente el sistema de radio de NT se sustenta por requerimientos de manufactura y diseño de GE (General Electric) con la finalidad de proveer un paquete de RF completamente constituido por dispositivos de estado sólido para aplicaciones de radio móvil operando en la banda de los 800MHz, por lo que a este sistema se le denomina sitio celular NT800DR, el cual está diseñado para trabajar tanto en operaciones en modo analógico, ó modo digital ya que se puede configurar como transreceptor estación base ó P3BSTs (Base Station Transceiver) ó Unidad Dual de radio DRU (Dual Radio Units) ó una mezcla de ambos.

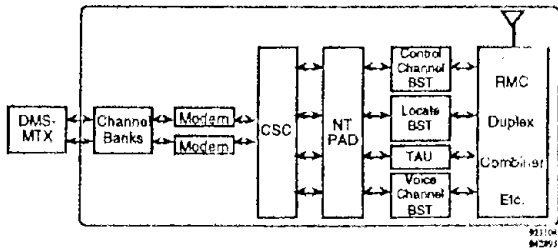
El transreceptor estación base BST está compuesto de un número modular de componentes. A nivel estructura la RF y el equipo común proveen la flexibilidad para el manipuleo de una banda variable que está en función de la capacidad y Configuración del sistema.

El sistema de radio NT provee una interfase entre el celular móvil y la central ó MTX (mobile telephon exchange) a través de CSC ó el ICP. Refiriéndonos a la Figura 1.25. El sistema de radio se comunica con el MTX sobre un enlace de datos enviados ó recibidos mediante mensajes de control supervisión e información del estado del sistema, al mismo tiempo el sistema de radio establece la comunicación con el móvil enviando y recibiendo mensajes de control supervisión e información así como también la señal de audio. El sitio celular sé conecta con el ICP por medio de uno ó más enlaces DS-1 (Direct Séquense 1) por ejemplo para 56Kbps se utilizan dos segmentos de tiempo DS-1 conocidos comúnmente como 'Time Slots'. Este enlace de datos vía radio acarrea el control y el procesamiento de llamadas entre el ICP y la interfase

multiplexora celular remota RCMI (Remote Cellular Multiplex Interface) hasta el sitio celular. El RCMI es un multiplexor empleado para el ruteo de señales para un radio específico.

El ICP es un módulo singular integrado cuyo diseño se basa en la versión ISDN para el controlador troncal digital DTC (Digital Trunk Controller) para así eliminar el empleo del CSC ya que es un procesador más confiable, veloz y eficiente comparado con el CSC.

Sitio Celular NT CSC.



CSC Based NT Cell Site

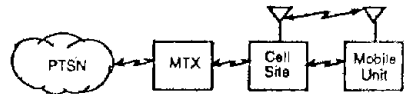


Fig. 1.25 Sistema de radio celular.

Sitio Celular basado en un ICP.

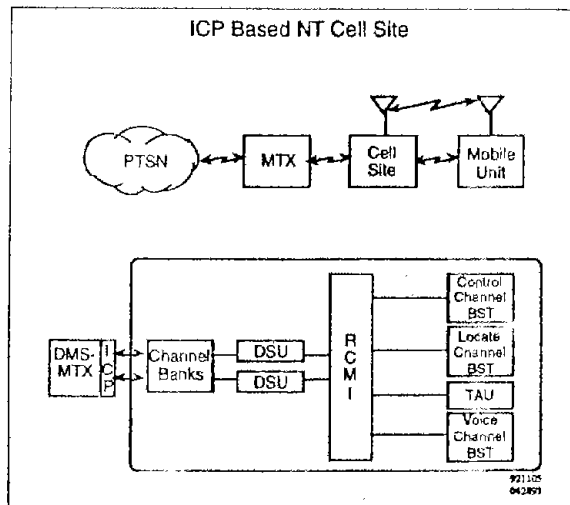


Fig. 1.26 Esquema de un sitio celular.

La Figura 1.27 representa la composición del equipo empleado en un sitio celular NT siguiendo la siguiente estructura:

*El equipo común CE. Su estructura contiene el equipo de soporte de todas las estructuras de RF al igual que la interface del MTX.

*La estructura de RF cuya principal función es la de proveer la transmisión y recepción de la señal de RF.

Estructura de sitio celular para CSC.

BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP
DUPLEXER	DUPLEXER	DUPLEXER	DUPLEXER	TEST and ALARM UNIT	BLANK PANEL	DUPLEXER	DUPLEXER
PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	BLANK PANEL	BLANK PANEL	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF
XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	ACU		XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF
PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	HSMO	BLANK PANEL	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF
18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	RMC 1		BLANK PANEL	18 CHANNEL COMBINER
				RMC 2 (optional)			
				RMC 3 (optional)			
				NTPAD			
PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	NTPAD (optional)	NTPAD (optional)	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF
XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	RESERVED FOR ICPM	RMC 4 (optional)	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF
PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF		RMC 5 (optional)	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF
					RMC 6 (optional)	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF
					BLANK PANEL		
RF FRAME 4	RF FRAME 3	RF FRAME 2	RF FRAME 1	CE FRAME 1	CE FRAME 2	RF FRAME 5	RF FRAME 6

Fig. 1.27 Equipo celular CSC.

Equipo empleado para sitios celulares con ICP.

BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	BREAKER / RIP	
DUPLEXER	DUPLEXER	DUPLEXER	DUPLEXER	DRUM (optional)	DUPLEXER 1 (optional)	DUPLEXER	DUPLEXER	DUPLEXER	DUPLEXER	
PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	ACU	DUPLEXER 2 (optional)	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	PA 2B SHELF	
XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	HSMO	GLOBAL CONTROL AND LOCATE SHELF (optional)	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	XCVR 2 SHELF	
PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	DSM		PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	PA 2A SHELF	
18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	RMC 1	BLANK PANEL	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	18 CHANNEL COMBINER	
				RMC 2 (optional)						
				RMC 3 (optional)						
				ICPM or ICPM (optional)						ICPM (optional)
PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	ICPM (optional)	RMC 4 (optional)	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	PA 1B SHELF	
XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF		RMC 5 (optional)	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	XCVR 1 SHELF	
PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF		RMC 6 (optional)	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF	PA 1A SHELF
					BLANK PANEL					
RF FRAME 4	RF FRAME 3	RF FRAME 2	RF FRAME 1	CE FRAME 1	CE FRAME 2	RF FRAME 6	RF FRAME 9	RF FRAME 7	RF FRAME 8	

Fig. 1.28 Equipo celular ICP.

Estructura de equipo común CE de NT.

La estructura de equipo común CE del sitio celular NT800DR contiene el equipo requerido para conectar las estructuras de RF al equipo externo como son las antenas y el MTX. Ya que se encarga de distribuir la señal receptora desde el sistema de antenas a las estructuras de RF a través del receptor multiacoplador RMC (receiver multicoupler) También la estructura CE provee la frecuencia de referencia al oscilador maestro para la estructura de RF y la unidad de control de alarmas del sitio.

El CE incluye los siguientes equipos:

*El panel o compartimiento del CE utilizado como interfase de conexión de circuitos de alarmas, RF y otros equipos externos que conectan con el MTX.

*La unidad de prueba y alarma TACU (Test and Alarm Unit) provee la conexión remota y reporte del NT800DR.

*El oscilador maestro de alta velocidad SSMO. Provee la señal de referencia de alta estabilidad (4.8MHz) al sitio celular con una capacidad de habilitar 48 transreceptores.

*El multiacoplador receptor RCM es un circuito que distribuye la señal desde dos antenas receptoras ó máximo 16 receptores por antena.

*El ensamblador/desensamblador de protocolos NT, NTPAD provee la comunicación y ejecuta la conversión del protocolo habilitando la comunicación entre el equipo de radio y el CSC, pero si se utiliza un ICP (Intelligent Cellular Peripheral), ésta unidad se reemplaza por un RCMi con capacidad de soportar 128 Transreceptores en Configuración total.

El ICRM (Integrated Cellular Remote Module) Provee la interfase entre las unidades de radio al ICP. Si el sitio celular requiere de DRU's el modulo de ICRM se puede instalar bajo el RCMI

Las Figuras 1.29 y 1.30 representan NT CE con estructuras NTPAD y el NT CE con estructura RCMI.

NT CE Frame with NTPAD

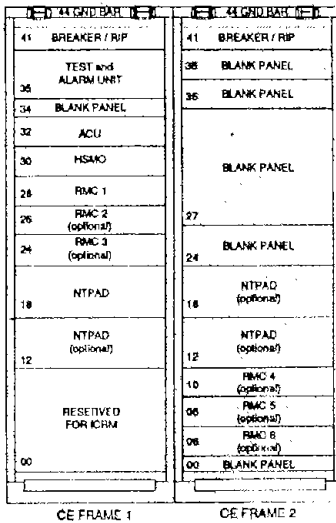


Fig. 1.29 Estructura NTPAD.

NT CE Frame with RCMI

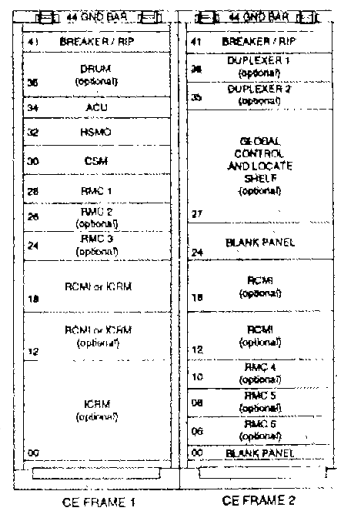


Fig. 1.30 Estructura RCMI.

Estructura de RF.

Su principal función es la de proveer la transmisión y recepción de la señal de RF. Cada estructura de RF se pueden equipar como máximo 16 canales ó radios transreceptores.

La estructura de RF provee la interfase entre el MTX y el teléfono celular móvil. La estructura de RF incluye los siguientes equipos:

- El panel de RF para conectar los circuitos de audio datos y alarmas.

- El duplexor que aloja las señales de RF tanto en recepción como en transmisión a través de las antenas de banda ancha.
- El transreceptor XCVR el cual es un radio celular base 'full-duplex, donde se instalan como máximo 16 radios por estructura.
- Los amplificadores de potencia PA's los cuales modulan la señal de RF a la salida de los transreceptores con una ganancia ajustable que va desde los 7 hasta los 45 Watts de potencia.
- El combinador transmisor el cual pone en una sola salida las cuatro salidas que provienen de los PA's, por lo que para una estructura de 16 radios se requieren 4 combinadores.

La Figura 1.31 muestra la estructura de RF.

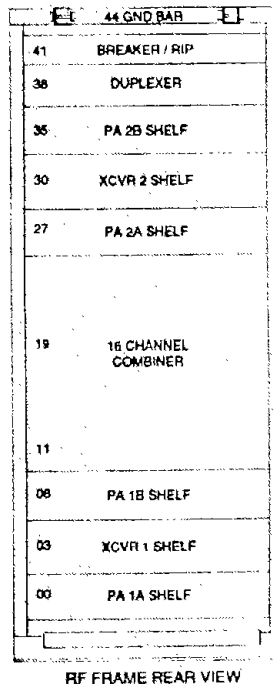


Fig. 1.31 Estructura de RF.

Unidades de radio en modo dual DRU's

La Evolución Digital

Partiendo del estándar celular utilizado en América del Norte llamado AMPS (Advanced Mobile Phone System.) con las siguientes limitaciones y problemas:

- Capacidad: Máximo 40 a 50 conversaciones por celda.
- Disponibilidad limitada del espectro de RF.
- La comunicación basada en módems es pobre.
- Privacidad mínima.
- El fraude celular es un problema en crecimiento.

Por lo que un esfuerzo para mejorar las deficiencias del AMPS la EIA/TIA propone un nuevo estándar celular el cual provee un enlace de señalización digital entre el móvil y la estación base.

Ya que el enlace digital de RF ofrece más ventajas sobre los enlaces analógicos como son:

- Mayor control y flexibilidad del móvil y la estación base.
- Incremento en la capacidad del sistema utilizando el mismo ancho de banda.
- Mayor inmunidad al ruido y la interferencia.
- Mayor seguridad en el proceso de comunicación ó enlace.

La elección tecnológica para la implementación de este estándar se conoce como Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA (Time División Múltiple Access).

El primer intento de este nuevo estándar fue asegurar el empleo de TDMA en la tecnología móvil coexistiendo con los usuarios de tecnología digital. El nuevo estándar compatible al sistema de la estación móvil y la estación base celular dual en modo móvil IS-54 alojan tanto a los móviles analógicos existentes con la nueva clase de móviles, ya

que los móviles en modo dual pueden coexistir en el mismo medio celular esto es, tanto móviles analógicos y móviles en modo dual utilizan un ancho de banda de 30KHz y ambos comparten el mismo espectro de frecuencias.

En sistemas TDMA el número de móviles que turnan transmitiendo o recibiendo ráfagas de datos ó voz sobre frecuencias comúnmente repartidas contrastan significativamente con el sistema AMPS en el cual cada móvil tiene una frecuencia de asignación la cual transmite ó recibe continuamente voz y datos.

Para la norma TDMA-3 IS-54 tres móviles pueden compartir una misma frecuencia así como TDMA-6 seis usuarios pueden compartir la misma frecuencia. Otra diferencia entre el protocolo celular AMPS y el TDMA IS-54 es que la tecnología de acceso utiliza la técnica de modulación de portadora, esto significa que el sistema AMPS utiliza una técnica de modulación analógica la cual es continua, en cambio TDMA utiliza una señal discreta para su modulación cuyo proceso modifica la información que va a ser transmitida a alta frecuencia con el propósito de transmitir la información vía radio, cable, ó fibra óptica. TDMA utiliza una representación digital de la señal banda base por lo que existe una variedad de posibilidades para modular la portadora de RF.

Los esquemas de modulación digital tienen otras ventajas sobre los esquemas analógicos los cuales son:

- * Las técnicas de codificación de canal las cuales se utilizan para reducir redundancias en mensajes, efectos de ruido e interferencia.
- * La codificación también se utiliza para establecer un canal de comunicación digital mas seguro, ya que reduce el fraude y da más privacidad al usuario.
- Los sistemas digitales pueden adaptar y manipular más fácilmente una gran variedad de señales ya que hoy en día se pueden brindar servicios tales como Facsímil, servicios de datos basados en módems, servicios de paquetes de datos

y "Paging". La Figura 1.32 representa la estructura NT800DR conjuntamente con la implementación del Hardware DRU.

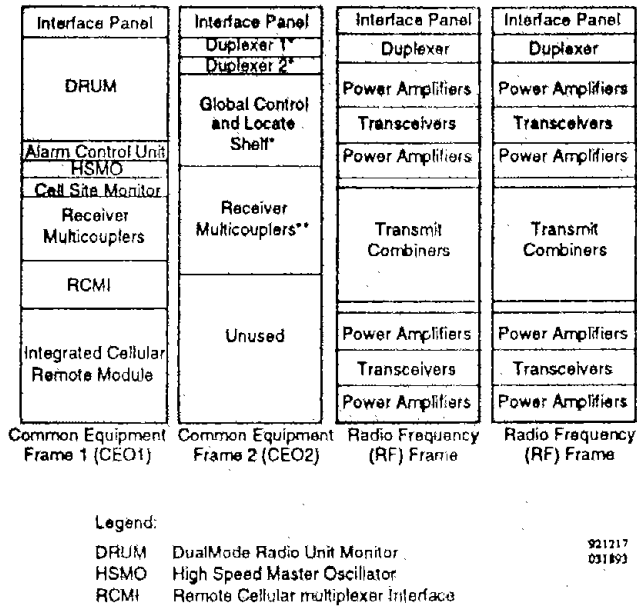


Fig. 1.32 Estructura NT800DR.

Cada compartimiento en la estructura de RF puede acomodar ocho unidades transreceptoras (TRU's) con sus respectivos PA's moduladores (MPA's) dando un total de 16 DRU's en cada estructura de RF como se muestra en la Figura 1.33.

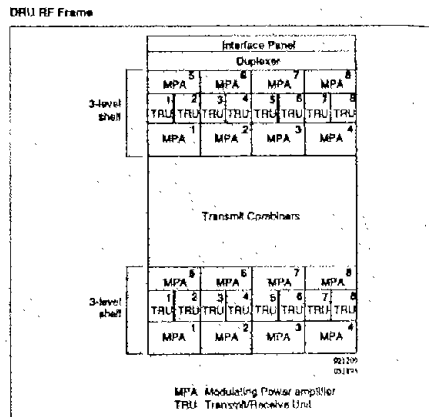


Fig. 1.33 Estructura de RF para el NT800DR.

Monitor de la unidad de radio en modo dual

El monitor de la unidad de radio en modo dual DRUM es una unidad monitora de prueba para la operación de los DRU's ya que se basa en el diseño de la unidad transmisora receptora TRU del DRU pero es capaz de transmitir y modular la señal de RF.

La función primordial del DRUM es la de proveer una prueba de lazo cerrado en los DRU's al igual que la operación, administración, y mantenimiento en el soporte de software. También el DRUM actúa perfectamente alineado con un DRU para fines de prueba sin requerir mensajes del DRU. El DRUM se conecta al ICRM sobre un compresor múltiple de tiempo TCM (Time Compresión Multiplex) y recibe comandos del ICP para operar desde el MTX por medio de la terminal de mantenimiento, administración y posición conocido como MAP (Maintenance and Administration Position) como se muestra en la Figura 1.34.

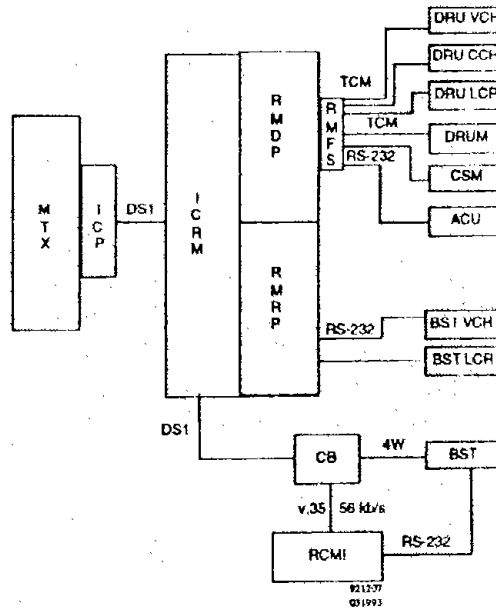


Fig. 1.34 Sistema monitor de radio en modo dual.

El procesador digital de señales DSP (Digital Signal Processing)

El DRU tiene una poderosa arquitectura basada en Microprocesador y DSP la cual usa métodos para el desempeño del radio analógico tradicional. Las ventajas del DSP para el proveedor de servicios ó técnico en mantenimiento son las siguientes:

No se requiere equipo de prueba externo para el DRU ya que la señal de voz es completamente digital, y si se trata de una señal analógica el DSP la puede emular para fines de prueba.

Otra ventaja es que el DRU trabaja correctamente cada vez que se presenta la potencia de operación, ya que no requiere de ajustes manuales por medio de un técnico, si no que estos se pueden hacer por medio de software.

El DRU puede operar en modo analógico AMPS, modo digital TDMA ó modo dual, también utiliza el mismo DSP interno basado en un circuito de proceso tanto para voz como para datos.

Como radio digital el DRU ofrece al operador celular mejoras en la capacidad de llamada basada en la tecnología TDMA ya que triplica la capacidad que tienen los radios analógicos dado el formato de multiplexaje TDMA, ya que puede transmitir a una razón de 16-Kb/s tres canales de voz utilizando únicamente una sola portadora de radio frecuencia.

También el DRU puede trabajar como canal de control CCH, canal de voz VCH y canal localizador receptor LCR. Los comandos de software provenientes del 'SWICHT' determinan o configuran la función que va a ejecutar el DRU.

1.8 TEORÍA DE DEL TRÁFICO TELEFÓNICO

Dado que las redes telefónicas están compuestas por una gran variedad de equipo común tales como receptores digitales, procesadores de llamadas, enlaces conmutados, oficinas tróncales y otros equipos destinados a brindar servicios de telecomunicaciones en constante crecimiento; el cual es determinado por los requerimientos de la red, asumiendo que no todos los usuarios requieren la utilización de estos equipos en un tiempo determinado, ya que el monto exacto del equipo requerido es impredecible dada la naturaleza aleatoria de la demanda del servicio en cuestión. Por tal motivo los diseñadores de redes consideran la implementación de equipo suficiente para satisfacer la demanda, sin embargo en periodos de tiempo donde el tráfico telefónico es muy bajo esta opción no resulta costeaable ya que muchos de estos equipos no se utilizan de manera eficaz, ya que consumen energía más sin embargo no son utilizados en su totalidad, por tal motivo un método para determinar la efectividad del costo para varios tamaños y Configuración de red es el análisis de tráfico telefónico.

El tráfico en una red de telecomunicaciones se refiere al agregado de todos los usuarios que requieren ó demandan servicios de red en un tiempo indeterminado, dado que estos requerimientos se realizan en forma aleatoria, por lo que no es posible determinar con exactitud la cantidad de equipo requerido en un tiempo determinado. El primer paso para el análisis de tráfico es la caracterización de las llegadas y los tiempos de servicio mediante una estructura probabilística cuya efectividad puede ser evaluada en términos de que tanto tráfico puede soportar la red en condiciones normales y que tan a menudo este volumen de tráfico puede exceder la capacidad del sistema.

Las técnicas del análisis de tráfico se dividen en dos categorías generales: pérdidas en el sistema y retraso del sistema. El apropiado análisis categórico para sistemas en particular, depende del tratamiento de la sobre carga de tráfico en el sistema, ya que en el caso de pérdidas en el sistema la sobrecarga de tráfico se rechaza sin comenzar el servicio al requerimiento del usuario. Y en sobrecarga de tráfico por el retraso del sistema se presentan tiempos de espera hasta que el sistema pueda tener disponibilidad ó esté libre para atender al usuario. Los circuitos

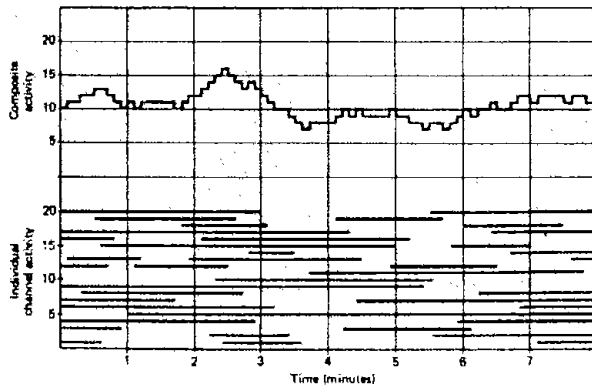
convencionales de conmutación operan como bloqueadores cuando se tienen pérdidas en el sistema al exceder la sobrecarga de tráfico. Sin embargo a veces operaciones de embalaje y conmutación pueden contener aspectos como la pérdida del sistema, ya que los circuitos de redes de conmutación incorporan ciertas operaciones de retardo aumentando el mal desempeño de los circuitos. La medida básica para evaluar el desempeño de las pérdidas en el sistema, es la probabilidad del rechazo, por otro lado el retardo en los sistemas se mide en términos de los tiempos de retardo en los servicios.

Caracterización del tráfico

Ya que el tráfico de redes es de naturaleza aleatoria, el análisis que se realiza involucra procesos de teoría de probabilidad y estadística, ya que este tipo de análisis hace referencia al congestionamiento y retardo en periodos de tiempos de espera. En circuitos de redes de conmutación el flujo de mensajes no concierne tanto a los tiempos de retención del equipo común, ya que los circuitos de conmutación establecen un concepto 'fin a fin' que envuelven varias facilidades a la red tales como el proceso de retención de llamadas, por otro lado el embalaje y conmutación de mensajes conciernen directamente al flujo de información desde que el sistema de tráfico en los enlaces de transmisión se relacionan directamente con la actividad de las fuentes.

La naturaleza impredecible del tráfico en sistemas de telecomunicaciones da como resultado dos procesos aleatorios: El arribo desde cualquier usuario en particular generalmente se asume como la ocurrencia ó evento independiente del arribo de otros usuarios, por lo tanto el arribo de llamadas para cualquier intervalo de tiempo en particular es indeterminado ya que en muchos casos los tiempos de retención están distribuidos en forma aleatoria. En algunos casos este elemento de naturaleza aleatoria puede ser removido asumiendo un reten constante de tiempos ya que cuando se presentan cargas de tráfico en la red fundamentalmente dependen de la frecuencia de los arribos y el promedio de los tiempos de retención en cada arribo. La gráfica 1.1 ejemplifica una representación de los tiempos de retención impredecibles para 20 fuentes conectadas a un grupo de tróncales donde la curva representa la actividad del número de circuitos utilizados para cualquier tiempo en particular, se hace notar que el

número máximo de circuitos en uso para cualquier periodo de tiempo es de 16. En términos generales las tróncales hacen referencia a servidores ó grupo de servidores.



Gráfica 1.1 Representación de los tiempos de retención impredecibles.

Medición de tráfico telefónico

Una medida de capacidad de la red es el volumen del tráfico acarreado sobre un periodo de tiempo, el volumen de tráfico es esencialmente la suma de todos los tiempos de retención acarreados durante el intervalo. De la Figura anterior la actividad del área bajo la curva representa el volumen de tráfico.

La medida que más se utiliza para el tráfico es la intensidad de tráfico telefónico ó también llamada flujo del tráfico la cual se obtiene al dividir el volumen del tráfico entre la longitud ó periodo de tiempo de duración. Por lo tanto la intensidad representa la actividad promedio durante un periodo de tiempo, la cual es adimensional por lo que usualmente se representa en unidades de Erlangs en honor al pionero de la teoría de tráfico telefónico A. K. Erlang. ó también en términos de cientos de llamadas por hora CCS y se pueden relacionar:

$$1 \text{ Erlang} = 36 \text{ CCs}$$

El número 36 hace referencia a que una hora tiene 3600 segundos.

La máxima capacidad de un canal de servicio es 1 Erlang por lo tanto la máxima capacidad en Erlangs de un grupo de servidores es igual al número de servidores, ya que el tráfico en un sistema con pérdidas, experimenta un bloque infinito de probabilidades, ya que cuando la intensidad del tráfico es igual al número de servidores, la actividad promedio es necesariamente menor al número de servidores. De manera similar el retardo de sistemas en operación es menor a la capacidad total en promedio, ya que los retardos infinitos ocurren cuando la carga promedio se aproxima al número de servidores.

Dos parámetros importantes utilizados en la caracterización del tráfico son la relación del tiempo de arribo λ y el tiempo de retención promedio t_m . Si la intensidad de tráfico se representa en Erlangs entonces

$$A = \lambda t_m$$

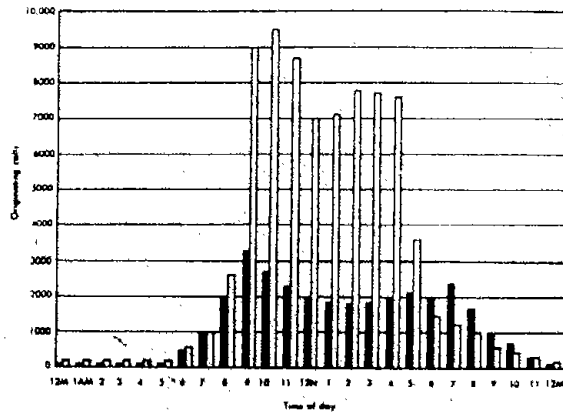
Donde λ y t_m se representan como unidades de tiempo (llamadas por segundo y segundos por llamada respectivamente).

Se puede notar que la intensidad de tráfico es únicamente una medida promedio de la utilización de un determinado tiempo y período y no refleja una relación cercana entre los arribos y los tiempos de retención. Esto significa, que muchas llamadas de corta duración producen la misma intensidad de tráfico que pocas llamadas de larga duración, ya que en la mayoría de los casos los resultados del análisis dependen de la intensidad de tráfico y sin embargo sólo en algunos casos los resultados sólo dependen de patrones individuales de arribo y distribución de tiempos de retención.

En redes de telefonía pública típicamente se analizan en términos de la actividad promedio en horas pico en cuyos tiempos las actividades empresariales y comerciales demandan al máximo los servicios de la red pública durante el día. La utilización de medidas en horas de alta concurrencia ó demanda para el diseño y análisis de redes telefónicas representa un compromiso entre el diseño enfocado a la utilización del sistema en su totalidad, incluyendo horarios de bajo tráfico como lo es el nocturno y el diseño para eventos de corta duración como son la utilización del radio y TV. para comercializar ó promover concursos y productos de consumo en horas pico.

Las medidas de tráfico en horas de alta concurrencia indican que teléfonos en zonas residenciales individuales típicamente utilizan entre el 5 y 10% el tiempo de ocupación, esto se debe a que cada teléfono representa una carga de tráfico entre 0.05 y 0.10 Erlangs.

Los teléfonos utilizados á nivel empresarial producen diferentes patrones de carga comparados con los que se utilizan á nivel residencial ó privado, ya que los teléfonos empleados para negocios ó transacciones comerciales, generalmente utilizan altos índices de horas de ocupación y tráfico como se muestra en la gráfica 1.2.



Gráfica 1.2 Representación del número de llamadas originadas en un día.

Las tróncales de la red telefónica a veces se diseñan para tomar ventaja sobre las variaciones de los patrones de llamadas provenientes de diferentes oficinas ya que la ingeniería de tráfico no sólo depende del volumen de tráfico en su totalidad sí no también de los tiempos de utilización de la demanda de servicios de la red telefónica.

Un conteo cuidadoso y certero se debe ejercer cuando se tiene una determinada carga de tráfico total del sistema desde una línea individual ó troncal ya que un alto porcentaje en la totalidad de la carga telefónica se representa por los intentos de llamada hasta su realización y terminación tomando en cuenta también las llamadas no concretadas.

Una importante distinción en materia de discusión de tráfico en redes de telecomunicaciones es la diferencia entre la oferta de tráfico y el transporte de tráfico. La oferta de tráfico se refiere al tráfico total que puede transportar la red capaz de satisfacer todos los requerimientos que de ella emana. Desde que el aspecto económico generalmente es el preludeo del diseño de la red hasta la capacidad de transporte que esta podría ofrecer, un pequeño porcentaje en la oferta de tráfico en la red típicamente experimenta retardos ó bloqueos. Cuando el bloqueo de llamadas es rechazado por la red el modo de operación se refiere a un claro bloqueo ó pérdida de llamadas, ya que en esencia se asume que los bloqueos desaparecen y jamás retornan y se ajusta más a grupos de troncales con rutas alternantes ya que en este caso el bloqueo normalmente se sirve de otro grupo de troncales.

El fundamento principal del análisis de tráfico, asume que el arribo de llamadas es independiente. Esto es significa que un arribo desde la fuente no se relaciona con los arribos ocurridos desde otra fuente sin embargo en otros casos donde las tendencias en el arribo de llamadas se correlacionan con los resultados obtenidos en el análisis aleatorio se pueden modificar mediante una formulación matemática que se ajuste a una solución aproximada del problema.

1.9 EQUIPOS DE MEDICIÓN

El equipo de medición empleado para las pruebas y rutinas de mantenimiento en sitios de telefonía celular es tan diverso y extenso, que no bastaría un texto completo para poder describir las características y el funcionamiento de estos equipos en su totalidad, dada la gran diversidad de aplicaciones y fabricantes dedicados a esta materia en el campo de las telecomunicaciones. Sin embargo para fines prácticos fundamentalmente haré una breve descripción de los equipos básicos empleados para la realización de pruebas en sitios celulares.

Equipos empleados para pruebas de RF

Equipo de prueba para comunicaciones de RF en sitios celulares.(RF Cell Site Test Set)

Este equipo es el de más importancia en el análisis de pruebas en sitios celulares ya que engloba una gran variedad de utilidades y herramientas para las pruebas del Hardware de RF, ya que realiza pruebas de transmisión y recepción en los dispositivos empleados ya sea para la transrecepción en modo análogo digital ó ambos. En lo que respecta a las pruebas de Transmisión este equipo realiza pruebas de medición de nivel potencia de la señal de RF, tomando en cuenta las desviaciones ocurridas por fenómenos que alteren el comportamiento de la señal. También se realizan pruebas de modulación y su respectiva limitadora, pruebas de nivel de audio en transmisión, medición de frecuencia y desviación del tono de supervisión de audio (SAT Supervisory Audio Tone), medición de modulación residual, medición de la frecuencia portadora, y la modulación del ancho de banda utilizado por los transreceptores. También se realizan pruebas de audio y datos en el caso de sistemas en modo digital, ya sea inyectando ó generando una señal externa a los radios para determinar y medir los parámetros de la señal de audio involucrados en la transmisión y por ultimo las pruebas de BER (Bit Error Rate Test) para modo digital.

En pruebas de recepción este equipo se emplea para hacer mediciones de sensibilidad en la recepción, detección del tono de señalización (ST Signal Tone), también mide la sensibilidad de la línea de audio en recepción, la curva indicadora de la intensidad de la señal recibida (RSSI Received Signal Strength Indicator) y detección del tono supervisor de audio en modo receptor.

También con este equipo se pueden monitorear señales en los canales de audio al igual que generadores de señal para propósitos de pruebas de señales inalámbricas.

Wáttmetro de Potencia de RF

Este equipo se utiliza para medir y ajustar manualmente los niveles de potencia a la salida de los amplificadores de RF, y es de uso práctico para hacer mediciones rápidas sin necesidad de emplear equipos más sofisticados para este propósito.

Analizador de redes (Network Analyzers)

Este equipo se emplea para el análisis y pruebas de sistemas de antenas y cavidades resonantes, generando señales de barrido para obtener la respuesta en frecuencia de estos dispositivos, así como también la obtención de la carta Smith para determinar los acoplamientos de impedancia en las antenas y guías de onda.

Analizador de espectro

Este equipo se utiliza para el análisis espectral de los transmisores de RF, el monitoreo y detección de señales espurias que puedan afectar el comportamiento óptimo del sitio celular.

TDR's, OTDR's y SONET Analyzers

Estos equipos se emplean para las pruebas en las líneas de transmisión y redes de fibra óptica en sitios celulares.

CAPITULO II

TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL EN SISTEMAS INALÁMBRICOS E INTERFACES AÉREAS DE ACCESO MÚLTIPLE.

2.1 MODULACIONES ANALÓGICA Y DIGITAL.

El objetivo de las telecomunicaciones es, precisamente, la comunicación a gran distancia a través de la atmósfera y por medios guiados. Para acoplar las señales a los medios de comunicación se requiere de la modulación de las señales en banda base. La modulación traslada en frecuencia la señal de banda base a una señal denominada portadora que es capaz de viajar de mejor forma por los medios de comunicación previamente mencionados. Actualmente se modulan tanto señales analógicas como digitales. La modulación analógica realiza la operación de variar ó modificar las características de la forma de onda analógica ó mensaje por medio de una señal de mucho mayor frecuencia llamada portadora. Las técnicas de modulación analógica más utilizadas son: La AM ó Amplitud Modulada y la FM ó Frecuencia Modulada.

El acto ó la acción de alterar la amplitud ó la frecuencia por medio de una onda portadora tiene una extensa utilidad en áreas de aplicación como son la difusión de radio y TV. comercial.

La modulación en amplitud AM trabaja mediante la imposición de una onda portadora $c(t)$, a la señal de información analógica $x(t)$ produciendo ó dando como resultado una señal modulada $s(t)$ la cual matemáticamente es el producto de $x(t)$ por $c(t)$.

$$S(t)=(1+x(t))\cos(2\pi ft)$$

Donde f es la frecuencia de la onda portadora y $c(t)=\cos(2\pi ft)$ es la onda portadora. La Figura 2.1 muestra la señal modulada en amplitud donde se observa que la señal de información analógica puede ser fácilmente decodificada por el receptor siempre y cuando la señal no exceda por mucho el valor unitario de la amplitud de la portadora ya que se pueden presentar fenómenos de distorsión del mensaje.

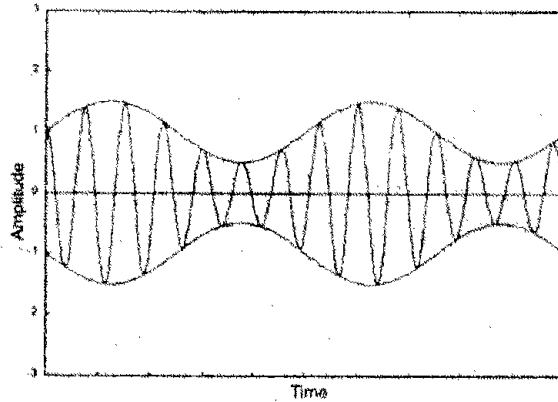


Fig. 2.1 Señal modulada en amplitud.

En el proceso de modulación en frecuencia la señal portadora es alterada en frecuencia por medio del mensaje esto hace que en FM se tenga más inmunidad ó resistencia al ruido comparado con AM ya que en la mayoría de los casos el ruido afecta mas a la amplitud que a la frecuencia. La modulación en FM se representa matemáticamente por medio de la sig. Expresión:

$$s(t)=A(\cos 2 \pi f t+ x(t)dt)$$

Donde A es la amplitud de la portadora $c(t)$, f es la frecuencia y $x(t)$ la señal de información analógica. A parte del radio y TV. convencional, la técnica de modulación en frecuencia también se utiliza en sistemas celulares de primera generación, como lo es el estándar AMPS. La Figura 2.2 representa la señal modulada en FM.

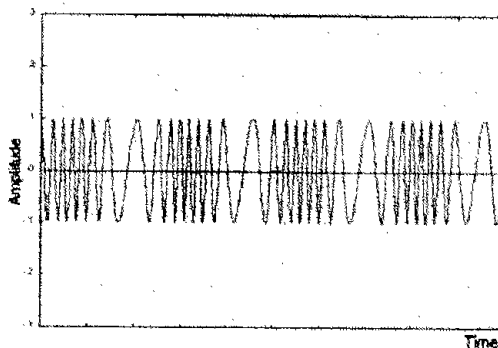


Fig. 2.2 Señal modulada en FM.

Las técnicas de modulación digital trabajan mediante la conversión de una cadena de bit's ó datos digitales mediante una apropiada forma de onda continua. Como en el caso de la modulación analógica, la modulación digital también altera las propiedades de la portadora, sin embargo estos cambios ocurren en intervalos de tiempo discreto definiendo el número de cambios por unidad de segundo que es lo que conocemos comúnmente como razón de cambio de una palabra ó byte (Baud rate).

Las modulaciones digitales básicas son en amplitud o ASK (Amplitude shift keying o modulación por cambio de amplitud); en frecuencia o FSK (Frequency shift keying o modulación por cambio o corrimiento en frecuencia) y en fase o PSK (Phase shift keying o modulación por cambio o corrimiento en fase). Actualmente sólo se emplean estas dos últimas y la combinación que modula por medio de cambios en amplitud y fase denominada en cuadratura o mQAM.

2.2 INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS.

El proceso de filtrado provoca que frecuentemente los símbolos se traslapen en los instantes de tiempo adyacentes, con lo cual se produce confusión en la interpretación de los símbolos y posibles errores a la salida del sistema. La interferencia entre símbolos es un problema importante en muchos sistemas de comunicaciones de datos, siendo particularmente difícil de resolver en la transmisión no guiada de datos. La tecnología ha estado utilizando cada vez velocidades de transmisión más altas por un canal dado, utilizando señales multinivel. De esto puede resultar una considerable mezcla de energía de los pulsos entre los espacios de tiempo adyacentes, lo que se conoce con el nombre de interferencia entre símbolos y que sucede cuando no se tiene el cuidado con la forma de los pulsos transmitidos. Es importante entonces profundizar algo más en los conceptos duales de la forma de los pulsos y el ancho de banda necesario para transmitirlos.

Para que estos comentarios sobre la forma de los pulsos, el ancho de banda y la velocidad de Nyquist, sean más precisos, es útil analizar el concepto de interferencia de símbolos. Seleccionando las formas de onda de las señales de manera que se minimice

o se elimine este fenómeno, se encontrará el ancho de banda necesario para la transmisión.

Considerando la secuencia de pulsos que se muestra en la Figura 2.3. Aunque éstos se muestran como pulsos binarios, también podrían ser pulsos de idéntica forma, pero de alturas arbitrarias (como PAM o PAM cuantizada). Estos pulsos se muestran presentándose a intervalos de T segundos, donde T es el intervalo de muestreo de PAM o de PAM cuantizada, o el intervalo binario en el caso de los símbolos codificados en binario. El filtrado del sistema provoca que los pulsos se ensanchen a medida que atraviesan dicho sistema y se traslapan en los espacios de tiempo adyacente, como se muestra. En el receptor el pulso original del mensaje puede obtenerse muestreando en el centro de los intervalos de tiempo que se señalan y tomando una decisión respecto a la amplitud de la señal en ese punto.

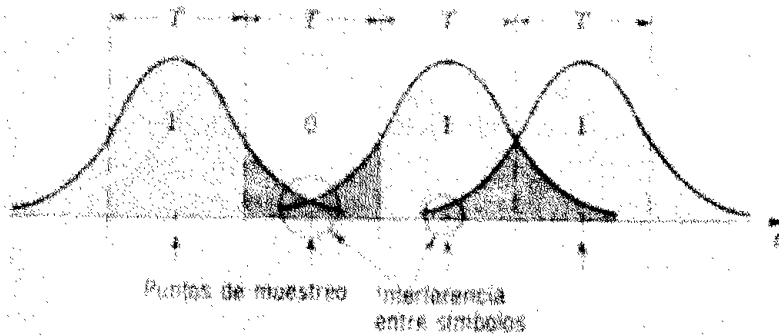


Fig. 2.3 Secuencia de pulsos binarios.

El traslape de la señal entre los espacios adyacentes de tiempo puede, si es muy fuerte, provocar una decisión errónea. Entonces, por ejemplo, en el caso de la Figura 2.3 el cero transmitido puede parecer un 1 si las colas de los pulsos adyacentes se suman y dan como resultado un valor muy alto. (En la práctica, pueden presentarse contribuciones debido a las colas de varios pulsos adyacentes, en lugar del par que se muestra en la Figura 2.3) Este fenómeno de traslape de pulsos y de la dificultad de la decisión respecto a la altura de los pulsos se llama interferencia intersimbólica.

Nótese que ésta interferencia puede minimizarse ensanchando adecuadamente el ancho de banda de la transmisión tanto como sea debido. De esto resulta un innecesario gasto de ancho de banda, sin embargo, si se exagera demasiado puede introducirse mucho ruido en el sistema. En lugar de ello, se buscará una manera de diseñar expresamente las formas de onda y por lo tanto los filtros de transmisión utilizados con el objeto de minimizar esta interferencia con el menor ancho de banda posible. Una forma de onda obvia de la señal que se tiene que usar es la que es máxima en el punto de muestreo deseado y que tiende a cero en todos los puntos de muestreo adyacentes, múltiplos de T segundos después. Esta forma de onda proporciona una interferencia entre símbolos nula. Con tal forma de onda, escogida en el receptor, es entonces posible diseñar el sistema completo, y regresar hasta el punto de muestreo original en el transmisor, para encontrar la forma de onda apropiada.

(Recordando que los pulsos muestreados originales son esencialmente impulsos si en el tiempo t , durante el cual la señal analógica es muestreada, es pequeño en comparación al intervalo de muestreo. El ensanchamiento de los pulsos y su forma de onda se deben entonces al filtrado del sistema, así como a los filtros puestos a propósito allí para alcanzarla forma de onda final deseada).

Una forma de onda de la señal que produce interferencia entre símbolos nula es justamente el pulso $(\text{sen } x)/x$ como la respuesta al impulso de un filtro ideal paso bajas. Específicamente, si el filtro tiene un espectro de amplitud plano hasta B hertz y cero en el resto de la frecuencia, la respuesta a impulso es justamente $(\text{sen } 2 \text{ } Bt)/2 \text{ } Bt$. Este pulso se muestra en forma esquemática en la Figura 2.4. Nótese que este pulso se hace cero en intervalos igualmente espaciados, múltiplos de $1/2B$ como el intervalo de muestreo T , es evidente que pulsos de la misma forma y de amplitud arbitraria que estén espaciados $T=1/2B$ segundos no interfieren entre sí.

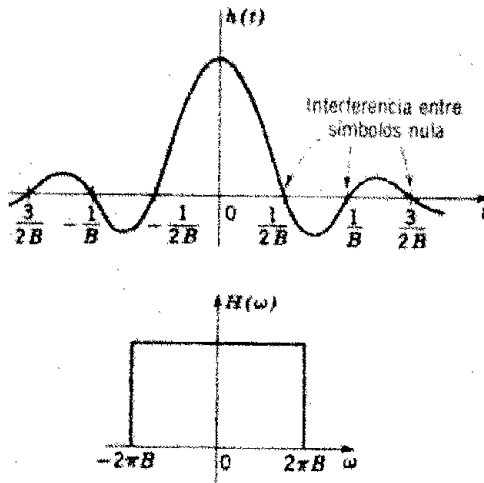


Fig. 2.4 Filtro ideal paso bajas.

Esto se muestra en la Figura 2.5 por un sistema con un ancho de banda B hertz justamente de la velocidad de Nyquist, como ya se había mencionado. Existen, sin embargo, algunas dificultades de orden práctico con esta forma de onda particular:

1. Implica que la característica entre el muestreo del transmisor y el punto de decisión del receptor es la de un filtro ideal pasabajas. Como se ha hecho notar éste es físicamente irrealizable y muy difícil de aproximar en la práctica debido a su característica de corte abrupto y su espectro de amplitud a B hertz.
2. Este pulso en particular, si es obtenido, requeriría una sincronización extremadamente precisa. Si el tiempo del receptor varía algo respecto a la sincronía exacta, la condición de interferencia entre símbolos nula desaparece. De hecho, las colas de todos los pulsos adyacentes pueden agregarse en forma de series divergentes, lo que provocaría posibles errores. Debido a que algún tipo de variación estaría inevitablemente presente incluso con el más complicado sistema de sincronización, esta forma de pulso no es obviamente la que se usa.

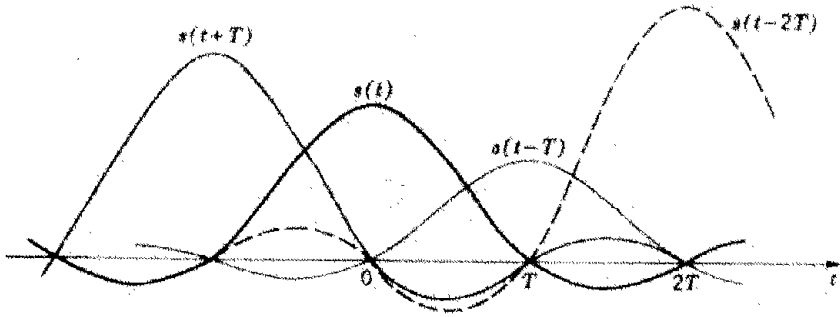


Fig. 2.5 Sistema operando a la velocidad de Nyquist.

Es posible, sin embargo, obtener a partir de esta forma de onda otras relacionadas que también tengan interferencia entre símbolos nula y que eviten las dificultades mencionadas. Estas son mucho más fáciles de obtener en la práctica y los efectos de variación en el tiempo pueden minimizarse sin Interferencia intersimbólica.

2.3 MODULACIÓN PSK QPSK MSK QAM.

Modulación PSK ó manipulación por corrimiento de fase.

La señal de salida PSK de una cadena binaria x trabaja de la siguiente manera. Asumiendo una portadora de frecuencia f , la transmisión de un 0 binario se representa por la presencia de la portadora para un intervalo de tiempo específico, y para la transmisión de un 1 binario este se representa por la presencia de la señal portadora con una diferencia de fase de π radianes para el mismo intervalo. Así para una portadora cosenoidal de amplitud A y frecuencia f se tiene:

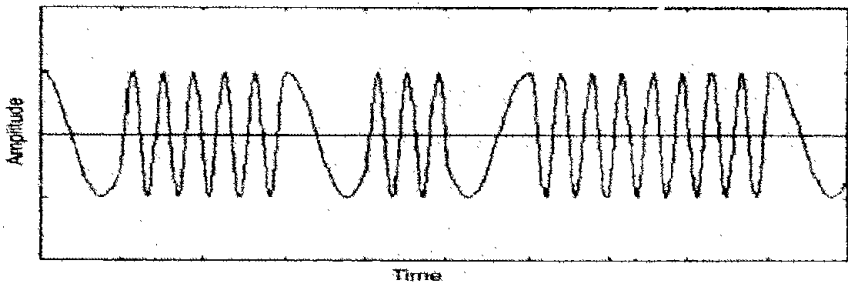


Fig. 2.6 a. Modulación PSK.

Puesto que se trata de una sola diferencia de fase, esta técnica también se conoce como nivel dos ó PSK binaria (BPSK). La Figura 2.6 muestra el resultado de aplicar esta técnica a una cadena binaria de bits.

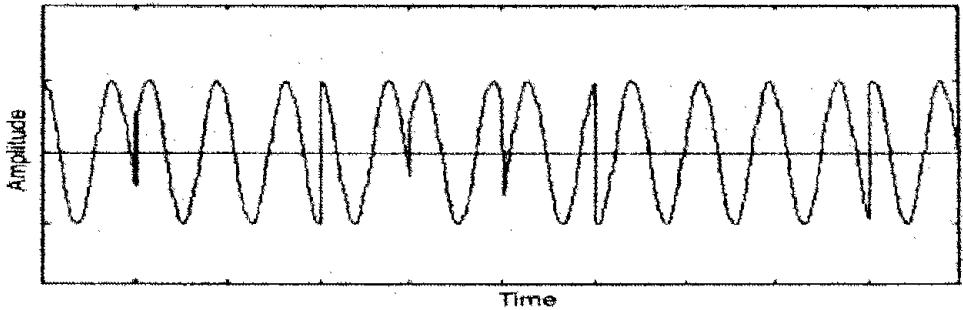


Fig. 2.6 b. Modulación BPSK.

En BPSK la codificación de cada fase representa un bit. La desviación de frecuencia se define por el número de 'offsets' presentes, por lo que PSK puede transmitir más información con un solo corrimiento en frecuencia como puede ser una señal PSK de cuatro niveles ó QPSK la cual utiliza cuatro fases diferentes separadas por $\pi/2$ radianes.

$$s(t) = \begin{cases} \text{Acos}\left(2\pi ft + \frac{\pi}{4}\right), & \text{for binary 10} \\ \text{Acos}\left(2\pi ft + \frac{3\pi}{4}\right), & \text{for binary 11} \\ \text{Acos}\left(2\pi ft + \frac{5\pi}{4}\right), & \text{for binary 01} \\ \text{Acos}\left(2\pi ft + \frac{7\pi}{4}\right), & \text{for binary 00} \end{cases}$$

QPSK así puede transmitir dos bits por corrimiento en frecuencia. En este caso, la razón de cambio en los bits se puede lograr por la señal QPSK ya que afecta la razón de cambio en los bauds desde que cada estado de la portadora se codifica en dos bits. Es obvio que las ventajas de QPSK y otros esquemas de modulación multinivel hacen más apropiado la selección de una gran variedad de entornos celulares.

Modulación en cuadratura QAM.

En este tipo de modulación se altera tanto la amplitud y la fase de la señal portadora. Como por ejemplo en QPSK y asumiendo la capacidad de codificar cuatro diferentes fases con dos diferentes valores de amplitud, con lo que podemos obtener ocho diferentes combinaciones las cuales efectivamente pueden codificar tres bits por muestra. Para varios esquemas QAM este grupo de combinaciones se conocen como patrón de constelación. El patrón de constelación para el sistema mencionado se muestra en la Figura 2.7. Si se emplea un número extenso de cambios en amplitud y fase la razón de cambio del 'Baud/rate' se incrementa haciendo más eficiente el espectro obtenido al aplicar esta técnica de modulación, dado que un esquema QAM de alto nivel puede ser 16-QAM y 64-QAM los cuales utilizan 16 y 64 diferentes combinaciones en el número de cambios de amplitud y fase respectivamente. Sin embargo la utilización de esta técnica es más susceptible al ruido ya que al utilizar un extenso número de combinaciones provoca que estas se aproximen mas una con respecto a otra provocando que el ruido cambie ó afecte la señal más fácilmente

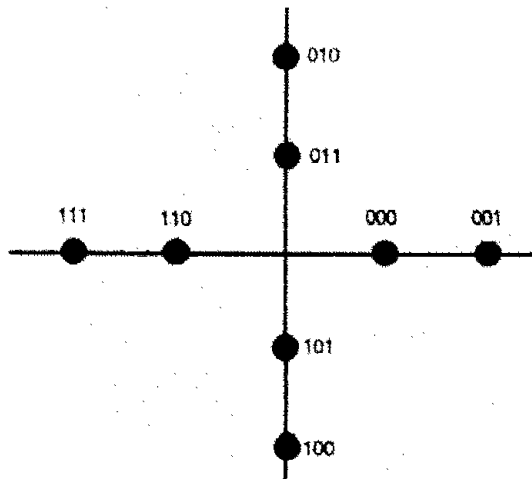


Fig. 2.7 Patrón de constelaciones QAM.

2.4 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE EN SISTEMAS CELULARES FDMA (AMPS), TDMA (GSM, IS-136) CDMA (IS-95).

En este esquema, el más comúnmente utilizado en el sistema del satélite INTELSAT, pero también se utilizan en sistemas de telefonía celular. La característica principal de la utilización de esta técnica es la de mantener dos conexiones fijas entre pares de estaciones terrestres de varios países. Estas conexiones constan de un grupo de espacios de frecuencia dedicados de 4kHz, o canales de voz. El número de tales canales de voz asignados a cada par de estaciones terrestres en particular depende de las necesidades del tráfico de cada par. La técnica FDMA la podemos describir en base a un ejemplo, que se muestra en la Figura 2.8. En este ejemplo un país o zona en especial cuando se trata de sistemas celulares, A, tiene asignados sesenta canales de 4 KHz., divididos en partes iguales entre otros cinco países o zonas, de B a F. Los doce canales asignados a cada país o zona están multicanalizados en frecuencia para formar la señal de banda base de 252 KHz. compuesta de 60 canales que se muestran en la Figura 2.8. Esta señal de banda base modula en frecuencia una portadora con una frecuencia asignada 6.235 Ghz para producir una señal de FM de 5 Mhz de ancho de banda. En este ejemplo, se supone que otros seis países o zonas, tienen acceso al mismo transponder en el caso de sistemas satelitales y transceivers en el caso de sitios celulares. El espectro compuesto de FDMA de las siete señales que tienen acceso tiene la forma que se muestra en la Figura 2.8, donde la señal de FM del país o zona A se indica entre las siete. Cada uno de los restantes seis países con acceso a este transponder se supone que tiene la distribución de canales y de banda que se muestra en la Figura 2.8.

En este caso típico uno de los países que tienen asignados 132 canales, con un ancho de banda de FM de 10 Mhz; un segundo país tiene una asignación de 96 canales con un ancho de banda de 7.5 Mhz; un tercero tiene, al igual que el país A, una asignación de 60 canales; otros tienen 24 canales asignados con un ancho de banda de 2.5 Mhz cada uno, como es el caso de los sistemas celulares.

Las distribuciones de anchos de banda del sistema INTELSAT se hacen variar normalmente en incrementos de 2.5 Mhz, como se indica en el ejemplo. Para poder acomodar las más diversas variedades de tráfico posibles, el sistema INTELSAT está

estandarizado en un número específico de canales de 4kHz por portadora que tenga acceso, con el ancho de banda especificado para cada una. El ejemplo de la Figura 2.8 indica algunas de estas asignaciones: 24 canales con un ancho de banda de 2.5 Mhz, 60 canales con un ancho de banda de 5MHz, 96 canales con un ancho de banda de 7.5MHz y 132 canales con un ancho de banda de 10 Mhz. Nótese que el sistema se hace menos deficiente a medida que se reduce el número de canales asignados por portadora. Por ello los grupos con menor número de canales asignados requieren proporcionalmente más ancho de banda que los demás, reduciéndose el número de canales totales por transponder con la disminución del número de canales asignados. El ejemplo de la Figura 2.8 muestra 420 canales que tienen acceso al transponder. Si el ancho de banda de 36MHz del transponder estuviera asignado completamente a las portadoras de 24 canales, con un ancho de banda de 2.5MHz para cada una, podrían acomodarse 336 canales de 14 accesos. En el otro extremo, el transponder completo podría cubrirse por medio de una portadora de 900 canales multicanalizados. El número de canales acomodados por transponder varía entre el límite inferior de 336 hasta uno superior de 900, dependiendo del tráfico usado y las necesidades prácticas.

Para completar la transmisión, las señales de enlace hacia el satélite a 6 GHz se transmiten a frecuencias específicas del intervalo correspondiente al enlace hacia tierra de 4GHz. Las estaciones receptoras seleccionan las bandas de frecuencia que contienen los canales dirigidos a sus subscriptores, utilizan receptores de FM para demodular la banda base multicanal apropiada y posteriormente demulticanalizan los canales individuales de 4 KHz.

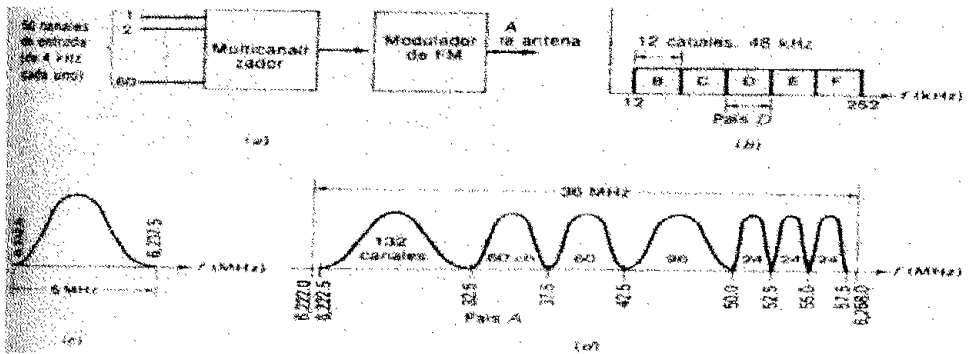


Fig. 2.8 Estructura FDMA.

TDMA (Time Division Multiple Access)

La evolución de la técnica de acceso **TDMA** tiene sus comienzos en el estándar para servicios celulares digitales desde 1988, cuando la CTIA (Cellular Telecommunications Industry Association) hizo la petición para manufacturas de servicios celulares con el objetivo de establecer una ayuda a la uniformidad del estándar celular digital donde encontró su máxima capacidad en servicio y demanda en la década de los 90's.

Dos campos principales emergieron de la industria al mismo tiempo. Un grupo se avocó a la tecnología FDMA, el cual agregó la capacidad de subdividir el espectro de radio dentro de canales de banda angosta.

El otro grupo el cual fue parte de la firma Northern Telecom. Propuso a la CTIA el soporte de la tecnología TDMA la cual incrementó su capacidad al permitir que los suscriptores o abonados compartieran el mismo ancho de banda del canal en uso.

La CTIA optó por seleccionar la tecnología TDMA ya que ofrecía un mayor potencial en lo que respecta a un alto desempeño y capacidad con respecto a FDMA.

Además de que FDMA requiere de un transreceptor por cada canal lo que incrementa el costo en las estaciones base y consumo de energía.

Inicialmente, TDMA provee un triple incremento en capacidad sobre los sistemas celulares analógicos ya que en 1994 cuando Northern Telecom. Tenía la expectativa de introducir la tecnología TDMA-G la capacidad de estos sistemas dio un salto al incrementar la capacidad por lo menos seis veces a los sistemas analógicos existentes.

En Junio de 1989, después de consumir el éxito de la serie TDMA para sistemas celulares, la CTIA endosa a TDMA como una alternativa de tecnología en operaciones de telefonía celular digital. Posteriormente el comité TR45 aceleró los esfuerzos por estandarizar la nueva tecnología TDMA como una interfase aérea común creando el subcomité TR45.3.

En mayo de 1990, la asociación de la industria en telecomunicaciones realizó la primera emisión del estándar IS-54 el cual cubre la interfase entre el modo dual de estaciones móviles y estaciones base.

En Noviembre de 1991 Northern Telecom. Demostró, de conformidad con este estándar, el éxito de las pruebas en modo dual de unidades de radio ya que esta es la única estación de radio base celular capaz de operar tanto en modo analógico como en modo digital.

AMPS vs. TDMA

El estándar celular utilizado en América del norte es el AMPS ó Advanced Mobile Phone System. AMPS tiene varias deficiencias:

- Capacidad: máximo de 40 a 50 conversaciones por celda
- Disponibilidad limitada del espectro de RF
- Muchos sistemas alcanzan su límite en capacidad y su crecimiento no es la solución.
- La comunicación de datos es pobre.
- Privacidad mínima.
- El fraude celular es un problema en crecimiento.

En un esfuerzo por vencer las deficiencias del sistema AMPS, la EIA/TIA propuso un nuevo estándar celular el cual provee una señalización digital el cual realiza el enlace entre las estaciones móviles y las bases. El enlace digital de RF ofrece más ventajas sobre los enlaces analógicos de FM incluyendo un mayor control y flexibilidad del móvil y las estaciones base, incrementando la capacidad del sistema al utilizar el mismo ancho de banda, aumentando la inmunidad al ruido, la interferencia y seguridad en la comunicación del enlace.

La elección de la alternativa más adecuada a estos requerimientos fue la tecnología TDMA. Lo primero que se hizo al implementar esta tecnología fue la de asegurar que los móviles que emplean TDMA pudieran coexistir con los usuarios de

móviles analógicos. El nuevo estándar IS-54 (Cellular System Dual-Mode Mobile Station-Base Station Compatibility Standard) aloja la existencia de móviles analógicos y la nueva clase de móviles de modo dual, coexistiendo con el mismo ambiente celular. Esto es que tanto móviles puramente analógicos y móviles en modo dual utilizan un ancho de banda de 30 Khz. y ambos comparten el mismo espectro de RF.

En un sistema TDMA, varios móviles vuelven a transmitir y recibir una ráfaga de datos compartiendo una frecuencia común entre ellos. Esto contrasta significativamente con el sistema AMPS en el cual cada móvil tiene asignada una sola frecuencia.

Otra diferencia entre el protocolo celular AMPS y la tecnología IS-54 TDMA es el tipo de empleo de la técnica de modulación de la portadora. Esto significa que el sistema AMPS utiliza una señal analógica continua para modular la señal portadora de RF, y en el caso de TDMA utiliza una señal discreta (digital) para su modulación. La señal continua utilizada para modular en un sistema AMPS depende de los cambios de frecuencia característicos en banda base para señales de voz y datos ya que se modula en frecuencia (FM).

En contraste TDMA utiliza una representación discreta de la señal en banda base. Por lo tanto, existe un grupo de posibilidades discretas de las cuales la portadora de RF puede ser modulada. Este número de representaciones de señales discretas definidas por el estándar IS-54 tiene cuatro posibilidades. El nombre específico de este esquema de modulación es DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) ya que en lugar de variar la frecuencia de la señal de RF en FM, DQPSK varía la fase de la portadora de RF de una a cuatro posibilidades discretas.

Los esquemas de modulación digital ciertamente tienen otras ventajas inherentes sobre los sistemas analógicos las cuales son:

- Las técnicas de codificación de la fuente y el canal se pueden utilizar para reducir redundancias innecesarias en mensajes afectados por interferencia y ruido. El resultado es que tres usuarios pueden ocupar el mismo ancho de banda de RF con mayor calidad en la voz afectada por un ambiente ruidoso.

- La codificación también se puede utilizar para hacer el canal de comunicación digital más seguro, lo que da como resultado mayor privacidad para el usuario reduciendo el fraude celular.
- Los sistemas digitales pueden ser más fácilmente adaptados y manipulados a una gran variedad de señales lo que se refleja en la creación de nuevos servicios como son el 'Facsimile', Modems para servicios de base de datos, y servicios de 'Paging', y servicios de empaquetamiento de datos.

TDMA empleado en la transmisión de datos.

La señalización de la información transmitida entre los móviles y las estaciones base de un sistema TDMA está organizada dentro de una estructura de cuadro ó FRAME STRUCTURE.

Esta estructura para IS-54 para la transmisión base a móvil y móvil a base se muestra en la Figura 2.9. Esta estructura de TDMA se divide en seis unidades o espacios de información. Cada ranura o espacio (Slot) contiene bits de información en torno a un canal de voz en particular.

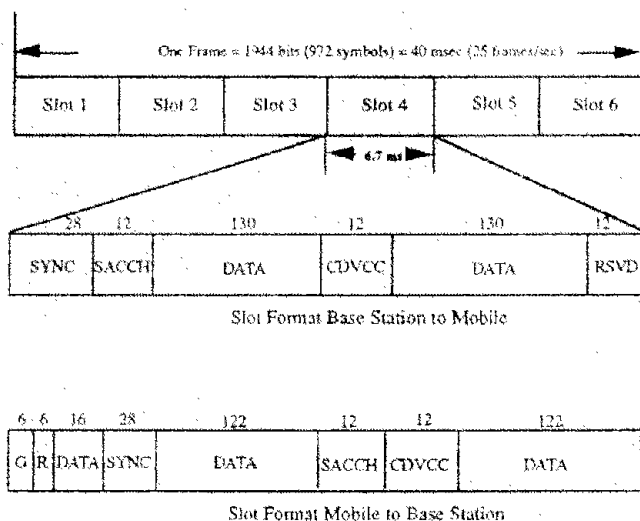


Fig. 2.9 Estructura TDMA.

La longitud de la estructura ó intervalo de cada canal digital de RF es de 40 milisegundos. Cada una de las seis ranuras de tiempo es idéntica en longitud, lo que equivale exactamente a 162 símbolos o 324 bits de información. Cada símbolo tiene dos bits de información. Y cada ranura está compuesta por un número de sub-campos de datos. Cada sub-campo de datos tiene un propósito único en definir la totalidad del mensaje.

Definición de los campos de datos.

SYNC-Palabra SYNC/ Identificador de ranura de Tiempo.

La sincronización de palabra / Identificador de ranura de Tiempo es un campo de 14 símbolos los cuales se utilizan para la sincronización, equalización, é identificador de ranura de tiempo. Cada uno de los seis espacios de tiempo tiene su propia secuencia de sincronización.

SACCH-Slow Associated Control Channel.

El **SACCH** es un canal de señalización en paralelo con respecto a la senda de voz, el cual se utiliza para la transmisión del control y supervisión de mensajes entre la estación base y la estación móvil. El SACCH se presenta en todas las ranuras transmitidas sobre los canales en lo referente a datos y voz. Doce bits en cada transmisión se dedican al SACCH, los cuales se protegen con medio código convolucional. El SACCH del canal de control primordialmente se usa para mandar mensajes de la calidad del canal a las estaciones base que se utilizan para la asistencia de 'Hand offs' o intercambio de mensajes entre las estaciones base.

DATA- Datos de voz o Mensajes FAC.

Los campos de datos son voces que han sido digitalizadas y codificadas utilizando el algoritmo VSLEP (Vector Sum Excited Linear Predictive Coding) como se especifica en el estándar IS-54. Durante ciertas situaciones de mensajería, el campo de datos de voz se puede reemplazar por información del FACCH.

CDVCC-Coded Digital Verification Color Code.

El CDVCC es una palabra de 8 bits la cual permite 255 valores distintos. El DVCC es el análogo a las frecuencias del SAT en un sistema AMPS y se usa para distinguir el canal de tráfico corriente desde otros canales adyacentes. El CDVCC tiene un campo de 12 bits de longitud. Cuatro bits extras se codifican a lo largo de 8 bits del DVCC para propósitos de detección de errores. El DVCC se puede utilizar para la comunicación de todas las bases con el móvil en la misma celda o sector.

FACCH- Fast Associated Control Channel.

El FACCH es un canal señalizador de blancos y ráfaga que hurta datos de bits de voz y reemplaza la señalización de la información. Ya que el FACCH hurta bits de datos de voz durante la transmisión este tiene un impacto menor en la calidad de la voz. El FACCH del canal de control primordialmente se utiliza para mensajes de 'Hand-offs', sin embargo para mensajes IS-54 los cuales requieren respuesta inmediata se envían por medio del FACCH.

G & R Guard & Power Ramp Up Interval.

Cada uno de estos campos tiene tres símbolos en duración y únicamente son requeridos del móvil a la dirección base. Estos campos de datos se utilizan como ayuda para prevenir la colisión entre las ranuras de tiempo.

CDMA

Los orígenes del espectro disperso se encuentran en el campo militar y sistemas de navegación. En 1949 John Pierce redactó un memorando técnico donde hace descripción de un sistema multiplexado en el cual un medio común transporta señales codificadas no necesariamente sincronizadas. Este sistema se puede clasificar como tiempo de espera de un espectro disperso de un sistema de acceso múltiple. Claude Shannon y Robert Pierce introdujeron en 1949 las bases de CDMA describiendo los efectos de interferencia en promedio y la degradación de CDMA. En 1950, De Rosa-Rogoff sugirió una secuencia directa para un sistema de espectro disperso e introdujo la ecuación para procesar la ganancia y la idea de multiplexar de ruido. En 1956, Price y

Green registraron la patente 'RAKE' antimultitrayectoria. Ya que las señales que arriban sobre diferentes trayectorias de propagación se pueden analizar mediante una señal de espectro disperso de banda ancha combinándolo con un receptor 'RAKE'.

Las aplicaciones de espectro disperso en comunicaciones celulares fueron propuestas por Cooper y Nettleton en 1978. Durante la década de los 80's Qualcomm realizó investigaciones sobre técnicas DS-CDMA, las cuales finalmente lograron su comercialización en aplicaciones celulares de espectro disperso de banda angosta en 1993 bajo el estándar IS-95. La operación comercial del sistema IS-95 comenzó en 1996, La detección multiusuario (MUD) ha sido sujeto de una extensa investigación, desde 1986 cuando Verdu formuló una optima detección multiusuario para el canal de ruido blanco aditivo Gaussiano (AWGN), con un estimador secuencial de máxima probabilidad (MLSE).

Durante los 90's, las técnicas CDMA de banda ancha con un ancho de banda de 5MHz ó más han sido estudiadas intensivamente en todo el mundo. La era CDMA se divide en tres periodos, la era pionera de CDMA, la era CDMA de banda angosta y por último la era CDMA de banda ancha, como se muestra en la tabla 2.1.

CDMA Era

Pioneer Era	
1949	John Pierce: time hopping spread spectrum
1949	Claude Shannon and Robert Pierce: basic ideas of CDMA
1956	De Rosa-Rogoff: direct sequence spread spectrum
1956	Pierce and Green: antimultipath "RAKE" patent
1961	Magnuski: near-far problem
1970s	Several developments for military field and navigation systems
Narrowband CDMA Era	
1978	Cooper and Nettleton: cellular application of spread spectrum
1980s	Investigation of narrowband CDMA techniques for cellular applications
1986	Formulation of optimum multiuser detection by Verdu
1993	IS-95 standard
Wideband CDMA Era	
1995	Europe : FRAMES (MAZ) Japan : Corz-A USA : cdma2000 Korea : TTA I, TTA II
	WCDMA
2000	Commercialization of wideband CDMA systems

Tabla 2.1 Cronología del desarrollo de la Tecnología CDMA.

GSM

La tabla 2.2 describe la cronología del desarrollo del sistema GSM.

GSM Development Time Schedule

1982	Group Special Mobile established within CEPT
1984	Several proposals for GSM multiple access: wideband TDMA, narrowband TDMA, DS-SSMA, hybrid CDMA/FDMA, narrowband FDMA
1986	Eight prototype systems tested in CNET laboratories in France Permanent nucleus is set up
1987	Basic transmission principles selected: 8-slot TDMA, 200 kHz carrier spacing, frequency hopping
1987	MOT signed
1988	GSM becomes an ETSI technical committee
1990	GSM phase 1 specifications frozen (drafted 1987-1990) GSM1800 standardization begins
1991	GSM1800 specifications are frozen
1992	GSM900 commercial operation starts
1992	GSM phase 2+ development starts
1995	GSM submitted as a PCS technology candidate to the United States
1995	PCS1900 standard adopted in the United States
1996	Enhanced full rate (EFR) speech codec standard ready
1996	14.4 Kbps standard ready
	GSM1900 commercial operation starts
1997	IS-63 standard ready
	GSM cordless system (home base station) standardization started
	EDGE standardization started
1998	GPRS standard ready
	WCDMA selected as the third generation air interface

Tabla 2.2 Cronología del desarrollo del sistema GSM.

El primer paso hacia GSM ó sistema global para telecomunicaciones móviles, fue la asignación de una banda de frecuencia común en 1978, dos de 25 Mhz en torno a una banda de 900 Mhz para comunicaciones móviles en Europa. El desarrollo actual del estándar GSM empezó en 1982 donde la CEPT estableció un grupo especial móvil para el futuro desarrollo de una red celular móvil Pan-Europea. En 1984, se establecieron tres grupos de trabajo (WP working parties) la WP1 para definir o establecer servicios, la WP2 para la radio interfase, y la WP3 para la transmisión, señalización de protocolos, interfases, y arquitectura de la red celular. En 1986, el llamado núcleo permanente (PN Permanent Nucleus), el cual consiste de un equipo de miembros de tiempo completo, los cuales tienen el objetivo establecer una coordinación continua para el trabajo de especificar la normatividad GSM.

En los comienzos del desarrollo de la interfase aérea GSM, diversos esquemas de acceso múltiple fueron propuestos. La principal alternativa fue un solo canal por portadora FDMA, TDMA de banda angosta, TDMA de banda ancha, y lentas frecuencias de espera (SFH) CDMA. Pruebas comparativas de ocho prototipos fueron

realizadas por los laboratorios de la CNET en Francia durante 1986. En 1987, basados en la comparación de los resultados obtenidos se determinaron los siguientes principios básicos para la adopción de la radio interfase GSM:

- 8 canales por portadora
- Ancho de banda de la portadora de 200-Khz.
- Bajas frecuencias en la trayectoria de reflexión.

Diez años después en 1997, se repitió el proceso mediante una evaluación similar en la UMTS dando como resultado lo expresado en 1985 lo cual no superó las expectativas por lo que se optó por WCDMA para las interfaces aéreas. Los puntos más importantes de GSM para sistemas de radio acceso son:

- Codificación adaptable múltiple
- Servicio de datos de 14.4 Kbps
- Circuitos de alta velocidad para conmutación de datos.
- Servicios generales de radio empaquetamiento.
- Aumento de la velocidad de datos utilizando una modulación óptima.
- Sistemas inalámbricos GSM.

La evolución GSM hacia altos 'Bit Rates' es el futuro incremento en la velocidad de transmisión de los datos para GSM el cual se basa en sistemas de tercera generación bajo la norma IS-136, al mismo tiempo se están investigando métodos de detección para hacer más eficiente el espectro.

US-TDMA (IS-54/IS-136)

En Septiembre de 1988, la CTIA (Cellular Telecom Industry Association) publicó los requerimientos para la próxima generación de tecnología celular en los Estados Unidos. El primer estándar que se adoptó fue el llamado US-TDMA. En Enero de 1989, la TIA/CTIA seleccionó TDMA por sobre la tecnología FDMA. En 1995, una versión de banda ascendente de US-TDMA fue adoptada para la banda de frecuencia US PCS. El estándar US-TDMA con un canal de control analógico condicionado por IS-54, y la US-TDMA con un canal de control digital condicionado por IS-136, el cual en la actualidad

es el de uso común cuando hacemos referencia a US-TDMA. La TIA y el comité técnico TR45.3 son los responsables de la estandarización IS-136 donde en la actualidad predomina en Norte y Sur América y algunos lugares de Asia.

El IS-136 es el estándar en modo dual, para especificar tanto el modo analógico (AMPS) y el digital (US-TDMA), y dada su compatibilidad el espaciamiento de la portadora es de 30kHz.

El UWCC (Universal Wireless Communications Consortium) estableció en 1996 como soporte el estándar IS-136. En 1997. en un foro conjunto entre UWCC, y el sistema global TDMA, establecieron el programa IS-136+ con aspiraciones enfocadas a implementar altos 'Bit rates' en un canal de 30 Khz. El grupo de estandarización TIA TR45.3 adoptó IS-136 en 1998. El IS-136+ tiene dos esquemas de modulación: Coherente $\pi/4$ -QPSK y 8 PSK. El canal de control utiliza la modulación $\pi/4$ -DQPSK. Los niveles de 'Bit RATE' utilizados para la transmisión de información para la modulación $\pi/4$ -QPSK es de 9.6 Kbps para modo simple y 19.2 Kbps para doble 'rate', y 28.8 Kbps para triple 'rate' y para la modulación 8PSK coherente se tienen 14.4 Kbps para modo único, 28.8 para doble 'rate'. Y 43.2Kbps para triple 'rate'.

IS-95

Durante la década de los 80's, Qualcomm lanzó un desarrollo casero en validación con el concepto de interfase aérea CDMA de secuencia directa. En Noviembre de 1989, la primer prueba de campo IS-95 CDMA de banda angosta se realizó utilizando dos sitios celulares y una estación móvil en San Diego Cal. En Septiembre de 1990, Qualcomm especificó su primera versión de CDMA 'Interfase aérea común'. El 5 de Diciembre de 1991, la CTIA's presentó los resultados de las pruebas de campo de la próxima generación Celular, por lo que la CTIA comenzó los preparativos de la estandarización CDMA. Posteriormente en Marzo de 1992 se creó un nuevo subcomité, TR45.5 el cual formó y completó el desarrollo de IS-95 en 1993 y su revisión en 1995 (IS-95 A) y una versión estandarizada de IS-95 para PCS de 1.9GHz.

Second Generation Digital Systems

	GSM	IS-136	IS-95	PTC
Multiple access	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
Modulation	GMSK ^a	$\pi/4$ -DQPSK ^b Coherent $\pi/4$ -DQPSK Coherent 8-PSK	QPSK/ O-QPSK ^c	$\pi/4$ -DQPSK
Carrier spacing	200 kHz	30 kHz	1.25 MHz	25 kHz
Carrier bit rate	270.833 Kbps	48.6 Kbps ($\pi/4$ -PSK and $\pi/4$ -DQPSK) 72.9 Kbps (8-PSK)	1.2288 Mcchip/s ^d	42 Kbps
Frame length	4.615 ms	40 ms	20 ms	20 ms
Slots per frame	8/16	6	1	3/6
Frequency band (uplink/downlink) (MHz)	880-915 / 935-960 1720-1785 / 1805-1880 1930-1990 / 1850-1910	824-849 / 869-894 1930-1990 / 1850-1910	824-849 / 869-894 1930-1990 / 1850-1910	810-826 / 940-956 1429-1453 / 1477-1501
Speech codec	RPE-LTP ^e 13 Kbps Half rate 6.5 Kbps Enhanced full rate (EFR) 12.2 Kbps	VSELP ^f 8 Kbps IS-641-A: 7.4 Kbps ACELP ^g US1: 12.2 Kbps (ACELP)	QCELP 8 Kbps CELP 8 Kbps CELP 13 Kbps	VCELP 6.7 Kbps
Maximum possible data rate	HSCSD: 115.2 Kbps GPRS: 115.2 – 182.4 Kbps (depending on the coding)	IS-136+: 43.2 Kbps	IS95A: 14.4 Kbps IS95B: 115.2 Kbps	28.8 Kbps
Frequency hopping	Yes	No	N/A	No
Handover	Hard	Hard	Soft	Hard

Tabla 2.3 Parámetros Técnicos de sistemas celulares de segunda generación.

CAPITULO III

SISTEMAS CELULARES

3.1 CONCEPTO CELULAR.

Uno de los principales problemas en las redes inalámbricas es el echo de que el espectro es de escasa procedencia. A parte de las técnicas de acceso mencionadas anteriormente las cuales tratan de incrementar la capacidad de un espectro en específico, un gran incremento en la eficiencia espectral ha surgido como consecuencia de la introducción del concepto celular, el cual fue introducido a principios de los 70's en los laboratorios Bell. Las bases de esta idea es el concepto de celda ó célula, la cual identifica la localización de usuarios dentro de un área de cobertura establecida por dicha celda ó estación base BS (Base Station). La Figura 3.1 hace descripción de una simple arquitectura la cual describe los elementos principales de un sistema celular.

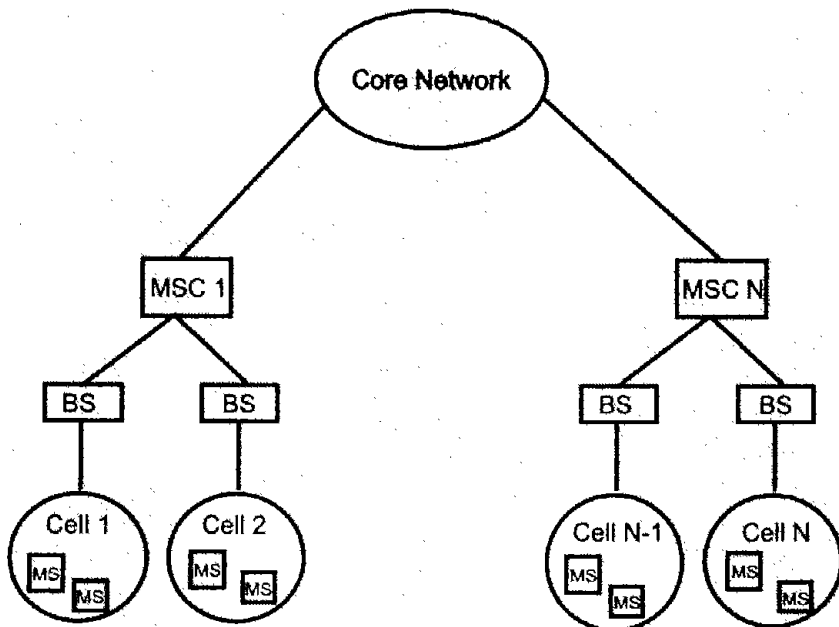


Fig. 3.1 Principales elementos de un sistema celular.

- La terminal móvil contiene por lo menos la capacidad de transmitir voz.
- La estación base BS, se encarga de establecer la comunicación entre los usuarios móviles y la celda.
- El centro de conmutación móvil MSC (Mobile Switching Center) el cual controla un número de BS's y la interfase del sistema celular desde el núcleo de la red.
- El registro de ubicación local, HLR (Home Location Register) y el registro de ubicación del visitante VLR (Visitor Location Register), realizan la base de datos presentes en cada MSC.

Además de asumir la presencia de los siguientes canales, los cuales se pueden encontrar en todos los sistemas celulares:

*Los canales de radiodifusión, se utilizan para transportar el control general de información desde la BS a todas las estaciones móviles contenidas en la celda.

*Los canales de 'Paging', se utilizan para notificar a la estación móvil el ingreso de llamadas.

* Los canales de acceso aleatorio, se utilizan en las estaciones móviles para la inicialización de llamadas.

El concepto celular habilita la reutilización de frecuencias mediante la planeación de un mismo grupo de canales los cuales brindan servicio a la población entera de un sistema inalámbrico, en la que la expansión geográfica del sistema se fragmenta formando las celdas del sistema. La disponibilidad de canales de frecuencia, también se subdivide en diversos grupos, y el mismo grupo de canales se reutilizan en grupos de celdas no cercanas ó próximas, con el objeto de reducir la interferencia ya que las celdas que utilizan los mismos canales se localizan relativamente apartadas una de otra.

El concepto de reutilización de frecuencias se ilustra en la Figura 3.2 donde las celdas se modelan como pentágonos.

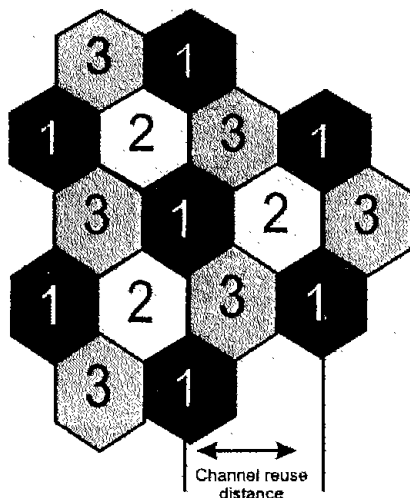


Fig. 3.2 Reutilización de frecuencias para un modelo hexagonal.

Sin embargo, este esquema únicamente se utiliza como propósito de presentación ya que en la realidad las celdas presentan formas irregulares causado por obstáculos en el medio como pueden ser edificios, montañas, construcciones etc. En la Figura 3.2 se pueden identificar tres grupos de celdas, 1,2, y 3 con celdas pertenecientes al mismo grupo utilizando el mismo canal. Desde que se utilizan tres diferentes grupos de celdas se dice que el sistema mostrado en la Figura 3.2 tiene el mismo tamaño, ya que en situaciones reales se utilizan más grupos (de siete hasta veinte) con la finalidad de incrementar la distancia entre los canales aledaños para reducir la interferencia celular.

El esquema de reutilización de frecuencias el cual se logra mediante la utilización de las celdas da como resultado un incremento total en la capacidad. Volviendo al ejemplo de la Figura 3.2 si cada celda necesita el apoyo de un canal de ancho de banda B , entonces con la reutilización de frecuencias un total de $3B$ anchos de banda es suficiente para cubrir una región de dieciséis celdas. Sin la reutilización de frecuencias, cada celda podría utilizar un canal de diferente frecuencia por lo que se tendría un

esquema que demanda 16B anchos de banda. La separación de canales de celdas vecinas de las técnicas de acceso múltiple, por ejemplo si se utiliza FDMA las celdas vecinas utilizan diferentes canales de frecuencia, en el caso de TDMA los canales se definen en el dominio del tiempo donde se optimiza la separación de canales. Por otro lado CDMA tiene la ventaja de utilizar arreglos simples de celdas ya que esto simplifica el diseño del sistema. Dado que las estaciones móviles de celdas adyacentes usan la misma frecuencia al mismo tiempo y aunque se tiene un pequeño monto en la interferencia, CDMA maneja códigos apropiados en la transmisión de celdas vecinas.

El concepto de sectorización se puede explicar considerando celdas hexagonales divididas en tres sectores (espaciadas 120 grados). Sectores que conllevan celdas de diferente frecuencia donde un arreglo es un grupo de celdas donde cada canal de frecuencia únicamente se utiliza una sola vez. Para celdas que tienen Y sectores cada una se tienen K canales disponibles por lo tanto un arreglo se puede componer de K/Y celdas. Por ejemplo, para $K=12$, $Y=3$, tenemos $4/12$ patrones de re-uso por lo que con un apropiado patrón las frecuencias se reutilizan en sectores significativamente apartados una de la otra lo cual habilita la no interferencia en la respectiva operación de los canales de voz y datos.

Utilizando la aproximación celular, se alcanza el número efectivo de canales por unidad de área. Para un valor fijo en la potencia de transmisión de las celdas BS, se tiene una relación directa entre la frecuencia en uso y el radio de la celda del sistema celular. La utilización de bajas frecuencias nos da la ventaja de tener una alta cobertura y por lo mismo un menor número de celdas lo que implica un menor costo en las BS's. Sin embargo desde el punto de vista de la eficiencia espectral es más ventajoso el uso de celdas pequeñas ya que habilita mejor el re-uso de frecuencias ya que incrementa el número de canales por unidad de área.

La eficiencia de las celdas pequeñas nos lleva al concepto de microceldas las cuales son celdas muy pequeñas utilizadas para incrementar la demanda en el tráfico de áreas urbanas. Las microceldas son el resultado de una larga fragmentación en las celdas comunes.

La asignación de canales fijos FCA (Fixed Channel Allocation) funda su estrategia en tener un grupo fijo de canales asignados en cada celda. Esto significa que se asignan canales a las celdas y no a los nodos móviles. El problema de utilizar esta estrategia no toma ventajas sobre la distribución del usuario ya que una celda puede contener pocos o ningún nodo móvil y puede utilizar el mismo monto de ancho de banda por lo que la utilización del espectro no es tan óptimo.

3.2 CALCULO DE RADIO DE SEÑAL A INTERFERENCIA (SIR).

En algunos procesos de modulación se puede demostrar que parte de la ganancia de la señal con respecto a la relación de ruido se presenta al ser demodulada. Esta ganancia no se presenta en la modulación por amplitud sin embargo en FM este efecto se presenta de manera muy marcada por lo que se conoce como efecto de captura. El efecto de captura es particularmente utilizado en comunicaciones celulares móviles y se ilustra en la Figura 3.3 la cual muestra la situación de la fase resultante de la portadora de FM tanto para señales de alto y bajo radio de la señal a interferencia SIR (Signal to Interference Ratio).

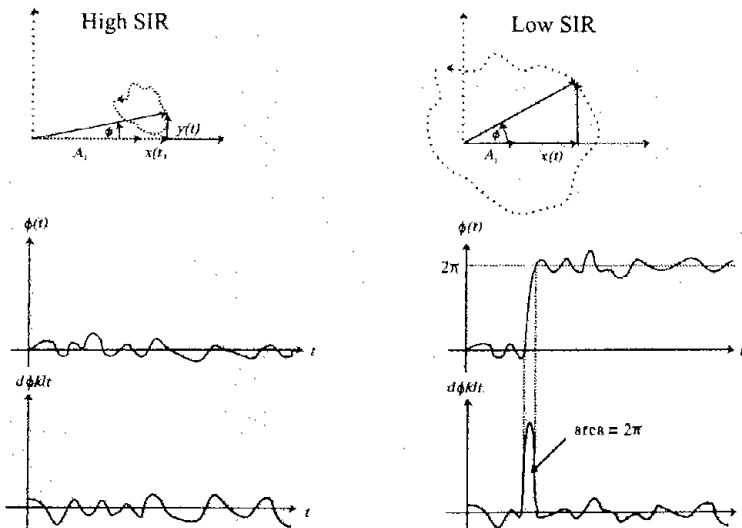


Fig. 3.3 Situación de la fase resultante de FM.

En este diagrama $x(t)$ la componente de interferencia en fase y $y(t)$ representa la componente de interferencia de fase en cuadratura. Cuando el SIR es alto, el emplazamiento de la resultante se confina en un área cerrada de la portadora y el ángulo.

Al decrementar el SIR el emplazamiento de la resultante ocasionalmente cruza el origen lo cual da un cambio rápido en la fase, esto produce un pico en la salida del demodulador.

Un móvil en una de las celdas tendrá un SIR el cual en promedio es una función de $q=D/R$ donde D es la distancia de la frecuencia en re-uso, y R el radio de la celda,(en promedio el SIR de un receptor móvil será el mismo de la estación base receptora). Se debe notar que el nivel de potencia actual P_0 se asume por igual en todas las celdas y q conocido como el factor de reducción de interferencia co-canal es independiente del valor de P_0 . La señal de radio de interferencia con respecto a la celda descrita en la Figura 3.4 es:

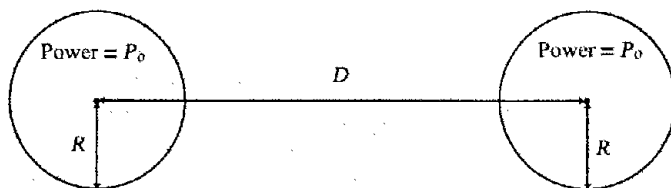


Fig. 3.4 Emplazamiento de la resultante.

$$\frac{S}{I} = \left(\frac{R}{D} \right)^{-1} = \left(\frac{R}{D} \right)^{-4}$$

Ec. 3.1

Para el desarrollo total de un sistema celular basado en un modelo hexagonal se tendrán seis celdas de interferencia en el primer nodo del 'cluster' como se muestra en la Figura 3.5. Si $n=4$ podemos asumir que la interferencia debida a las celdas en el segundo nodo se puede ignorar y el SIR en una de las celdas será:

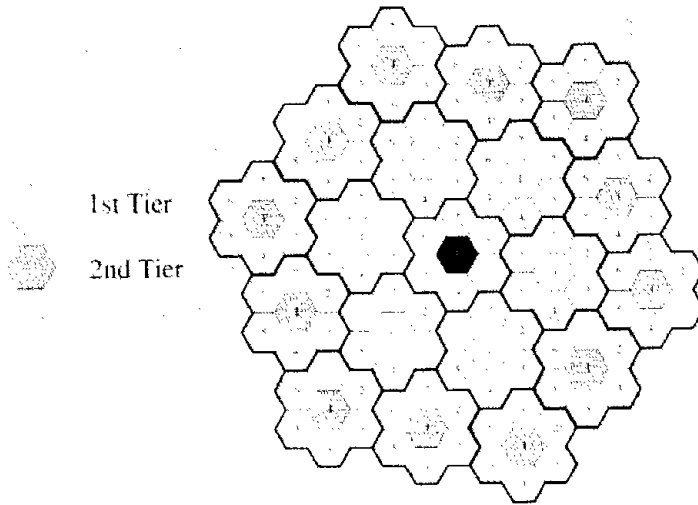


Fig. 3.5 Modelo hexagonal de un sistema celular.

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{k=1}^6 I_k}$$

Ec 3.2

Asumiendo que el ruido local es mucho menor que el nivel de interferencia tenemos la sig. Ec:

$$\frac{S}{I} = \frac{K^{-\alpha}}{\sum_{k=1}^6 D_k^{-\alpha}}$$

Ec 3.3

Asumiendo para todos los valores de D_k son iguales, tenemos:

$$\frac{S}{I} = \frac{K^{-\alpha}}{6D^{-\alpha}}$$

Ec 3.4

El valor de S/I necesario para una eficiencia aceptable depende del número de factores relacionados con el esquema de modulación. Los valores típicos se muestran en la siguiente tabla:

System	S/I
TACS (analogue)	18 dB (63.1)
GSM (digital)	9 dB (7.9)
TETRA (digital)	19 dB (79.4)

Tabla 3.1 Valores típicos de S/I para diferentes esquemas de modulación.

El desempeño aceptable claramente es una medida subjetiva y usualmente se interpreta como el S/I en el cual el 90% de los usuarios reportan que han recibido un servicio adecuado en el 95% del tiempo utilizado.

Por ejemplo; utilizando un valor de SIR analógico de la tabla 3.1 la Ec 3.4 nos da $q = 6 \times 63.1$, nos da $q = 4.41$.

Para una estructura hexagonal $q = 3K$, para $K = 6.48$

Por lo tanto el tamaño del arreglo requerido para este SIR es de 7. Se debe notar que este análisis de aproximación se apega al reflejo de un caso práctico el cual se basa en fijar una probabilidad para un móvil que recibe un SIR por arriba del valor especificado.

3.3 RE-USO DE FRECUENCIAS.

El cálculo de la distancia para el re-uso de frecuencias nos basamos en el tamaño del 'cluster' K. El cual se especifica en términos del 'offset' ó desviación desde el centro del 'cluster' hasta el centro de un 'cluster' adyacente. Esto se puede visualizar haciendo referencia a la Figura 3.6.

En esta Figura el tamaño del 'cluster' celular es de siete y el centro de la celda está marcado con el número 1. La próxima celda 1 tiene una desviación $i=2$ diámetros de celda a una celda intermedia y una posterior $j=1$ diámetro desde la celda intermedia.

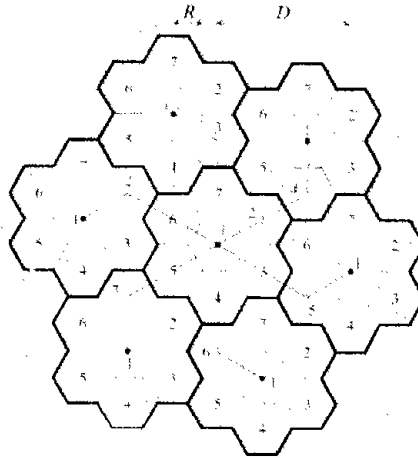


Fig. 3.6 'Cluster' de siete celdas.

El tamaño del 'cluster' se calcula mediante la sig expresión:

$$K = i + ij + j$$

Por ejemplo para áreas urbanas se tienen tamaños de 'cluster' de 4 ($i = 2, j=0$) y 'clusters' de 7 ($i=2,j=1$) y para zonas rurales el tamaño del 'cluster' es de 12 ($i=2,j=2$).

La Figura 3.7 ejemplifica un 'cluster' de tamaño 4, y la Figura 3.8 corresponde a un 'cluster' de tamaño 12, para valores de $K=1,3,4,7,9,12,\dots$

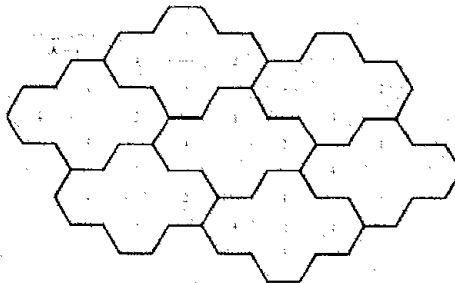


Fig. 3.7 'Cluster' de cuatro celdas.

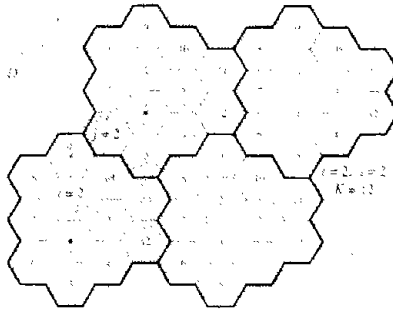


Fig. 3.8 'Cluster' de doce celdas.

La distancia D para la reutilización de frecuencias se muestra en las Figuras. 3.6 y 3.8 asumiendo celdas circulares de radio R (basándonos en un patrón hexagonal), la distancia de la frecuencia en re-uso se relaciona por el tamaño del 'cluster' y el radio de la celda y esta dado por la siguiente expresión:

$$D = 3K R$$

La tabla 3.2 nos da la distancia correspondiente a la frecuencia de re-uso de 'clusters' de 4,7,12 respectivamente.

K	D
4	$3.46R$
7	$4.5R$
12	$6.00R$

Tabla 3.2 Valores estimativos de distancia para 'Clusters' de 4, 7, y 12.

Si las celdas están transmitiendo con la misma potencia entonces en tanto que K se incremente, la distancia de las frecuencias en re-uso también se incrementa, dado el incremento en K reduce la probabilidad de interferencia provocada por los canales adyacentes. Sin embargo en orden de maximizar el re-uso de frecuencias es necesario minimizar la distancia de frecuencias en re-uso.

Por lo tanto el éxito en el diseño es seleccionar un valor de K suficientemente pequeño el cual nos permitirá encontrar los requerimientos de funcionalidad en términos de la interferencia y la capacidad del sistema.

3.4 MODELOS DE TRÁFICO EN CÉLULAS (ERLANGS).

Habiendo establecido el tamaño del 'cluster' es necesario determinar el radio de la celda. Esto se basa en el número de canales disponibles y la densidad esperada por suscriptores móviles (número promedio de suscriptores móviles/metro cuadrado). Y considerando aspectos de teoría de tráfico telefónico tenemos dos tipos de sistemas utilizados en telefonía:

- Llamadas bloqueadas
- Retrazo del sistema.

Básicamente, en las llamadas bloqueadas, cuando el suscriptor requiere un canal de transmisión y si todos los canales disponibles están en uso el requerimiento de llamada se encuentra bloqueado, ya que esta situación comúnmente se encuentra en los sistemas móviles de comunicación pública. En el caso de retraso del sistema la llamada requerida toma tiempos de espera hasta encontrar un canal disponible. El bloqueo de llamadas se describe por la fórmula B de Erlang la cual relaciona capacidad de transporte de tránsito y el número de canales disponibles para una probabilidad específica de bloqueo.

Para ilustrar este punto asumimos que el número total de canales disponibles es de 210. Esto significa que para un 'cluster' de tamaño 7, en número de canales por celda es $210/7=30$. Por lo que es necesario encontrar la demanda total de tránsito en horas pico. Esto se relaciona con el número promedio de llamadas/hora entonces para relacionar estos factores asumimos a W como el número de suscriptores por celda, y durante las horas pico ó de alto tránsito, una fracción n_c de estos suscriptores hace o recibe una llamada con duración de T minutos. Por lo que el número total de llamadas en horas pico es $Q=n_c W$.

La carga presente es de $A=Q T/60$ erlangs

Para obtener el número de canales para un tránsito dado es necesario fijar una probabilidad de bloqueo para cada celda. Un valor típico para esto es 2%. La relación

entre el tránsito presente, la probabilidad de bloqueo y el número de canales esta dado por la formula B de Erlang la cual usualmente se presenta en forma tabular y esta dada por la tabla Erlang B.

Esta tabla se basa en la formula para estimar las perdidas de Erlang, la cual se conoce como la fórmula B de Erlang y esta dada por la Ec.3.5:

$$P_B = \frac{\left(\frac{A^C}{C!} \right)}{\left(\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!} \right)}$$

Ec. 3.5

La formula nos da un valor estimado de la probabilidad de bloqueo PB de la llamada utilizado como medida de grado de servicio (GoS) en sistemas de telefonía cuando una medida de carga de tránsito A Erlangs se aplica a un sistema de conferencia interurbana de C canales.

El total de tránsito aplicado A en Erlangs es T donde α es la razón de arribo en llamadas/hora y T es el tiempo promedio de duración de la llamada ó llamadas en tiempo de espera, por ejemplo un centro de emergencia recibe 150 llamadas/ hora, con un tiempo de espera promedio T de 30 segundos es manipulada por una carga de tránsito $150 \times (30 \text{ s}/3600 \text{ s/hora}) = 1.25$ Erlangs. Donde el calculo del GoS se extrae directamente de la Ec. 3.5.

Así con estos valores tabulados se puede ver que para 30 canales pueden sustentar un tráfico de 21.9 Erlangs con una probabilidad de bloqueo de 2%. Por lo que es posible relacionarlo con el número de suscriptores de los cuales la celda puede soportar:

$$21.9 = Q T / 60 = (nc W T) / 60$$

$$\text{lo que resulta } W = 60 \times 21.9 / (nc T)$$

En esta expresión T indica la duración de la llamada en minutos. El valor de T para sistemas públicos es directamente afectada por el factor de tarificación y

usualmente es de 1.76 minutos. Si asumimos que el 60% del total de suscriptores realiza una llamada durante las horas pico entonces:

$$W=60 \times 21.9 / (0.6 \times 1.76) = 1244.3$$

Por lo tanto con 30 canales disponibles por celda se pueden sustentar 1244 suscriptores, por lo que el radio de la celda R en metros utiliza una densidad =1244/ R.

Ahora es posible calcular el radio de la celda requerido para una densidad promedio. Por ejemplo si asumimos que el número de usuarios /Km, es 1600, esto representa una densidad de 1.6×10^4 /m

Por lo tanto $1244.3 / R = 1.6 \times 10^4$ nos da $R=495.5$ m, lo que nos da una celda con una cobertura de diámetro de 1 Km

3.5 CAPACIDAD DE SISTEMAS CELULARES.

La capacidad de un sistema se describe en términos del número de canales disponibles, y alternativamente en términos del número de suscriptores que el sistema puede soportar. El sistema público móvil es dominado por el tránsito de voz y el número de usuarios que el sistema podría soportar depende en el hecho de que cada llamada tiene una medida de duración y no todos los suscriptores tratan de hacer llamadas al mismo tiempo.

La capacidad del sistema depende de:

- *El total del número de canales de radio.
- *El tamaño de cada celda
- *El factor de re-uso de frecuencias.

El número total de canales de voz que puede ser disponible para cualquier sistema dependen del radio espectral alojado en el ancho de banda de cada canal. Enseguida este número se define como un patrón de re-uso de frecuencias cuyo desarrollo nos lleva a un uso óptimo de canales.

La mínima distancia que aloja la misma frecuencia en re-uso depende de varios factores como por ejemplo:

- El número de canales adyacentes en la vecindad de la celda central.
- La geografía del terreno.
- La altura de la antena.
- La potencia de transmisión de cada celda.

Asumiendo que la estación base tiene antenas omni-direccionales es apropiado considerar a las celdas como círculos desde el centro de las estaciones base (modelo muy apropiado en terrenos planos carentes de obstáculos). Esto quiere decir que en orden de proveer una cobertura completa en un área de celdas circulares puede existir un traslape lo que causaría una confusión en la operación es por lo que una practica común representar a las celdas como hexágonos no traslapados. El modelo ficticio con el ideal, y el modelo real se muestran en la Figura 3.9

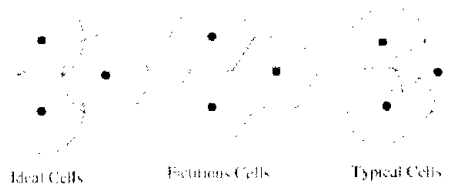


Fig. 3.9 Modelo ficticio, ideal, y real de la cobertura celular.

3.6 ASIGNACIÓN DE CANALES INALÁMBRICOS.

Al número de grupos de canales, ó al número de celdas por 'cluster' se le conoce como parámetro N, y se determina en base a las consideraciones de fenómenos de interferencia de canales adyacentes. Un valor pequeño de N degrada la eficiencia de la relación señal interferencia S/I. Y un valor grande de N mejora el desempeño de la relación S/I. La significancia de N radica en que la asignación de los canales de voz se divide en N grupos de canales, a los cuales se les asigna un número de celda, normalmente en sistemas Norte Americanos el valor de N es de 7, y en sistemas GSM, N =4.

El proceso para la asignación de grupos de canales a las celdas es el mismo tanto para celdas omnidireccionales y sitios celulares direccionales. Los patrones de asignación son establecidos mediante la puesta en marcha del sistema la cual determina los grupos de canales asignados a la celda subdividida.

Al poner en marcha al sistema, el proceso de asignación de grupo de canales comienza superponiendo un arreglo de hexágonos regulares en un mapa del área de servicio. Cada hexágono representa a un sitio celular preferentemente cercanos uno del otro hacia el centro. Los hexágonos pueden ser del mismo tamaño ó si se trata de celdas subdivididas es necesario que durante el comienzo pueda haber de dos hasta tres tamaños de celdas. Por ejemplo la Figura 3.10 nos muestra la Configuración para dos tamaños de celda.

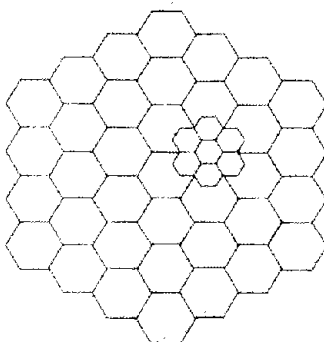


Fig. 3.10 Configuración para dos diferentes tamaños de celda.

Primero asignamos un grupo de canales a cada celda a lo largo de la celda tomada como patrón, ver la Figura 3.11:

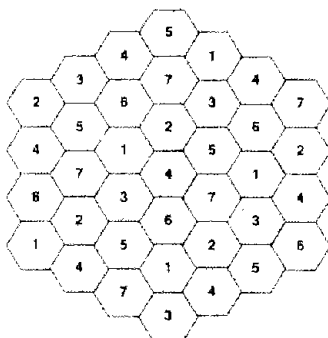


Fig. 3.11 Asignación de canales.

Después se asigna un grupo de canales a las celdas de menor tamaño. En la Figura 3.12 se agregan celdas de menor tamaño con el objetivo de producir un mapa del sistema en el cual la asignación del grupo de canales representa:

El espacio actual de las celdas

- Para celdas pequeñas que se sobreponen en el centro de una celda hipotéticamente grande.

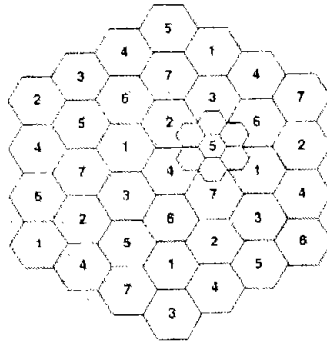


Fig. 3.12 Mapa de asignación para celdas superpuestas.

Después se agregan algunas celdas hipotéticas de tamaño pequeño al mapa del sistema para auxiliarnos en la determinación del grupo de canales asignados a las celdas pequeñas actuales. En la Figura 3.13 se muestran las celdas hipotéticas mediante líneas punteadas:

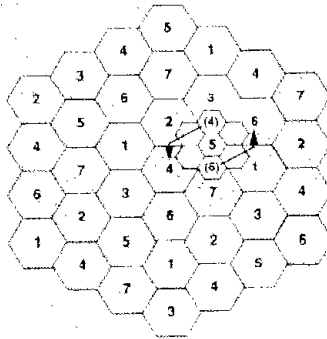


Fig. 3.13 Celdas Hipotéticas.

Para determinar un grupo de asignación de canales en particular para celdas pequeñas se localiza el canal adyacente en el cual su grupo de canales ya ha sido asignado. El estándar de la red de distribución o malla retiene la asignación de canal para cualquier tamaño de celda. Entonces el mismo grupo de canales es asignado por la celda en cuestión. Por ejemplo en la Figura 3.13 la celda pequeña en el canal del grupo 6 se mapea como una celda hipotética en el grupo 6, y el grupo 4 se mapea con el grupo 4. Cuando se completa el mapeo, en la Figura 3.14 obtenemos el grupo de canales asignados para todas las celdas.

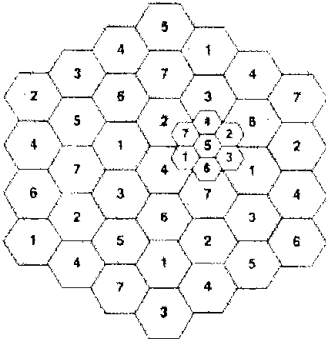


Fig. 3.14 Canales asignados para todas las celdas.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN DE SITIOS CELULARES.

4.1 CAUSAS.

El incremento en el número de usuarios y la demanda de nuevos servicios de telefonía celular así como los avances tecnológicos en sistemas de segunda y tercera generación hace imprescindible el crecimiento de la red celular. Por tal motivo se debe crear procedimientos, estrictamente definidos, en lo que respecta a la implementación de sitios celulares. Actualmente existen varias compañías encargadas de brindar una gran variedad de servicios de telefonía celular que van desde la transmisión de voz datos y video hasta servicios de internet inalámbrico y 'telemarketing'.

Con el advenimiento de sistemas de tercera generación y el crecimiento global de las redes de telefonía, los sitios celulares se ven en la necesidad, en el mejor de los casos, de incrementar el número de canales de transmisión, sin embargo, esta alternativa no siempre satisface los requerimientos de la red, por lo que nos vemos obligados a incrementar ó reubicar el número de celdas del sistema celular en cuestión, ya que también intervienen factores geográficos y jurídicos en lo que respecta a la normatividad vigente establecida y regulada por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, la cual se fundamenta en las normas internacionales en materia de telecomunicaciones.

Otra causa importante es el advenimiento de nuevas tecnologías ya que los sistemas ó sitios celulares tienen un cierto periodo de vida útil, y aunado a que determinados servicios requieren de tecnología de vanguardia, es necesario programar a futuro la implementación de sitios ya que el desarrollo de sistemas celulares va de la mano con la creación de nuevas tecnologías, técnicas y procedimientos en la administración operación e implementación de redes de telefonía celular, por tal motivo las empresas siempre deben estar a la vanguardia de los avances tecnológicos ya que constantemente aparecen en el mercado nuevas innovaciones ya sea en hardware y software especializado en sistemas de telecomunicaciones como pueden ser desde

teléfonos celulares hasta súper nodos empleados en el procesamiento, control, y operación de la red celular.

Al hablar de servicios de tercera generación lógicamente se involucra dispositivos capaces de mantener ó establecer sistemas de telecomunicaciones más eficientes, por consiguiente, el hardware empleado en los sitios celulares debe satisfacer los requerimientos del sistema, de lo contrario nos veremos en la necesidad de implementar dispositivos capaces de realizar esta tarea.

Otra causa importante para la implementación de sitios celulares es la reubicación de celdas ya que este problema se presenta cuando los sitios generan interferencia ó bloqueo sobre celdas adyacentes ó simplemente no cubren la demanda del tránsito telefónico por lo que se debe ejecutar el procedimiento de partición de sitios celulares para optimizar el área de cobertura, ya sea para aumentar ó disminuir el número de celdas, dependiendo del caso en cuestión.

Los criterios empleados en la implementación de sitios celulares se sustentan en el análisis de tráfico telefónico y la demanda en el servicio, así como también en las pruebas de las áreas de cobertura donde se manifiesta un mal servicio. La tabla 4.1 muestra un registro del tráfico telefónico en una determinada zona de servicio, cuya utilidad se manifiesta en el análisis de tráfico telefónico pues ayuda a formular criterios para la toma de decisiones, en lo que respecta a la ingeniería empleada para el crecimiento y optimización de la red celular.

4.2 JUSTIFICACIÓN.

La ingeniería y planeación en la implementación de sitios celulares requiere de una jurisdicción y tiempo significativo. Antes de la planeación del sistema, el ingeniero deberá adquirir el conocimiento básico de la tecnología celular, lo que incluye la asignación de canales, el concepto de estructura de la red de distribución hexagonal, la partición de celdas, procesamiento de llamadas, conceptos de radio propagación y otros principios empleados en la implementación de celdas como son la sectorización, la señalización, y el análisis de tráfico telefónico.

En la ingeniería y planeación de sistemas celulares, el primer paso para diseñar el sistema se basa en la estimación de lo que puede ocurrir a futuro. Entonces cuando el sistema en operación provee de servicios a usuarios se debe formar una base de datos los cuales contienen parámetros e información necesaria para describir el comportamiento del sistema, con el objetivo de rediseñar ó reconfigurar el sistema, dependiendo de las necesidades ó requerimientos del ingeniero celular para la selección de sitios, debe también determinar la cantidad de equipo a instalar y centrar sus objetivos en la disponibilidad de canales, y el diseño del sistema para proveer una transmisión adecuada y eficiente.

En general, la filosofía en ingeniería de RF para sistemas celulares, provee una alta posibilidad de eficiencia en la porción de radio del sistema, con el objeto de minimizar los costos. La radio eficiencia incluye tanto la calidad y el control de la trayectoria de transmisión, como la calidad de la señal de información. La medida de la eficiencia en la transmisión es la relación de la señal de RF entre el deterioro referido a la suma de la potencia de ruido (N) y la interferencia del canal adyacente, $S/(I+N)$.

La normatividad vigente tiene el compromiso de solucionar y adaptar el proceso de planeación. En algunos casos es necesario para los ingenieros realizar un trueque entre diferentes tipos de sistemas en deterioro. Reduciendo la potencia de un sitio celular para resolver el problema de interferencia entre celdas aledañas ó realizar mejoras en pequeñas áreas geográficas donde se tiene una mala transmisión.

Los siguientes criterios en la calidad del servicio utilizados en el diseño de sistemas celulares, prevén una buena área de cobertura con una señal vigorosa de la transmisión en ambas direcciones. Por ejemplo:

- * Una medida $S/(I+N)$ 17 dB, sobre un 90% del área de servicio.
- * Una medida $S/(I+N)$ 5 dB, sobre un 99% del área de servicio.

Generalmente, los ingenieros en RF realizan los cálculos del promedio, y el peor de los casos de $S/(I+N)$ en la optimización del análisis. El cálculo de la eficiencia promedio provee una medida de la percepción en la totalidad de los usuarios en lo que respecta a la calidad del servicio, generando la información destinada a los administradores, ya que un pobre desempeño en algún canal se puede enmascarar mediante un buen desempeño de otro canal por lo que un sistema con una buena eficiencia promedio, puede ser afectado significativamente por un pequeño número de canales dañados, lo que refleja un alto índice en la pérdida ó caída de llamadas.

El ingeniero del sistema comienza con la especificación de la Configuración del sistema y desempeña las pruebas para una adecuada eficiencia. Si las pruebas fallan, entonces el ingeniero ejecuta varios procedimientos de diagnóstico para encontrar las causas de la falla. Una vez que el ingeniero determina las causas de la falla, realiza la decisión sobre cual será la técnica apropiada y como aplicarla en el desarrollo de la modificación de la Configuración del sistema que satisface la relación $S/(I+N)$, bajo el criterio de prueba y optimización. Si el criterio no es aplicable el ingeniero repite el diagnóstico y el procedimiento de solución del problema, hasta satisfacer el criterio especificado.

La definición de la Configuración del sistema es una red celular que especifica la localización del sitio celular, la potencia de transmisión, los tipos de antena, y la altura de las antenas. Generalmente para el diseño de nuevos sistemas, todas las antenas se hacen omni-direccionales y sus alturas son determinadas por el área de cobertura de la celda. La potencia de salida de los transmisores se ajusta al máximo permitido; después de interactuar la cobertura de RF dentro de todas las áreas y sustentar la expectativa de

tráfico el ingeniero determinara la Configuración final del sistema el cual representa la mejor elección entre varios criterios de eficiencia, costo y practicabilidad.

Mediante el siguiente ejemplo, podemos describir el proceso de crecimiento de un sistema celular. Como se mencionó anteriormente, la demanda en el servicio se basa en la carga de transporte del tráfico celular. La cobertura y la interferencia se predicen utilizando herramientas de software con los datos del terreno en estudio y la localización geográfica de los sitios celulares.

El escenario de crecimiento del sistema celular se puede esquematizar mediante la representación hexagonal de las áreas celulares, (ver la Figura 4.1). La asignación de la frecuencia de los canales de voz se hace de acuerdo al factor de re-uso, ya que para este caso elegimos el factor de 7.

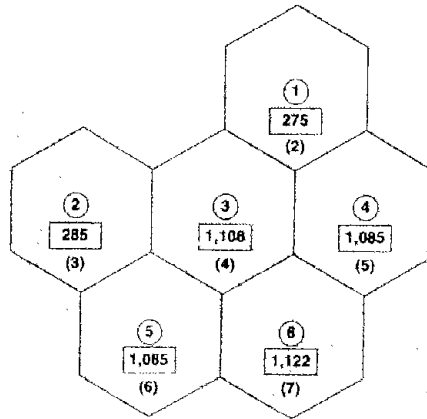


Fig. 4.1 Representación hexagonal de áreas celulares.

El conocimiento en el incremento de la demanda del servicio, permite aumentar la capacidad de tráfico individual de los sitios celulares, ya que se deben agregar canales de voz hasta la máxima capacidad permitida por su normatividad. También empleamos la partición celular para el futuro incremento de la capacidad del sistema, ya que al agregar nuevos sitios celulares se debe controlar la interferencia entre canales adyacentes mediante la segmentación, dualización, y sectorización.

Para comenzar tenemos como ejemplo la tabla 4.2:

Cell Site	Channel-Group Number	Traffic Load (Busy-Hour Call Attempts)	Traffic Load (Erlangs)	Number of Voice Channels
1	2	356	9.26	16
2	3	353	9.18	16
3	4	1,307	33.98	44
4	5	1,292	33.59	44
5	6	1,150	29.90	39
6	7	1,196	31.10	41
7	1	554	14.40	22
Total		6,208	161.41	222

Tabla 4.2 Registro de tráfico telefónico para un grupo de K=7.

Podemos ver que el radio de cobertura de cada celda es de aproximadamente de 10 Km, si utilizamos un valor nominal de 0.026 erlangs por llamada (correspondiente a la duración en promedio de las llamadas en 100 segundos), computamos la cantidad de canales de voz requeridos con base en el conocimiento de la demanda en el servicio, considerando un 2% de llamadas bloqueadas.

1. Como la demanda en el servicio se incrementa, aumentamos la cantidad de los canales de voz en cada sitio celular, al punto donde los grupos de canales se han agotado, tanto en el sitio 3 como en el 4. Al encontrarse con el futuro incremento en la demanda en el servicio, se agrega un nuevo sitio celular entre el sitio celular 3 y 4. La frecuencia de canales de voz corresponde al grupo de canales 1 como se muestra en la Figura 4.2, donde hemos asignado el sitio celular número 7. Ya que este grupo de canales no se utiliza en otro cualquier sitio celular, no se emplean canales de re-uso en el sistema por lo que la nueva Configuración se cuantifica en la tabla 4.3.

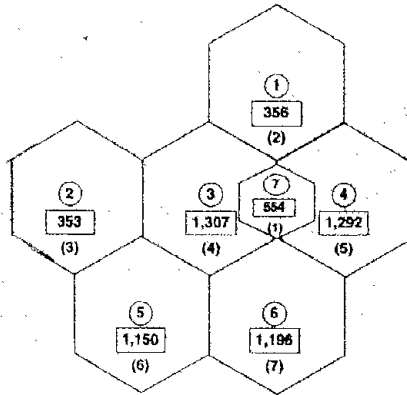


Fig. 4.2 Asignación del sitio celular 7.

Cell Site	Channel-Group Number	Traffic Load (Busy-Hour Call Attempts)	Traffic Load (Erlangs)	Number of Voice Channels
1	2	386	10.04	17
2	3	400	10.40	17
3	4	1,282	33.33	43
4	5	1,252	32.55	42
5	6	1,265	32.89	42
6	7	1,308	34.00	44
7	1	542	14.09	22
8	3	512	13.31	21
Total		6,947	180.61	248

Tabla 4.3 Registro de tráfico telefónico para un grupo de K=8.

- Como la demanda en el servicio sigue incrementando, los grupos de canales de los cuales las frecuencias de canales de voz asignados a los sitios celulares 5 y 6 se han agotado, se agrega una nueva celda entre ellas. La frecuencia de los canales de voz del grupo 3 se asigna al sitio celular 8 como se ve en la Figura 4.3. Sin embargo, la demanda del servicio se puede satisfacer sin la reutilización de canales, ya que el grupo 3 se puede segmentar y diferenciar en frecuencias de canales de voz asignados a los sitios celulares 3 y 8, obteniendo una nueva

Configuración, la cual se cuantifica en la tabla 4.4 como se muestra a continuación:

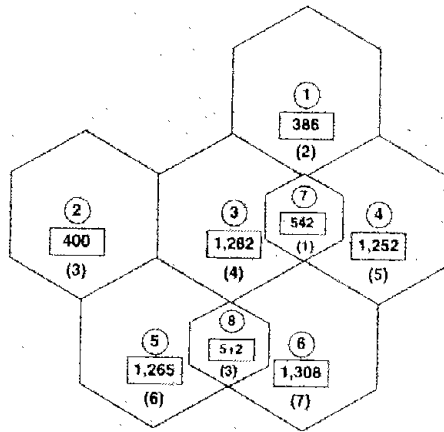


Fig. 4.3 Asignación del sitio celular 8.

Cell Site	Channel-Group Number	Traffic Load (Busy-Hour Call Attempts)	Traffic Load (Erlangs)	Number of Voice Channels
1	2	397	10.32	17
2	3	395	10.27	17
3	4	1,230	31.98	42
4	5	1,232	32.03	42
5 Primary	6	435	11.31	18
5 Secondary	6	639	16.61	24
6	7	742	19.29	27
7	1	541	14.06	21
8	3	409	10.63	17
9	2	469	12.19	19
10	6	459	11.93	19
	Total	6,948	180.65	263

Tabla 4.4 Registro de tráfico telefónico para un grupo de K=10.

- El incremento a futuro en la demanda del servicio ocurre cuando se agregan dos ó más sitios celulares (Figura 4.4). Agregando el sitio celular 9 entre los sitios celulares 3 y 6, el sitio celular 10 se agrega entre los sitios celulares 4 y 6.

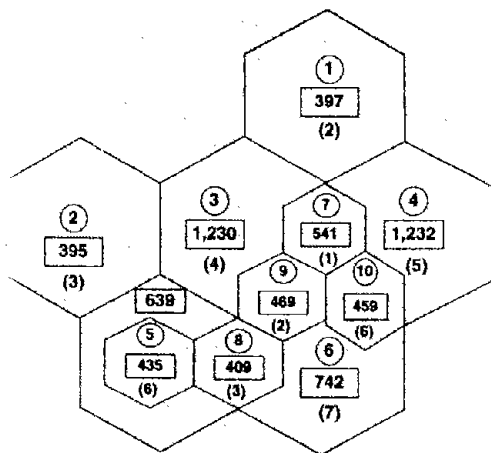


Fig. 4.4 Asignación del sitio celular 9.

La frecuencia de los canales de voz de los grupos 2 y 6 se asignan a los sitios celulares 9 y 10 respectivamente, y los canales del grupo 2 se segmentan. Sin embargo la demanda para el servicio requiere el re-uso de frecuencias para canales de voz del grupo de canales número 6, y la dualización en el grupo de canales 5 para controlar la interferencia en los canales adyacentes. La frecuencia de los canales de voz asignados en primer lugar para servir al sitio celular 5 son reutilizados en el sitio celular 10 obteniendo la nueva Configuración cuantificada en la tabla 4.5:

Cell Site	Channel-Group Number	Traffic Load (Busy-Hour Call Attempts)	Traffic Load (Erlangs)	Number of Voice Channels
1 Primary α	2	15	0.39	2
1 Primary β	2	106	2.76	4
1 Primary γ	2	17	0.44	2
1 Secondary	2	69	1.79	5
2	3	386	10.04	17
3	4	1,099	28.57	36
4 Primary	5	645	16.77	21
4 Secondary	5	443	11.52	18
5 Primary	6	680	17.68	25
5 Secondary	6	446	11.60	17
6 Primary	7	468	12.17	17
6 Secondary	7	669	17.39	25
7	1	659	17.13	23
8	3	671	17.45	23
9 α	2	229	5.96	8
9 β	2	233	6.06	8
9 γ	2	229	5.96	8
10	6	512	13.31	18
11	1	712	18.51	22
12	5	683	17.76	21
13	7	506	13.16	17
14	1	327	8.50	13
15	3	487	12.66	17
16 α	2	27	0.70	2
16 β	2	114	2.96	5
16 γ	2	182	4.73	7
17 α	2	167	4.34	6
17 β	2	112	2.91	5
17 γ	2	39	1.02	3
	Total	10,392	284.24	395

Tabla 4.5 Registro de tráfico telefónico para la nueva configuración.

4. Si se sigue incrementando la demanda en el servicio, se agregan cada vez más y más sitios celulares, y la dualización se utiliza en más y más sitios. Eventualmente la demanda para el servicio requiere la misma frecuencia de canales de voz del grupo 2 que serán asignados a los sitios 1, 9, 16 y 17 (Figura 4.5). La sectorización se emplea utilizando antenas direccionales en cada sitio celular involucrado, con el objetivo de eliminar la interferencia entre sus canales adyacentes, obteniendo así una nueva Configuración cuantificada en la tabla 4.6.

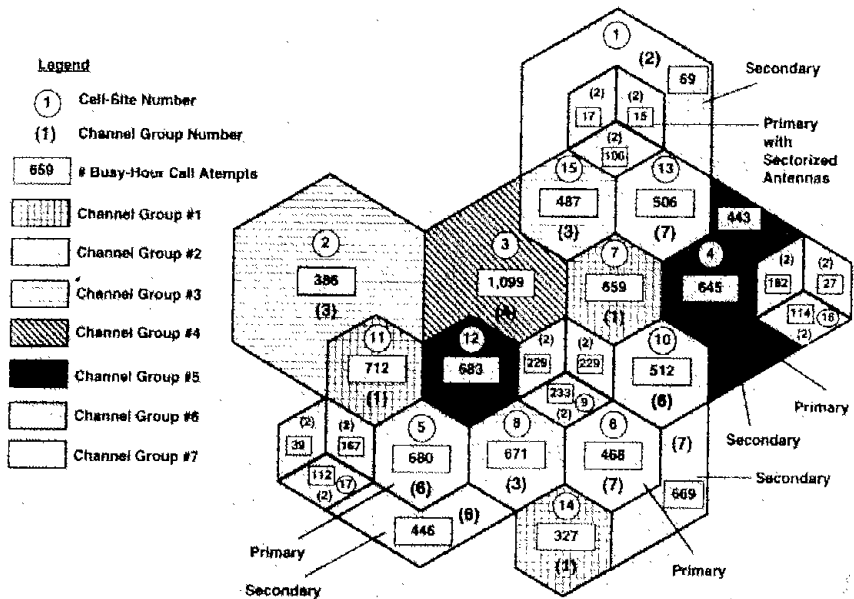


Fig. 4.5 Sectorización de sitios celulares.

Channel-Group Number	Cell-Site Number	Total Voice Channels In Group
(1)	7, 11, 14	$23 + 22 + 13 = 58$
(2)	1, 9, 16, 17	$13 + 24 + 14 + 14 = 65$
(3)	2, 8, 15	$17 + 23 + 17 = 57$
(4)	3	36
(5)	4, 12	$21 + 18 + 21 = 60$
(6)	5, 10	$17 + 25 + 18 = 60$
(7)	6, 13	$25 + 17 + 17 = 59$
	Total	395

Tabla 4.6 Nueva configuración cuantificada para la sectorización de canales.

4.3 REALIZACIÓN DE FORMATOS PARA EL REGISTRO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DEL EQUIPO CELULAR.

Es importante realizar el registro de las pruebas del equipo celular para evaluar el desempeño del equipo, con la finalidad de formular criterios y procedimientos para el mantenimiento e implementación a futuro de sitios celulares. Por consiguiente, a continuación se presentan una serie de formatos empleados para el registro de estas pruebas.

Se ha tomado como referencia formatos realizados por compañías como NT (Northern Telecom.), HP, y Microwave Networks, con el fin de establecer de un caso particular un caso general ya que los sistemas celulares son compatibles y, en esencia, muy semejantes unos de otros.

Transmit Receive Unit DualMode									
BASE STATION ACCEPTANCE TEST		Method 5299 Page 1							
Location: _____		Date: _____							
Frame: _____		Accepted by: _____							
		9	10	11	12	13	14	15	16
Transceiver Serial Number									
DRU Channel Number									
DRU Frequency (MHz)									
EEPROM CRC Check (Passed)									
MPA LED Test (Passed)									
Transmit Carrier Frequency Freq Err -220 to +220 Hz									
Wideband Modulation Freq Dev 7.2 to 8.8 kHz									
SAT Frequency at 5970 AF 5965 to 5975 Hz Freq Dev 1.8 to 2.2 kHz									
SAT Frequency at 6000 AF 5995 to 6005 Hz Freq Dev 1.8 to 2.2 kHz									
SAT Frequency at 6030 AF 6025 to 6035 Hz Freq Dev 1.8 to 2.2 kHz									
Residual Modulation Freq Dev -0.5 to +0.5 kHz									
Transmit Audio Level Freq Dev 2.61 to 3.19 kHz									
Modulation Limiting Freq Dev less than 12 kHz									
1 kHz Tone Gen Test AF 999 to 1001 Hz Freq Dev 7.2 to 8.8 kHz									

Cell Site DRU Commissioning Tests with the IMotorola 2600 (Dual Mode) /91

Formato 1. Pruebas de Tx y Rx en modo dual.

Transmit Receive Unit DualMode									
BASE STATION ACCEPTANCE TEST		Method 5299 Page 2							
Location: _____		Date: _____							
Frame: _____		Accepted by: _____							
Antenna Number: _____		RMC Number: _____		RMC Side: _____					
		9	10	11	12	13	14	15	16
DRU Channel Number									
DRU Frequency (MHz)									
Receive Sensitivity (Level) Less than -63 dB (RMC) Less than -52 dB (RF SH)									
Receive/Transmit Audio Sens Freq Dev 2.6 to 3.2 kHz									
Receive Audio Level Level -21.0 to -23.0 dBm									
RSSI Curve									
-60	-49 to -63 dBm (RMC) -66 to -76 dBm (RF SH)								
-70	-59 to -73 dBm (RMC) -76 to -86 dBm (RF SH)								
-80	-69 to -83 dBm (RMC) -86 to -96 dBm (RF SH)								
-84	-72 to -86 dBm (RMC) -90 to -100 dBm (RF SH)								
-90	-79 to -93 dBm (RMC) -96 to -106 dBm (RF SH)								
-100	-89 to -103 dBm (RMC) -106 to -116 dBm (RF SH)								
SAT Detect 5970(Level lost at) Less than -63 dB (RMC) Less than -52 dB (RF SH)									
SAT Detect 6000(Level lost at) Less than -63 dB (RMC) Less than -52 dB (RF SH)									
SAT Detect 6030(Level lost at) Less than -63 dB (RMC) Less than -52 dB (RF SH)									
ST Detect (Level lost at) Less than -63 dB (RMC) Less than -52 dB (RF SH)									

92 / Cell Site DRU Commissioning Tests with the Motorola 2600 (Dual Mode)

Formato 2. Pruebas de Tx y Rx en modo dual.

Transmit Receive Unit DualMode								Method 5299	
BASE STATION ACCEPTANCE TEST								Page 4	
Location: _____								Date: _____	
Frame: _____								Accepted by: _____	
	9	10	11	12	13	14	15	16	
DRU Channel Number									
DRU Frequency (MHz)									
MPA MAX Power Final Settings									
Customer requested power									
Actual measured power									
Location power was measured									
Power Stepsize Settings									
Customer requested stepsize									
Stepsize set									
Forward Audio Level Settings									
Customer requested level									
Actual level measured									
Reverse Audio Level Settings									
Customer requested level									
Actual level measured									
Bit Error Rate Measure									
less than 6000 in 1000000									
Digital Call Completed									
Clear audio (yes or no)									

Last Page

Transmit Receive Unit DualMode

BASE STATION ACCEPTANCE TEST

Method 5299
Page 3

Location: _____

Date: _____

Frame: _____

Accepted by: _____

MPA MAX Power Test

dBm level input	Watts at RF SHELF		Watts at DUPLEXER		9	10	11	12	13	14	15	16
	MIN	MAX	MIN	MAX								
31.5	0.8	1.2	0.3	0.4								
34.0	2.4	3.6	0.9	1.3								
37.0	4	6	1.5	2.2								
40.0	8	12	2.9	4.4								
42.0	12	19	4.4	6.9								
44.0	20	30	7.3	11								
46.0	32	48	12	17								
46.5	36	54	13	20								

Cell Site DRU Commissioning Tests with the Motorola 2600 (Dual Mode) /93

Formato 4. Pruebas de Tx y Rx en modo dual.

4.4 IMPLEMENTACIÓN

El proceso de la implementación se realiza mediante una serie de eventos cronológicamente programados en los departamentos de ingeniería y desarrollo, con el propósito de hacer lo más eficiente posible la implementación de un nuevo sitio celular, por lo que la planeación debe considerar que el procedimiento se realice en el menor tiempo posible, ya que los nuevos requerimientos demandan soluciones inmediatas, por ello es de vital importancia que los tiempos y movimientos en la instalación y puesta en servicio del sitio se realicen en el menor tiempo posible, sin afectar ó alterar en lo más mínimo el desempeño del sistema.

A continuación se plantean una serie de pasos en orden cronológico aplicados en la implementación de sitios celulares:

1. Búsqueda del área geográfica donde se va a instalar el sitio celular.
2. Instalación del contenedor y la torre.
3. Instalación de la planta de poder y sistema de aire acondicionado.
4. Instalación de los compartimientos y estructuras para el hardware, cableado estructurado, y líneas de transmisión.
5. Instalación de antenas y líneas de transmisión.
6. Instalación del equipo de enlace (microondas ó fibra óptica según sea el caso, también se pueden tener los dos tipos de enlace formando un sistema redundante.
7. Instalación del hardware del sitio celular.
8. Pruebas del enlace.
9. Pruebas de transmisión y recepción y ajustes del equipo celular.
10. Pruebas a las antenas y líneas de transmisión.
11. Registro de la cantidad de equipo que compone la celda con su respectivo número de serie para el control de inventarios.
12. Puesta en servicio del sitio celular.

1. Búsqueda del área geográfica donde se va a instalar el sitio celular.

Una vez realizada la programación de la instalación y la puesta en servicio de un nuevo sitio celular en una determinada área geográfica de servicio, procedemos a realizar la búsqueda de la ubicación física donde instalaremos nuestro sitio celular. Este punto es de gran importancia ya que el desempeño óptimo de la celda depende en gran medida de una buena ubicación de la celda, y al referirme a una buena ubicación, se deben considerar factores como son la altura sobre el nivel del mar en donde se va a ubicar el sitio ya que en base a este dato podemos determinar la altura de la torre para la instalación de las antenas, pues a veces en áreas bajas se requiere de torres muy altas y en terrenos altos ocurre lo contrario, también se deben considerar los factores que pueden afectar al sitio celular como pueden ser los asentamientos humanos. Es recomendable que los sitios se instalen lo más aisladamente posible de zonas habitacionales pues de lo contrario se presentan problemas de afectación de propiedad ajena y mal uso del suelo, así como factores diversos como es el vandalismo y la falta de infraestructura urbana para acceso al servicio de energía eléctrica, considerado como un factor fundamental en el funcionamiento de la celda. Otro factor a considerar es la ubicación de sitios en zonas de alto riesgo, en todo tipo de zonas geográficas naturales, ya que se deben considerar los fenómenos meteorológicos que pueden afectar al sistema ó asentamientos donde prolifera una gran cantidad de industrias y dispositivos diversos, que pueden afectar a los sitios en la calidad del servicio, pues todos esos lugares generan fuentes de interferencia y ruido.

Después de ubicar el área adecuada para la instalación de la celda, se considera el mejor de los casos, como puede ser arrendar un terreno baldío tratando de no afectar en lo más mínimo los conjuntos habitacionales. A continuación se procede con el aspecto legal, donde se considera el uso del suelo, la ley de construcciones en zonas urbanas y rurales, la regulación establecida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, el contrato con el arrendador, el contrato con la CFE para la acometida trifásica que demanda la celda, y el permiso de la Secretaría de Salud, ya que existen determinadas áreas donde las señales de RF pueden afectar instalaciones médicas.

2. Instalación del contenedor y la torre.

La instalación del contenedor y la torre tiene que ver en gran medida con la reglamentación del uso de suelo ya que por tratarse de un inmueble de uso industrial, se deben regular los permisos para la instalación de estos por tratarse de una obra civil. Por tal motivo se requiere del apoyo de ingenieros civiles y arquitectos para la realización de la obra y edificación de los cimientos y guarniciones de la torre y el contenedor para una buena adecuación en la implementación del sitio, las áreas deben estar bien resguardadas, considerando las normas de seguridad establecidas por el Reglamento de Construcciones vigente. La realización de la obra requiere de tiempos críticos y concretarse en el menor tiempo posible establecido por el Departamento de Ingeniería, el cual determina los tiempos y movimientos en el proceso de implementación del sitio celular. Las Figuras. 4.6 y 4.7 ejemplifican el contenedor perfectamente aislado para evitar el intercambio de temperatura y la afectación del medio ambiente, y la torre que se utilizan en la instalación de sitios celulares:

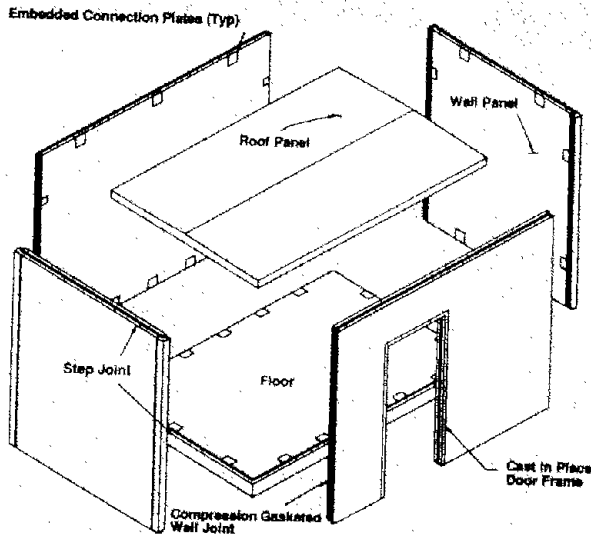


Fig. 4.6 Contenedor del equipo celular.

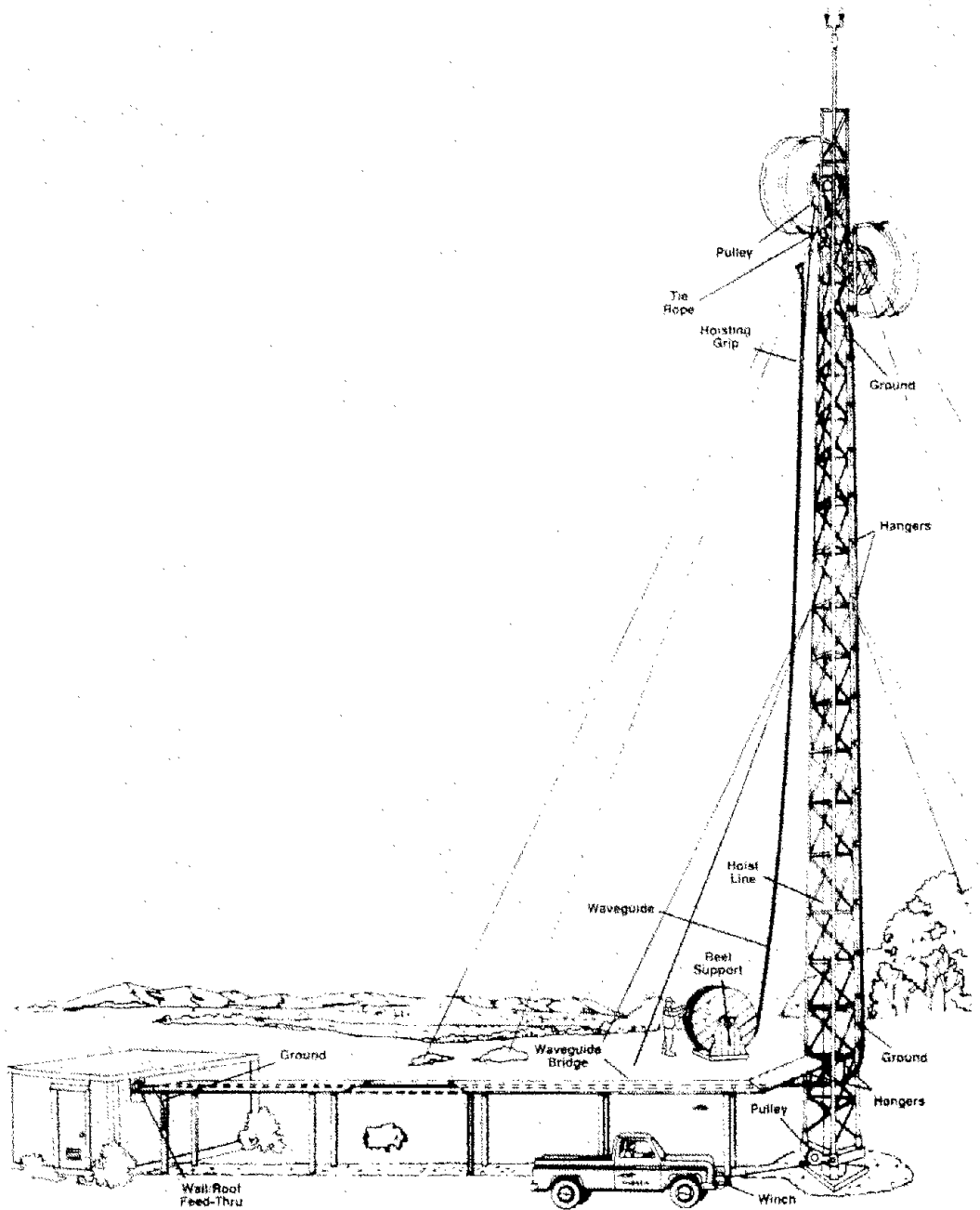


Fig. 4.7 Torre y contenedor del equipo celular.

3. Instalación de la planta de poder y sistema de aire acondicionado.

La planta de poder y el sistema de aire acondicionado son factores determinantes en la operación del sitio celular. Con lo que respecta a la planta de poder, ésta se debe encargar de suministrar permanentemente energía eléctrica a la celda, así como también la adecuada regulación de voltaje y la conversión de AC-DC y DC-DC que los dispositivos de hardware requieren, es decir sus voltajes de operación bien regulados así como también la in-interrupción del suministro de energía eléctrica, considerado dentro de un sistema de soporte como puede ser un banco de baterías para el caso en que se interrumpa el suministro de energía por parte de la CFE en un periodo no mayor de 5 horas, en caso contrario se debe tener la infraestructura para conectar plantas generadoras móviles que suministren la energía durante periodos de tiempo muy prolongados a falta del suministro por parte de la CFE.

El sistema de suministro de energía eléctrica debe ser capaz de satisfacer la demanda requerida a futuro por el sitio celular, ya que este puede expandirse a corto plazo y se debe considerar un número suficiente de convertidores que satisfagan dicha demanda, también debe contar con un sistema de alarmas local y remoto para el monitoreo y control del suministro in-interrumpido de energía ya que esto ayuda a prever posibles fallas en el suministro y hacer las correcciones necesarias que eviten las caídas de voltaje que puedan afectar la operación de dispositivos ó todo el sistema que compone al sitio celular. Este sistema debe contar con todos los elementos establecidos por la normatividad que regula a los dispositivos eléctrico-electrónicos utilizados en el suministro de energía a los componentes del sitio celular, así como también los sistemas de protección, monitoreo y alarmas.

Con lo que respecta al sistema de aire acondicionado, este es de vital importancia pues los dispositivos de Hardware requieren de una temperatura adecuada para su operación óptima, en caso contrario, al no tener un buen control en la temperatura interna del sitio se pueden sobrecalentar los equipos que redundan en un mal desempeño del sitio celular por sobrecalentamiento de los transmisores y otros dispositivos y, en consecuencia, daño al equipo celular y caída en las llamadas

originadas en dicho sitio. También el equipo de aire acondicionado debe contar con un sistema de alarmas locales y remotas para el monitoreo y control de temperatura del sitio celular que garanticen una operación óptima mediante una temperatura adecuada en el contenedor, la cual es establecida por los fabricantes de los equipos celulares.

En la actualidad existe una gran variedad de rectificadores modulares de sitios celulares, empleados para el suministro de energía. Para ejemplificar esto, se ha recurrido al equipo modular empleado por Northern Telecom. El cual da una idea de la Configuración de los equipos de potencia empleados en cualquier sitio celular, dado que son muy parecidos unos de otros, con la característica principal de modularidad, espacio reducido y bajo consumo de energía con sus respectivos dispositivos de control, monitoreo y alarmas. Ver Figura 4.8.

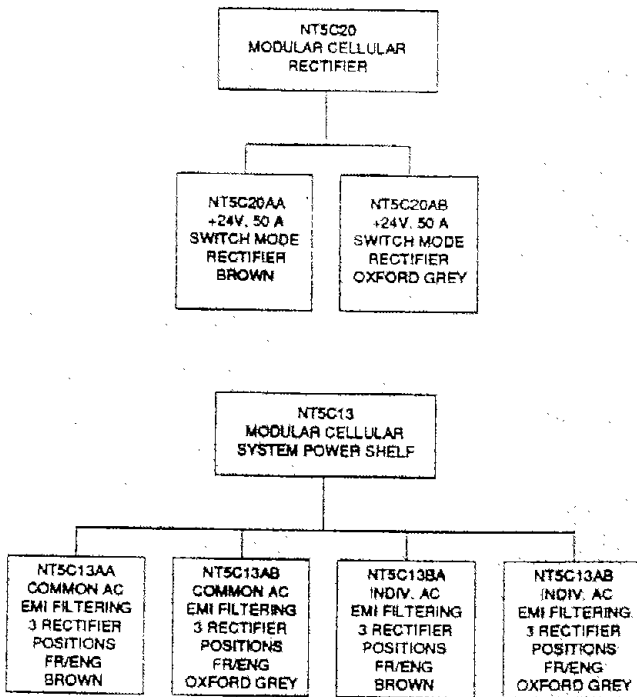


Fig. 4.8 Rectificador modular.

4. Instalación de los compartimientos y estructuras para el Hardware, cableado estructurado, y líneas de transmisión.

La instalación de compartimientos ('Racks'), camas, herrajes, soportes, y todo lo que son gabinetes y elementos de metal-mecánica, empleados para fijar los elementos ó dispositivos que componen el sitio celular, también se norman mediante un procedimiento estructurado, con el objetivo de realizar una instalación óptima y funcional con propósitos de protección, mantenimiento, expansión y manipulación de los elementos de hardware. Como el Hardware empleado en sitios celulares se rige bajo el concepto de modularidad, los gabinetes ó compartimientos deben ser adaptables ó intercambiables y cumplir con las normas establecidas por los comités encargados de regular los estándares empleados en los equipos celulares, ya que ésta es la tendencia en el estado del arte de los avances en tecnología de los elementos de hardware del sitio celular, cuya característica principal es la de reducir el tamaño en los equipos con la finalidad de hacer sitios más pequeños con la ventaja de ocupar áreas geográficas más reducidas.

5. Instalación de antenas y líneas de transmisión.

La instalación de antenas y líneas de transmisión se basa previamente en el trabajo desarrollado en los departamentos de ingeniería y desarrollo que establece los parámetros y criterios de selección y alineación de antenas y líneas, los cuales van acordes con los requerimientos establecidos por el sistema al demandar la creación de un nuevo sitio celular que satisfaga la demanda y la calidad en el servicio.

En el caso de sistemas ó redes de telefonía celular, donde los enlaces entre celdas y la central telefónica se lleva a cabo por medio de dispositivos de microondas, donde la elección de la antena requerida considera la máxima capacidad requerida por el sitio celular, con el número máximo de canales de voz que la celda pueda soportar, ya que la capacidad en el enlace depende del tamaño de la antena, involucrando distancias, alturas, y orientación en la instalación de la antena para la transmisión de información y polaridad en el enlace que permita el número máximo de canales que se

puedan transmitir. La consideración del tamaño del tamaño de la antena 'Horn' es importante ya que para fines de instalación el tamaño es un factor primordial pues cuando se presentan antenas de gran tamaño, la instalación puede ser un tanto complicada por la característica de tamaño y peso que dificulta la maniobra en la instalación y orientación.

En el caso de las antenas celulares omnidireccionales no existe tanta complejidad como el caso de las antenas direccionales, ya que al seleccionar la antena, el ingeniero en RF considera que cobertura de RF se necesita, así como las características que necesita el sistema. Hay diversas características que abarcan las antenas celulares en el proceso de implementación:

- Ganancia y Directividad
- Diagrama de radiación del Haz
- Ancho del Haz
- Polarización
- Recepción de Diversidad

La ganancia caracteriza la capacidad de la antena para conectar las ondas de RF. En áreas rurales, se necesitan antenas que tengan alta ganancia con el propósito de que abarquen grandes áreas de servicio. En áreas urbanas, se utilizan las antenas de alta ganancia para concentrar la energía de RF en la dirección adecuada, considerando la probabilidad de que haya interferencia.

Cuando se trata de calcular la ganancia de la antena, obviamente habrá una gran diferencia debido al gran número de tipos de antenas.

Se debe tener una forma eficaz de comparar los diferentes tipos de antenas, y la forma más fácil de lograrlo es comparándolas todas con algún punto de referencia fijo conocido. Ya que la antena isotrópica es la que radía por igual en todas direcciones, puede utilizarse como referencia para establecer la comparación de la eficacia de todas las antenas direccionales. La utilidad de las antenas direccionales en sitios celulares es

la de concentrar las ondas electromagnéticas en una dirección, ya que pueden alcanzar la misma intensidad de campo de 1 mW a un kilómetro de distancia, y únicamente se necesita suministrar 1 W. De potencia a la antena, esto significa que la antena enviará una señal 1000 veces mayor, o 30 decibelios mayor que una antena isotrópica que se alimenta del mismo transmisor. Este valor puede compararse con otros valores dados por otras antenas direccionales, y mientras más altos los resultados mejores serán las propiedades direccionales de la antena ya que la ganancia es el resultado de la concentración de energía en una dirección específica. La ganancia que alcanza la antena es proporcional al tamaño o área de la antena; es decir mientras más grande sea la antena, más cantidad del haz transmitido podrá capturar y luego pasarlo a un receptor. Es más la ganancia será inversamente proporcional a la longitud de onda de la señal del receptor; es decir, a medida que disminuye la longitud de onda, aumenta la ganancia.

A fin de explicar mejor este concepto, debemos primero considerar que si la longitud de onda ha disminuido, entonces la frecuencia habrá aumentado; si la frecuencia ha aumentado, nuestra antena receptora estará capturando ahora más ciclos y, por lo tanto, recibirá más energía en una unidad de tiempo dada.

Mientras mayor sea el área de la antena y más corta la longitud de onda, mejor será la ganancia. Igualmente, mientras más grande sea el tamaño de una antena transmisora, mejor será la directividad de la antena, más alta será la frecuencia y más energía se transmitirá en una unidad de tiempo dado.

La ganancia sitúa la energía donde se requiere. Si se desea enviar una señal a un área en particular, lo único que se necesita hacer es transmitir la señal hacia esa área. La ganancia y el ángulo de cobertura pueden oponerse uno a otro. Para aumentar la ganancia de la antena, debe reducirse el ángulo de cobertura. Los ángulos estrechos (de 45 grados a 1 grado), tienen una ganancia más alta ya que hay más concentración de potencia.

Las antenas que se utilizan en un sistema celular tienen características de diseño singulares para proporcionar la transmisión adecuada en toda la arquitectura del sistema y el medio físico en el cual se utilizan las antenas:

- Dipolo
- Antena colineal
- Direccional
- Antena parásita
- Reflector de esquina
- Cuarto de onda con plano con conexión a tierra
- Alimentación de cristal pasante

Las antenas se caracterizan por su diagrama de radiación vertical y horizontal, ganancia, ancho de banda, peso, tamaño, estética y costo. A continuación aparece una lista de las antenas utilizadas en los diseños de los sistemas celulares.

Antena	Fabricante	Ancho de haz Horizontal (grado)	Ancho de Haz Vertical (grado)	Ganancia (dB)
SRL 480	Sinclair	Omni	5	10
BCD80010N6	Antel	Omni	6	10
SRL410C9 14	Sinclair	220	8	11
SRL410C9R130	Sinclair	130	8	13
LPD7905/4	Antel	92	15	11
LPD7907/4	Antel	80	14	13
LPD7908/4	Antel	60	14	14
ALP6011	Algon	60	28	11
ALP4512	Algon	45	23	12

Tabla 4.7 Antenas utilizadas en el diseño de sitios celulares.

Un sistema celular típico se muestra en la Figura 4.9.

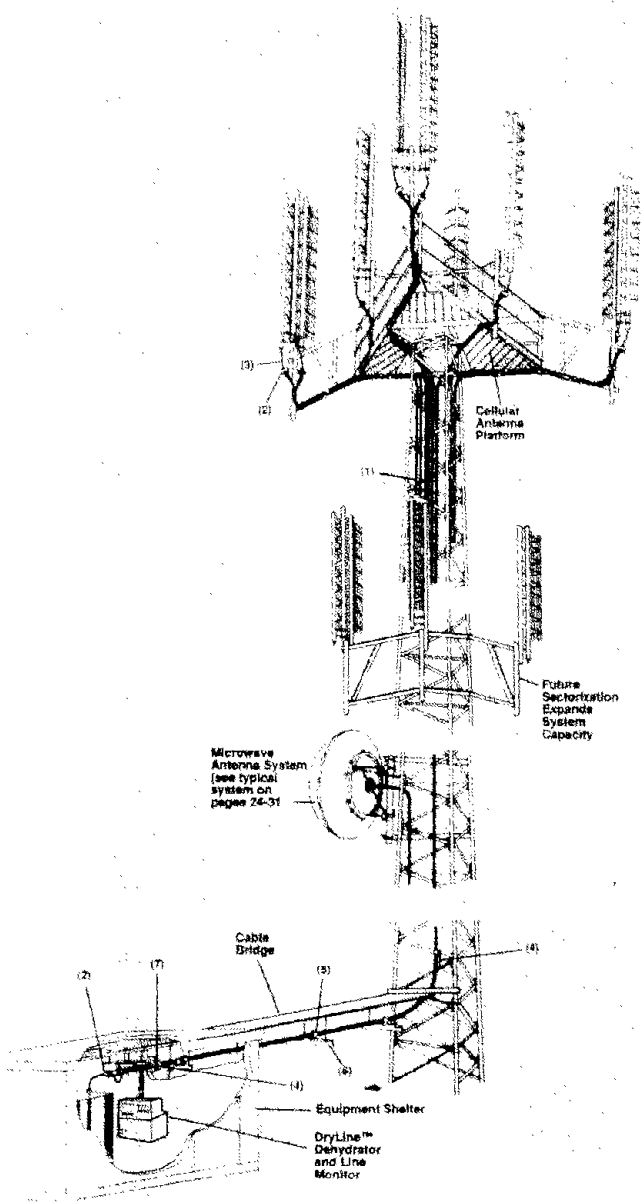


Fig. 4.9 Elementos principales de un sitio celular.

6. Instalación del Equipo de enlace.

El equipo utilizado para enlazar a los sitios celulares con la central de conmutación (Compañía de telefonía celular X) y la central telefónica pública (TELMEX), puede ser un sistema de microondas, fibra óptica o satelital.

Por lo general los enlaces en redes de telefonía celular son sistemas de microondas digitales y fibra óptica como es el caso de TELCEL.

En este punto se hará referencia a enlaces que emplean sistemas de microondas como es el caso de IUSACEL, cuya red celular se compone principalmente de dispositivos de microondas digitales empleados para la transmisión de información de cada sitio celular a las centrales telefónicas.

La instalación del equipo de microondas comprende los siguientes puntos:

- Antenas
- Guías de onda
- Cables coaxiales
- Planeación del sistema

La elección del equipo de microondas depende de la máxima capacidad de canales de voz que pueda soportar el sitio celular. Por lo general se emplean equipos de microondas para aplicaciones en telefonía digital con las siguientes capacidades:

* Radio 4/8 DS1	6.57/12.88 Mbps
* Radio DS3	44.736 Mbps
* Radio 4E1/8E1	8.76/17.26 Mbps
* Radio CEPT3	34.368 Mbps

Tabla 4.8 Capacidad de canales de voz para diferentes radios digitales.

Como se ha comentado anteriormente, en el diseño y la implementación de los sitios celulares, se deben contemplar mejoras a futuro ya que se trata de sistemas en expansión por lo que la capacidad de los equipos instalados debe tener redundancias con el objeto de que ésta sea utilizada para futuras aplicaciones. Por tal motivo se instalan dispositivos de microondas sobrados en capacidad pues en el diseño del sistema se toman prevenciones a futuro por motivos de expansión de la red celular y crecimiento en el número de usuarios y servicios, que demandarán equipos de mayor capacidad en la transmisión de información.

Para ejemplificar de manera general los equipos empleados en la implementación de los enlaces de los sitios celulares se hará referencia al equipo empleado por la red celular de IUSACEL que emplea un sistema de microondas digitales fabricado por la firma Microwave Networks, con la intención de partir de un caso particular que pueda dar un panorama general que ilustre los equipos empleados para la implementación del enlace de microondas, por lo general de gran variedad de fabricantes bajo un común denominador establecido por la normatividad aplicada al diseño y comercialización de estos equipos, para que haya compatibilidad entre esa gran diversidad de sistemas de acceso celular.

El radio digital de 23 Ghz, 4E1/8E1 de Microwave Networks ofrece transmisión de línea visual directa y Duplex completo de cuatro u ocho señales de datos E1 simultáneos, ver la Figura 4.10

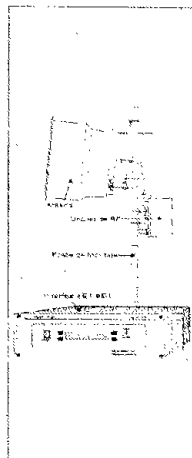


Fig. 4.10 Radio Digital.

El código de línea emplea una substitución Bipolar de 3-ceros de alta densidad. Una instalación de terminal Básica consiste en una interfaz modelo 4348, unidad de RF de 23 Ghz que contiene un transmisor y un receptor modular, y una antena. La interfaz de modelo 4348 va montada bajo el techo en un bastidor de equipo E1A de 19 pulgadas de ancho. La antena y la unidad de RF, a prueba de intemperie, van montadas una cerca de la otra a la intemperie, generalmente en un poste de metal conectado a tierra. La antena estándar es un disco parabólico clase A de 0.8 metros (30 in) que ofrece una ganancia de centro de banda de 39.0 dBi (nominal). La firma Microwave tiene disponible antenas que ofrecen una gran variedad de ganancias.

El sistema de administración de redes modelo 4000 (Network Management System 'NMS' en inglés) está incluido con la interfaz 4348. El NMS permite observación y control de enlace desde cualquier terminal equipada de NMS modelo 400. Para poder operar el NMS modelo 4000, el sistema entero tendrá que equiparse con las unidades equipadas del NMs modelo 4000.

La interfaz modelo 4348 se ofrece configurada de la siguiente Manera:

- 4E1 únicamente, con un ancho de banda de 7 Mhz, designada como 4E1. Esta Configuración se puede mejorar reemplazando tarjetas. Sin embargo se deben consultar a las agencias reguladoras antes de realizar cualquier mejoramiento de banda angosta a banda ancha.
- 8E1-4, componentes de ancho de banda de 14 Mhz para cuatro canales E1. Un 8E1-4 puede mejorarse a la siguiente Configuración reemplazando tarjetas.
- 8E1-8, complemento completo de componentes de ancho de banda de 14 Mhz para 8 canales E1.
- Cada una de las unidades mencionadas está disponible como sistemas con ó sin protección.

La Configuración 4E1 puede mejorarse a una Configuración 8E1-4 u 8E1-8 y la Configuración 8E1-4 puede mejorarse a 8E1-8 en el campo agregando o reemplazando tarjetas.

La Figura 4.11 muestra la instalación típica. Cada emplazamiento tiene un transmisor y un receptor, si se quiere un sistema redundante o con protección se instalan dos transmisores y dos receptores.

El transmisor en el emplazamiento 1 transmite al receptor en el emplazamiento 2, y el transmisor en el emplazamiento 2 transmite al receptor en el emplazamiento 1. La sintonización de cada par de transmisor/receptor a una frecuencia diferente permite la transmisión simultánea en ambas direcciones.

Transmisión.

- Una interfaz modelo 4348 en la Configuración 4E1 (de banda angosta) recibe hasta cuatro señales E1 de 2.048 Mbps. La interfaz multiplexa estas señales para producir una señal de 8.502 Mbps. Luego, la interfaz inyecta una línea de servicio y datos RS-232/RS-485 para producir una señal de 8.76 Mbps.
- Una interfaz modelo 4348 en la Configuración 8E1-4 (de banda ancha) también recibe hasta cuatro señales E1 de 2.048 Mbps. La interfaz multiplexa estas señales para producir una señal de 17.002 Mbps. Luego, la interfaz inyecta una línea de servicio y datos RS-232/RS-485 para producir una señal de 17.002 Mbps.
- Una interfaz modelo 4348 en la Configuración 8E1-8 recibe hasta ocho señales E1, las convierte en una señal independiente a 17.002 Mbps, luego multiplexa esas señales y agrega una línea de servicio y datos RS-232/R-485 para producir una señal de 17.26 Mbps.

- Luego, cualquier interfaz codifica este flujo y aplica la señal codificada a un conversor de señales digitales a señales analógicas (D/A) y filtros de banda base para producir una señal de banda base de base pseudoaleatoria de cuatro niveles (BB OUT) (SALIDA DE BB).
- La señal BB OUT pasa al módulo del transmisor de la unidad de RF mediante el cable coaxial de 75-Ω. El módulo del transmisor contiene un sintetizador de frecuencia, un multiplicador de cavidades y un oscilador de diodo de Jun controlado por la tensión (VCO) sintonizado a la frecuencia portadora.
- La señal de banda base modula directamente al VCO. La salida del VCO viaja a través de la guía de onda múltiple de la unidad de RF. Un circulador en ese múltiple permite que los módulos del transmisor y receptor utilicen la misma antena impidiendo que la potencia del transmisor llegue al receptor, pero permitiendo que la señal recibida llegue al receptor.
- Desde el circulador la señal viaja a través de la guía de onda flexible a la antena. La antena transmisora debe tener una línea visual directa a la antena receptora.

Recepción.

- Las señales recibidas viajan a través de la misma guía de onda flexible al circulador, y luego al módulo del receptor. El receptor superheterodino mezcla la señal recibida con una señal de un oscilador local sintonizado aproximadamente 70-Mhz por debajo de la frecuencia del receptor para producir una frecuencia intermedia (nominal) de 70-Mhz (IF de 70 Mhz). Un circuito de control automático de frecuencia (AFC) en el receptor mantiene la IF en 70MHz. El receptor filtra y demodula la señal IF para producir la señal de banda base original.

- La señal de banda base viaja al conector BB IN (Entrada de BB) de la interfaz del emplazamiento del receptor a través de un cable coaxial de banda base de 75-Ω. La interfaz decodifica y demultiplexa la señal para reproducir las señales de datos E1 originales.

La Figura 4.11 ilustra un enlace típico 4E1/8E1.

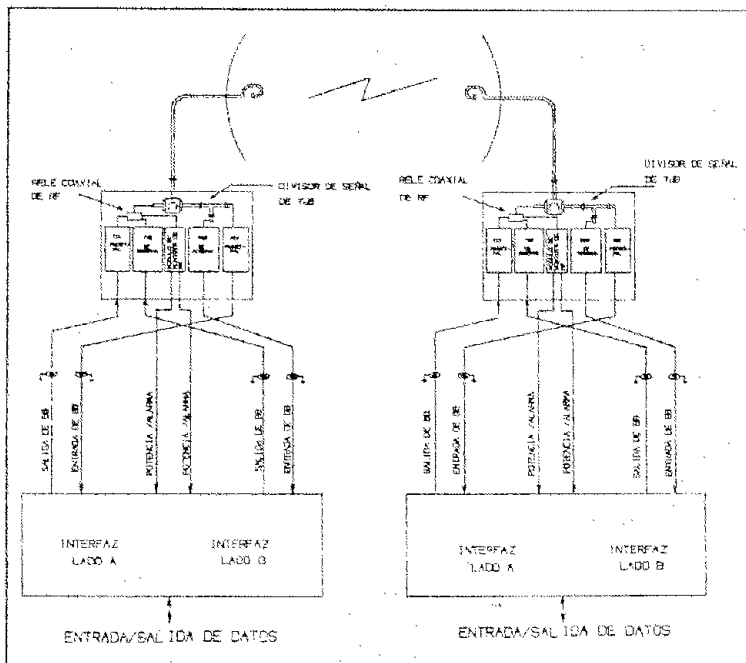


Fig. 4.11 Enlace Digital de Microondas 4E1/8E1.

7. Instalación del Hardware del sitio celular.

Una vez instalado el equipo de enlace procedemos a instalar todos los dispositivos de Hardware que componen el sitio celular tomando en cuenta que ya han sido instalados los elementos mecánicos, los cuales se componen de gabinetes bastidores y estructuras empleadas para tender el cableado estructurado, y el acomodamiento y distribución de los equipos celulares.

Para ejemplificar a los elementos que constituyen la implementación de un sitio celular o mejor conocida como estación base celular se hará referencia al equipo celular NT800DR, utilizado por la red de telefonía celular IUSACEL y manufacturados e implementados por la compañía NT. Éste es un equipo celular de segunda generación y con tendencias a la tercera generación de sistemas celulares

La instalación de los equipos no requiere de tanta complejidad ya que se trata de equipos modulares los cuales se instalan fácilmente, siempre y cuando se tomen en cuenta los procedimientos de instalación y las medidas de precaución necesarias, las cuales se indican en el manual de instalación de equipo celular editado por el fabricante.

Para generalizar, los elementos conceptuales que componen un sitio celular, se partirá de un caso particular, considerando que, por lo general, los sitios de telefonía celular se componen básicamente de cuatro módulos:

- Módulo de la interfaz
- Módulo de control y procesamiento
- Módulo de RF
- Modulo de alarmas

Se hará una breve descripción de la estación base celular NT800DR:

La estación base celular Northern Telecom. 800 Digital Ready (NT800DR) está diseñada para manejar tanto operaciones analógicas como digitales.

Está compuesta de uno o dos bastidores de CE (Equipo común) y uno o más bastidores de RF. La Figura 4.12 muestra la estación base celular NT800DR configurada con ambos bastidores CE (el CE01 y el CE02). La cantidad de bastidores CE y RF necesarios en la estación base celular depende de la Configuración de la célula y de la capacidad de RF que desea la compañía operadora.

Los equipos comunes que hay en la estación base celular incluyen los de control, prueba e interfaz. Los equipos de RF incluyen las unidades radiales, los duplexores y los combinadores transmisores.

Los equipos de la estación base celular NT800DR son compatibles con los transceptores para estaciones base (BST) de Northern Telecom. Y las radio unidades de doble modo (DRU) de NT. Una estación base celular NT800DR puede configurarse con BST solamente, con DRU solamente o con una mezcla de BST y DRU. El diseño de la CE está preparado también para funcionamiento digital; por consiguiente en el bastidor de RF se permite que las funciones analógicas y digitales de la estación base celular coexistan.

La DRU ofrece flexibilidad por parte de los proveedores del servicio celular mientras se actualiza la tecnología analógica a la digital. La DRU funciona en la modalidad analógica o en la digital. El BST funciona solamente en la analógica. A medida que aumenta la necesidad de calidad y capacidad por parte del proveedor del servicio, pueden agregarse DRU's para que funcionen junto con los BST o para que los reemplacen.

Los bastidores CE en una estación de base celular NT800DR contienen los equipos de control, prueba e interfaz. Según la Configuración de la célula. Normalmente se instalan uno o dos bastidores de CE. La Figura 4.12 muestra tanto el bastidor CE01 como el CE02.

Panel de la Interfaz	Panel de la Interfaz	Panel de la Interfaz	Panel de la Interfaz
DRUM	Duplexor 1 *	Duplexor	Duplexor
Unidad de Control de Alarmas	Duplexor 2 *	Amplificadores de Potencia	Amplificadores de Potencia
HSMO	Estante de Control Global y Localización *	Transceptores	Transceptores
Monitor de la Estación Base Celular	Multiacopladores de Recepción **	Amplificadores de Potencia	Amplificadores de Potencia
Multiacopladores de Recepción		Combinadores de Transmisión	Combinadores de Transmisión
RCMI	No Utilizado	Amplificadores de Potencia	Amplificadores de Potencia
Módulo Celular Integrado a Distancia		Transceptores	Transceptores
		Amplificadores de Potencia	Amplificadores de Potencia
		Amplificadores de Potencia	Amplificadores de Potencia

Bastidor 1 de los Equipos Comunes (CE01)	Bastidor 2 de los Equipos Comunes (CE02)	Bastidor de Radiofrecuencia (RF)	Bastidor de Radiofrecuencia (RF)
--	--	----------------------------------	----------------------------------

Leyenda

DRUM Monitor de la Radiounidad de Doble Mod
HSMO Oscilador Maestro de Alta Estabilidad
RCMI Interfaz del Multiplexor Celular a Distancia

- * Solamente configuraciones de Recepción y Transmisión sectorizadas OMNI (OTSR)
- ** Sectorizado de 60 grados con diversidad de espacio solamente

Fig. 4.12 Bastidor celular CE01 y CE02.

El bastidor CE01 es necesario para todas las configuraciones de células. Contiene todos los equipos comunes de la estación base celular.

- El de la Radio unidad de doble modo (DRUM) es una unidad de prueba que controla las operaciones de los transceptores en la modalidad digital.
- La unidad de control de alarmas (ACU) ofrece recolección y notificación a distancia del NT800DR y las alarmas auxiliares. También proporciona salidas de control que se utilizan para activar los relees en el NT800DR o en los equipos auxiliares, incluyendo un relee coaxial que ofrece un canal de control (CCH) de respaldo.
- El oscilador maestro de alta estabilidad (HSMO) proporciona a los radios una señal de referencia de 4.8 Mhz estable tanto en hora como en temperatura.

- El monitor de la estación base celular (CSM) ofrece detección automática y manual de problemas que surgen en los radios analógicos y las DRU que funcionan en la modalidad analógica. El CSM se utiliza solamente con configuraciones de sistemas inalámbricos que contienen un Periférico Celular Inteligente (ICP).
- Los estantes del Multiacoplador Receptor (RMC) distribuyen las señales de las antenas a los estantes del transceptor.
- La interfaz del Multiplexor Celular a Distancia (RCMI) es un multiplexor estadístico que proporciona el encaminamiento de las señales de radio, al CSM o a la ACU especificados, y convierte el canal D LAP de 56kb/s en el MLQ RS-232 de 2400 Baudios. Multiplexa los portillos RS-232 múltiples en un solo enlace LAPD V.35.
- El Módulo Celular Integrado a Distancia (ICRM) ofrece una interfaz entre las unidades radiales y el ICP. También multiplexa los circuitos para los flujos digitales a DRU individuales, así como funciones de multiplexión de paquetes para los mensajes de control que porta uno de los canales DS0 del enlace DS1, y desempeña funciones comunes para los DRU.

Se necesita el bastidor CE02 además del CE01 para las configuraciones de células de 60 grados de Transmisión y Recepción Sectorizadas (STSR) para ofrecer espacio de montaje para tres estantes RMC adicionales. También se necesita el bastidor CE02 para el Receptor de Transmisión Sectorizada Omni (OTSR) de 120 grados y configuraciones OTSR de 60 grados para ofrecer el montaje para el Control Global y el estante de localización y para los duplexores. Para todas las demás configuraciones de células, no se necesita el bastidor CE02.

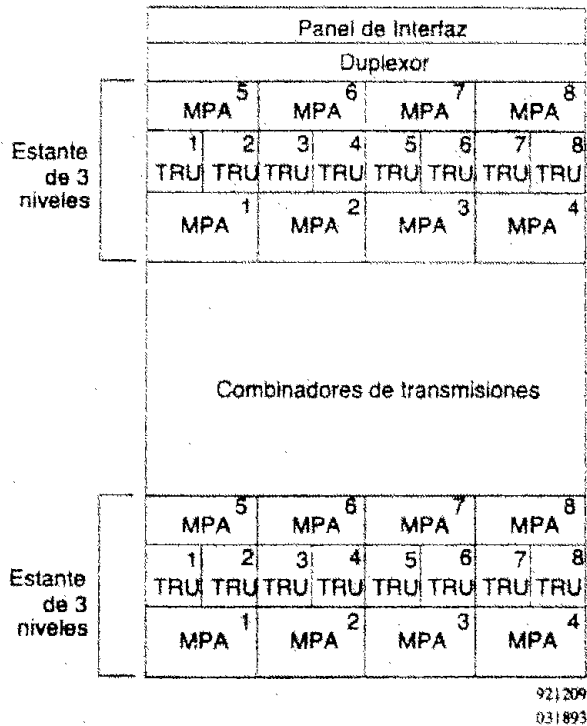
Trama de RF.

La principal aplicación de la trama de RF es posibilitar la transmisión y la recepción de radiofrecuencias. Cada trama de RF puede estar equipada hasta con 16 canales. Cada estación base celular requiere de una trama de RF como mínimo.

El bastidor de RF (Figura 4.13) hace la interfaz entre el DMS-MTX y la unidad móvil del abonado. En un bastidor de RF se incluyen los siguientes equipos:

- Panel de Interfaz del Estante de RF (RIP) usado como el punto de conexión para todos los circuitos de audio, de datos y de alarma con los equipos de la estación base celular. Sirve de punto común para la instalación de cables entre los bastidores.
- El duplexor permite, tanto la transmisión como la recepción de señales de RF a través de una antena de banda ancha.
- El transceptor (XCVR) es un radio de base celular totalmente duplexado y es componente clave de la Estación base celular. Uno o dos estantes de transceptores se pueden ubicar en cada bastidor de RF. Cada estante de transceptor puede alojar hasta ocho transceptores.
- El amplificador de potencia (PA) lleva la salida de la señal modulada RF desde el transceptor y la amplifica en un nivel ajustable que va de 7 a 45 Watts. Se necesita un amplificador de potencia para cada transreceptor que se utiliza en la estación base celular.
- El combinador de transmisiones coloca la salida de hasta cuatro amplificadores de potencia en una sola señal de RF. Cada bastidor de RF puede estar equipado con hasta cuatro combinadores de cuatro señales interconectadas para formar un combinador de 16 canales.

La Figura 4.13 muestra un bastidor de RF totalmente configurado.



MPA Amplificador de Potencia Moduladora
TRU Unidad de Transmisión/Recepción

Fig. 4.13 Bastidor de RF.

Por último el Transceptor de Estación Base Celular (BST)/Configuración superpuesta DRU de estación base celular.

El módulo Celular Integrado a Distancia (ICRM) le permite a los transceptores de estación base celular de Northern Telecom. (BST) estar configurados con las Radio-unidades de modo dual (DRU) en la misma estación base celular. La Figura 4.14 muestra la Configuración superpuesta BST/DRU. Las DRU hacen interfaz con el ICRM a través del Portillo Digital de Módulo a Distancia (RMDP) por los enlaces de múltiplex de compresión de tiempos (TCM). Las BST hacen interfaz con el ICRM a través del

Portillo de Radio de Módulo a Distancia (RMRP) por enlaces RS-232 o a través de un banco de canal existente y una Interfaz del Multiplexor Celular a Distancia (RCMI).

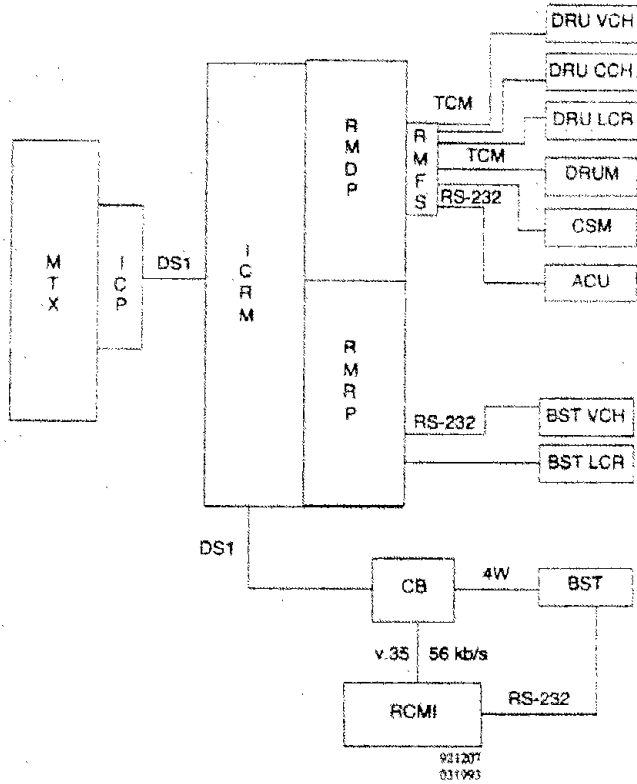


Fig. 4.14 Configuración superpuesta BST/DRU.

4.5 PRUEBAS DE HARDWARE AL EQUIPO DEL SITIO CELULAR.

Los puntos 8,9,10 y 11 mencionados anteriormente como los pasos a seguir en la implementación de la celda, consideran lo que son las pruebas realizadas al equipo celular y el de enlace, tal procedimiento se describirá brevemente enunciando los puntos principales en el procedimiento de pruebas ya que en el siguiente capítulo se describirá con detalle el procedimiento en las pruebas y optimización del equipo celular y de enlace ya que es el mismo que se emplea tanto en la implementación y puesta en

servicio de un nuevo sitio celular, así como también el mantenimiento preventivo y correctivo de sitios que operan en forma permanente.

Principalmente el procedimiento de pruebas de mantenimiento básicamente se divide en tres partes:

- Pruebas al equipo celular
- Pruebas al equipo de enlace
- Pruebas al equipo de potencia

Pruebas del equipo celular

- Pruebas del ICRM desde una terminal Remota del MAP (Maintenance and Administrative Position).
- Pruebas al oscilador Maestro.
- Pruebas al combinador de RF y optimización de cavidades.
- Pruebas de transmisión del DRU en modo analógico y ajuste de potencia.
- Pruebas de Recepción del DRU en modo analógico.
- Pruebas de 'Bit Error Rate' (VER) utilizando el DRUM.
- Pruebas de antenas y líneas de transmisión del sitio celular.

Pruebas de equipo de Enlace

En este caso se tienen dos procedimientos diferentes, uno corresponde a pruebas del equipo de microondas y las otras a enlaces de fibra óptica.

Pruebas al equipo de microondas:

- Prueba de las fuentes de poder de la interfase y los radios.
- Medición de los voltajes de RF y niveles de ojo.
- Lógica de conmutación y medición de BER.
- Verificación de humedad en cables de banda base.

Para el caso de enlace por fibra óptica se miden los parámetros de desempeño:

- Rango Dinámico
- Zona muerta
- Precisión a distancia
- OTDR largo alcance
- OTDR corto alcance

Pruebas al equipo de potencia

- Medición y ajuste de voltaje y corriente de los convertidores de AC-DC
- Medición y ajuste de voltaje y corriente de los convertidores DC-DC
- Medición de voltajes al banco de baterías de respaldo.

4.6 PUESTA EN SERVICIO.

Se recomienda que la puesta en servicio se realice en horario nocturno para evitar problemas en el servicio a usuarios ya que si surgen problemas en la puesta en servicio estos pueden afectar el desempeño de sitios aledaños a la nueva celda lo que se ve reflejado en pérdida y bloqueo de llamadas originadas y establecidas.

La puesta en servicio se realiza de manera conjunta entre el sitio celular y el MTX donde se realiza la programación del arreglo de las tablas de datos que va a caracterizar al sitio celular ya que intervienen parámetros como son la asignación de grupo de frecuencias, número de canales habilitados y no habilitados, señalización y sectorización.

Para sistemas en áreas geográficas pequeñas (menores de 1Km de radio) la Configuración se basa en el radio de la celda. En otras palabras todas las celdas idealizadas en forma hexagonal tienen la misma área. En sistemas muy grandes se tienen tres diferentes tamaños de celda.

Cuando el área de cobertura es grande, las características de propagación de RF pueden tener variaciones significativas cuando no se tiene un valor apropiado en el área de cobertura de una celda con respecto a otra.

Una vez puesto en servicio el sitio celular se procede a la optimización mediante las pruebas de cobertura para así evaluar el desempeño del sitio y hacer las correcciones necesarias como pueden ser el aumento o disminución de los niveles de potencia radiada mediante el ajuste de potencia en los amplificadores de RF, y la reorientación de las antenas en caso necesario.

CAPITULO V

MANTENIMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE CELDAS DE TELEFONÍA CELULAR

5.1 Procedimiento y realización de pruebas en sitios celulares para su mantenimiento y optimización

En este capítulo se describirá con detalle el mantenimiento y la optimización de sitios celulares.

Es importante tener un amplio conocimiento en lo que respecta a los fundamentos de telefonía celular, incluyendo el Hardware empleado para este propósito ya que para la realización de pruebas a equipo celular, el amplio conocimiento del funcionamiento del Hardware es importante pues disminuye el tiempo dedicado a la detección de fallas en el sistema, esto quiere decir que se deben tener conocimientos en circuitos de RF, Interfaces y Sistemas Digitales para el procesamiento de señales ya que este conocimiento nos permite realizar procedimientos bien estructurados para el mantenimiento correctivo y preventivo del sitio celular, por tal motivo se ha considerado en capítulos anteriores el aspecto teórico considerado como herramienta fundamental para comprender la estructura y funcionamiento de un sistema celular real desde el punto de vista operativo.

Los fabricantes de equipo celular tienen establecidos sus procedimientos de mantenimiento y prueba a sus equipos, sin embargo la labor del ingeniero es optimizar la capacidad del sistema haciendo referencia a estos procedimientos con el propósito de tener una plataforma de partida tomando en cuenta que éstos sólo nos ayudan como punto de referencia para el proceso de operación, evaluación, administración y optimización de los sitios celulares. El ingeniero tiene como labor fundamental el aprovechar estos recursos para el buen desempeño del sistema, así como también, crear los antecedentes y los propios procedimientos más acordes a la realidad de los sistemas existentes en el país. Con el registro de estos procedimientos se dan las bases sólidas para los futuros desarrollos, acordes a la planeación de sistemas inalámbricos.

El procedimiento de mantenimiento y optimización consiste en una serie de pasos que someten a prueba al equipo celular, y como ya se ha comentado anteriormente, los fabricantes son los encargados de elaborar los procedimientos de prueba, los cuales consisten en un método sistematizado para la evaluación de los dispositivos y corrección de fallas, mediante un enfoque totalmente tecnificado que no debe considerar los aspectos teóricos de alto nivel de complejidad, si no todo lo contrario, ya que dicha metodología se da con el objeto de que el personal técnico calificado pueda interpretar y aplicar fácilmente los procedimientos, sin necesidad de profundizar con mucho detalle en el diseño del equipo celular, ya que únicamente para fines prácticos, sólo se deben evaluar los parámetros de funcionamiento y operación desde el punto de vista modular o caja negra, pues los registros de los resultados obtenidos en las pruebas van dirigidos a los departamentos de ingeniería para su evaluación y análisis, con el objeto de formar criterios bien definidos para la toma de decisiones en la solución de problemas de Ingeniería de sistemas celulares.

Para ejemplificar el procedimiento de mantenimiento y optimización nuevamente se hará referencia al equipo celular NT800DR como caso particular que puede generalizarse; el sistema es muy ilustrativo por estar formado de módulos discretos, los cuales son elementos fundamentales en la composición del sitio celular y no difieren mucho tanto en dispositivos, funcionamiento y mantenimiento de otros equipos manufacturados por otros fabricantes como pueden ser Ericsson, Motorola, ICOM, MATRA NT, GE AT & T etc.

En el primer capítulo ya se había hecho mención del equipo de medición empleado para la prueba de celdas de telefonía celular, en este capítulo se hará una mención más detallada del manejo, operación y selección del equipo básico empleado para la realización de pruebas a sitios celulares, no se considerarán la totalidad de pruebas y equipos empleados para este fin ya que el objetivo de esta tesis es establecer los procedimientos de prueba para formar criterios en la forma de cómo se va a operar y administrar la red de manera óptima, aportando un enfoque ingenieril con miras a desarrollos futuros; Por consiguiente, únicamente se hará una descripción detallada de los equipos indispensables para la realización de pruebas y no de la amplia gama de equipos y pruebas, los cuales no sería posible considerar en esta tesis por la

gran diversidad de equipos y fabricantes. Se considerarán aspectos como el costo la eficacia, precisión, exactitud, peso, maniobrabilidad, fácil manejo, resistencia a condiciones extremas como son el medio ambiente y el uso rudo, la calibración y otros factores que influyen en el desempeño del equipo de medición.

Para la realización de pruebas y optimización del equipo celular fundamentalmente se requiere como mínimo el siguiente equipo de medición y prueba:

- Monitor de telecomunicaciones
- Analizador de redes
- Wáttmetro de RF
- TDR
- OTDR
- Osciloscopio
- Multímetro
- Graficador
- LAPTOP
- Generador de tonos
- Juego de cables, conectores y puentes de impedancia
- Caja de Herramientas

El monitor de Telecomunicaciones o mejor conocido en el medio celular como 'Communications Test Set' (CTS), o Cell-Site Test Set.

Este equipo de prueba es muy versátil y permite optimizar el funcionamiento de los sitios celulares, solucionando los problemas de instalación y mantenimiento de las estaciones base en la modalidad DAMPS, NAMPS, TDMA, WCDMA, GSM etc.

Además contiene un juego de Software de prueba el cual automatiza y optimiza el procedimiento de prueba, basado en las especificaciones de equipos celulares como AT & T, Ericsson, Northern Telecom. y GE. El software despliega grupos de diagramas mediante el visualizador CTR, al mismo tiempo que puede imprimir o almacenar los resultados de las pruebas.

Este equipo es uno de los más importantes en el proceso de mantenimiento y optimización, su uso es fundamental en la prueba de sitios celulares pues es muy completo en la diversidad y variedad de pruebas en materia de telecomunicaciones celulares, ya que incluye en un solo equipo una serie de módulos, empleados para la realización de una determinada prueba; es tan indispensable que sin él, se necesitaría un mayor número de equipos de medición para la realización de cada una de las pruebas. Esto quiere decir que en el equipo están contenidos varios instrumentos en forma de módulos como se muestra en la Figura 5.1.

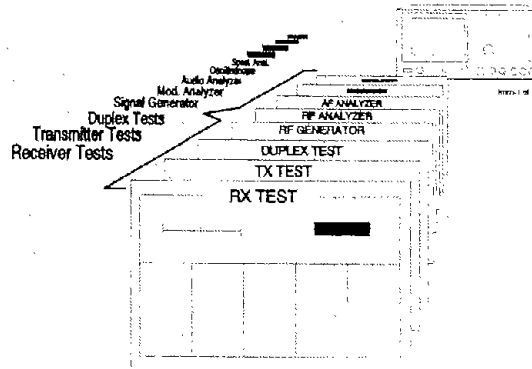


Fig. 5.1 Monitor de Telecomunicaciones.

Como se puede apreciar este equipo cuenta básicamente con las siguientes funciones:

- Pruebas de recepción
- Pruebas de transmisión
- Pruebas de comunicación 'DUPLEX'
- Generador y analizador de señales AF
- Generador y analizador de RF
- Osciloscopio
- Analizador de espectro
- Módulo para pruebas digitales
- Ranuras para la expansión de módulos utilizados en futuras aplicaciones.

Este equipo de medición realiza las siguientes pruebas al equipo celular de segunda y tercera generación:

- Prueba del MPA LED
- Verificación de la frecuencia de la portadora en Tx
- Modulación del ancho de banda
- Frecuencia del SAT
- Modulación residual
- Nivel de audio en TX
- Modulación de la Limitadora
- Sensitividad en Rx
- Línea de audio en Rx/Tx
- Generación de un tono de 1kHz en RF
- Nivel de audio en Rx
- Curva de RSSI
- Detección de SAT en Tx/Rx
- Detección de ST
- Potencia de salida del DRU MPA
- BER (Bit Error Rate)
- Verificación de llamadas TDMA/CDMA

Existe una gran variedad de marcas de Monitores de Telecomunicaciones empleados en pruebas de sitios celulares, casi todos funcionan de manera semejante salvo algunas diferencias que los caracterizan pero, básicamente todos realizan las mismas pruebas, por lo que únicamente se hará referencia en la descripción de tres de los mejores equipos de medición empleados cuya eficacia ha sido probada extensivamente en campo, los cuales son:

- El IFR 1600
- El Motorola 2600
- El HP 8921^a

El IFR 1600 es uno de los Monitores de Telecomunicaciones más utilizado en la prueba de sitios celulares de la firma NT, sin embargo no quiere decir que sea el mejor, ya que presenta algunos inconvenientes en el diseño, como son su peso y su excesivo tamaño lo que dificulta su manipulación en sitios de difícil acceso, por lo demás el equipo cumple con todos los requerimientos necesarios para el procedimiento de pruebas de equipo celular.

La Figura 5.2 muestra al monitor de comunicaciones IFR 1600 y su conexión con el equipo celular.

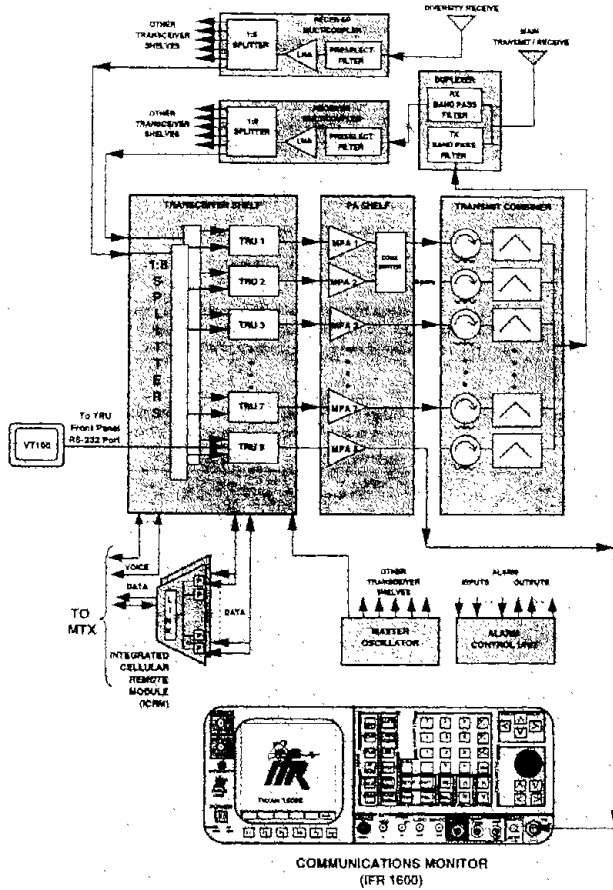


Fig. 5.2 Monitor de Telecomunicaciones IFR 1600.

El monitor de comunicaciones Motorola 2600 (Figura 5.3) es un equipo de medición muy completo de fácil manejo tanto en su operación como en su manipulación con un tamaño y peso son apropiados para el entorno celular, además de que es muy resistente en condiciones extremas de campo.

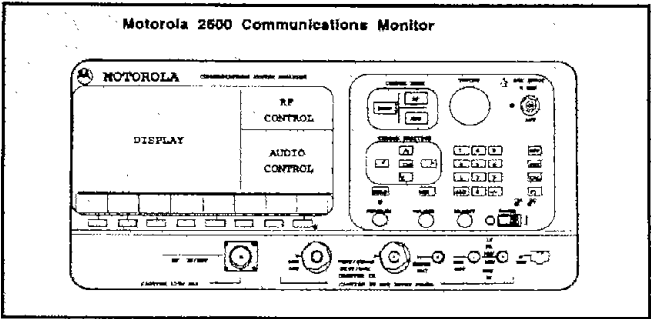


Fig. 5.3 Monitor de Telecomunicaciones MOTOROLA 2600.

Por último el monitor de telecomunicaciones HP 8921A (Figura 5.4) es un equipo muy completo, que realiza los mismos procedimientos de prueba de los equipos mencionados anteriormente además de contar con un software especializado para la realización de pruebas de equipo celular en forma automática. También realiza pruebas en modo digital, su única desventaja es que es frágil y en consecuencia no soporta el uso rudo por lo que si no se tiene el debido cuidado en su manejo y transportación es muy propenso a descalibrarse hasta el punto de sufrir daños considerables.

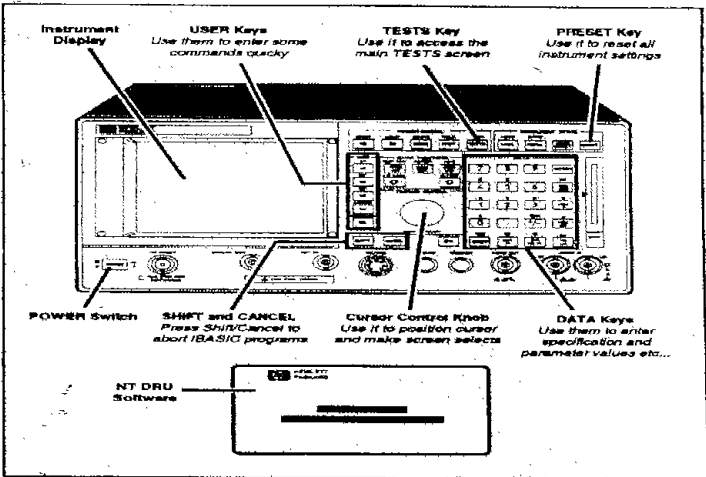


Fig. 5.4 Monitor de Telecomunicaciones HP-8921A.

Otro instrumento de medición muy empleado en el procedimiento de pruebas y optimización es el 'Network Analyzers' ó analizador de redes (Figura 5.5) el cual se utiliza ampliamente para Obtener la respuesta en frecuencia de los módulos de RF así como también la sintonización y optimización de cavidades resonantes del equipo celular de RF mediante la prueba de LOGMAC la cual consiste en generar una señal de barrido para obtener la respuesta en frecuencia de la banda de transmisión de frecuencias del sitio celular, obteniendo así la curva espectral de cada localidad de frecuencia. También realiza la prueba de carta Smith y VSWR a las antenas celulares para estimar las pérdidas por reflexión y el acoplamiento de impedancias.

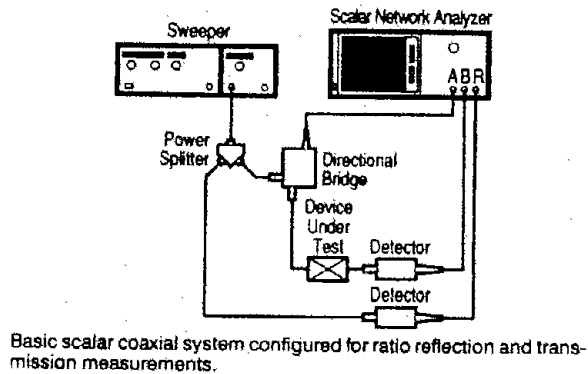


Fig. 5.5 Analizador de redes.

El Wáttmetro de RF (Figura 5.6) es un instrumento de gran utilidad para la medición y ajuste de nivel de potencia de RF. Por tratarse de un instrumento analógico su lectura no es de gran exactitud, sin embargo es muy útil para fines prácticos, por su tamaño pequeño y fácil de conectar, su utilidad se manifiesta en rutinas de mantenimiento correctivo ya que acorta los tiempos en lo que respecta a la solución de fallas en los dispositivos de transmisión.

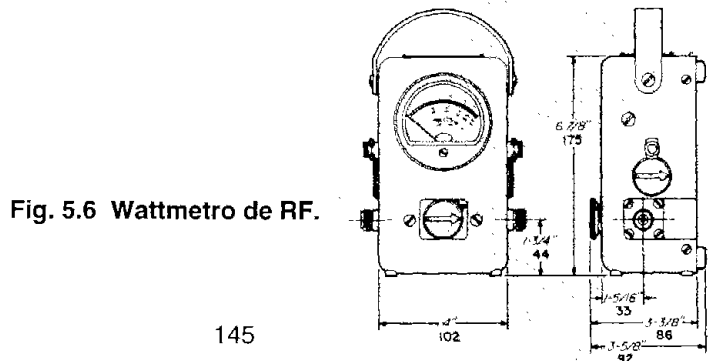


Fig. 5.6 Wattmetro de RF.

El TDR y OTDR (Figura 5.7) son equipos de medición muy empleados para las pruebas de líneas de transmisión y enlaces de fibra óptica, con el propósito de determinar distancias y cambios de impedancia.

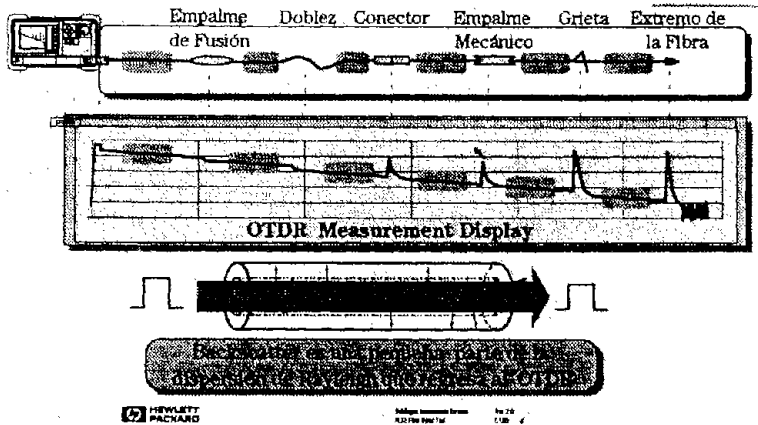


Fig. 5.7 Medición de parámetros de una sección de fibra óptica con un OTDR

También es necesario un osciloscopio para los ajustes y pruebas de los dispositivos de microondas especialmente los transmisores y receptores, pues es importante visualizar el patrón de ojo del enlace puesto, dado que es un parámetro muy importante en lo que respecta a la optimización del enlace ya que si no se tiene un patrón de ojo adecuado a las especificaciones del fabricante, se introducen altas tasas de error en el enlace.

Otros equipos empleados en el proceso de prueba y optimización son la computadora portátil ó Laptop la cual es indispensable para la realización de las pruebas, ya que para tener acceso y manipulación de la celda es necesario una terminal o, en el mejor de los casos, una computadora para entablar la comunicación entre el equipo celular y los equipos de medición.

En menor jerarquía, pero sin menospreciar su utilidad, se debe considerar el uso del multímetro, generador de tonos y gráficas para el registro de las pruebas, como ya se comentó anteriormente los monitores de telecomunicaciones también cuentan con estas funciones pero siempre es necesario contar con los equipos antes mencionados, ya que son más fáciles de conectar y operar, lo que reditúa en el ahorro de tiempo en la solución de fallas.

Una vez que se tiene todo el equipo de medición necesario y previamente calibrado, se procede a la ejecución de pruebas, realizando las conexiones necesarias a los puertos de prueba del equipo celular y el equipo de medición. Como ya se había comentado anteriormente, dado que existe una infinidad de pruebas a equipos celulares, únicamente se remitirá a hacer una descripción de las más importantes con el objetivo de ilustrar algunos procedimientos de prueba y optimización aplicado a equipos celulares, ya que estas pueden variar de acuerdo al fabricante, sin embargo en esencia son prácticamente las mismas.

Mantener al equipo celular en óptimas condiciones es de suma importancia ya que de ello depende la calidad del servicio a los usuarios de teléfonos celulares, por eso es importante establecer procedimientos de mantenimiento apropiados al desempeño del entorno celular, es por eso que el aplicar rutinas de mantenimiento correctivo y preventivo ayuda no sólo a la prevención de fallas que pueden ser considerables en el caso de presentarse condiciones muy desfavorables en el desempeño del sistema, sino que también permite planear a futuro el crecimiento de la red celular y la instalación de nuevos equipos, ya que los registros obtenidos en las pruebas, sirven como una base de datos para establecer criterios en lo que respecta a la calidad del equipo y, así, mediante una evaluación minuciosa, considerar si el equipo utilizado cumplió a lo largo de su vida útil con las normas y expectativas que ofrece el fabricante.

El procedimiento establecido se basa en las pruebas realizadas a las unidades DRU (Digital Radio Units) de NT, el oscilador maestro y los combinadores por lo que a continuación se deben realizar las siguientes pruebas:

- Pruebas de transmisión
- Pruebas de recepción
- Pruebas al oscilador maestro
- Pruebas de BER
- Pruebas y optimización de combinadores
- Pruebas en antenas y líneas de transmisión

Al realizar las pruebas se debe contar por lo menos con una terminal VT100 (Video Display Terminal) ó en el mejor de los casos de una computadora portátil ya que para el procedimiento de prueba se deben poner en modo técnico o prueba los elementos de Hardware, con el propósito de acceder y hacer las manipulaciones pertinentes al equipo bajo prueba mediante la VT100, ya que se requiere de una pantalla y un teclado para habilitar los comandos de prueba al equipo y visualizar los resultados obtenidos, ya sea para hacer ajustes o configurar el modo de operación del equipo. A continuación se muestra el 'Display' de la interfaz de prueba en modo técnico tanto para AMPS y TDMA exclusivamente para equipo celular de NT. (Figuras 5.8 y 5.9)

```

DRU Full-Screen AMPS Debug Interface Display
-----
##### DRU TERMINAL INTERFACE (C)1992 Northern Telecom, Inc. #####
Load Name:          ROM load:          EEPROM CRC Check:
HW Version:         Serial #:          MPA Firmware:
#####
##### AMPS STATUS #####
Channel:           MPA:                SAT TX:      (  ) Antenna Port A:  B:
Synth Lock:        Power Level:        Compandor:   Antenna Path :
MPA Alarm:         Power Steps:        Loopback:    Audio Sens Tx:
Audio:             Max Power:        Tone Gen:    Audio Sens Rx:
#####
##### Signal Readings #####
RX RSSI:           Antenna Port:  1    2    3    4    5    6
RX SAT:            RSSI Offset:  -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0
RX ST:             RSSI:
#####
##### COMMANDS #####
A) TDMA Mode      G) SAT Transmit  M) set Antenna Port  S) Test TRU display
B) set channel   K) change SAT   N) set Path          T) set Audio Tone
C) MPA on/off    I) Tone Gen      O) set RSSI Offset   U) MPA Power Step
D) MPA LED       J) Loopback      P) detect RNT,ST,RSSI X) Exit
E) MPA Power     K) Compandor    Q) detect ALL RSSI  Y) Restart TRU
F) MPA Max Power L) Wideband Data R) RX/TX Audio Mute
-----

```

Fig. 5.8 Interfase visual de pruebas para modo AMPS.

```

DRU Full-Screen TDMA Debug Interface Display
-----
##### DRU TERMINAL INTERFACE (C)1992 Northern Telecom, Inc. #####
Load Name:          ROM load:          EEPROM CRC Check:
HW Version:         Serial #:          MPA Firmware:
#####
##### TDMA STATUS #####
Channel:           MPA:                DVCC:        Antenna Port A:  B:
Synth Lock:        Power Level:        Slot:        Antenna Path 1:
MPA Alarm:         Power Steps:        Loopback:
Audio:             Max Power:        Tone Gen:
#####
##### Signal Readings #####
RX RSSI:           Antenna Port:  1    2    3    4    5    6
RX DVCC:           RSSI Offset:  -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0
(  )              SLOT 1 RSSI:
#####
##### COMMANDS #####
A) AMPS Mode     F) MPA Max Power H) set Antenna Port  S) Test TRU display
B) set channel   G) set DVCC      N) set Path          T) MPA Power Step
C) MPA on/off    R) set Slot      O) set RSSI Offset   U) Restart TRU
D) MPA LED       I) Tone Gen      P) detect DVCC,RSSI Y) Restart TRU
E) MPA Power     J) Loopback      Q) detect ALL RSSI
-----
>

```

Fig. 5.9 Interfase visual de pruebas para modo TDMA.

Pruebas de transmisión.

- **Prueba de potencia de salida del MPA (Modulating Power Amplifier).**

Esta prueba mide y ajusta la potencia de salida de la unidad Transmisora Receptora (TRU) y la del Amplificador de potencia Modulada, a diferentes niveles de entrada con el propósito de asegurar que las señales sean apropiadamente amplificadas para ser transmitidas.

Procedimiento

1. Para sitios celulares nuevos ó la expansión de una trama completa conectar el T/R del monitor de telecomunicaciones al puerto de la antena del Duplexor. Si se trata de un radio individual conectar al puerto T/R del monitor de comunicaciones a la salida del conector del PA del transceptor (Figura 5.10).

Utilice los cables de baja pérdida RG-8, RG-214 o su equivalente.

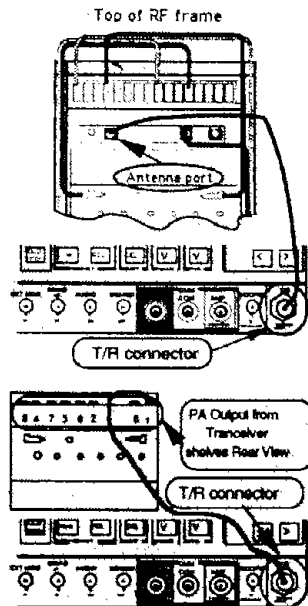


Fig. 5.10 Conexión entre la estructura de RF y el Monitor de Telecomunicaciones.

2. Habilitar el nivel de potencia del MPA mediante el comando C para que el MPA este transmitiendo (carrier ON).

- Prueba de potencia máxima en el MPA. Realizar el registro de potencia de salida máxima para diferentes valores de potencia de entrada desde la terminal en modo técnico VT100, (Figura 5.11).

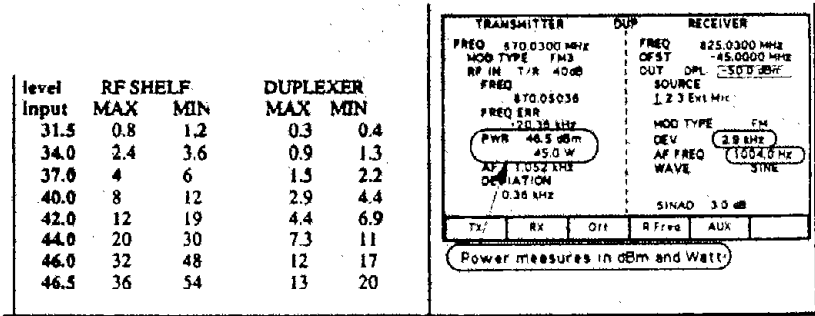


Fig. 5.11 Visualización y ajuste de resultados.

- Comparar los resultados con el procedimiento especificado, y si son diferentes repetir la prueba.
 - Prueba de modulación en la limitadora

Como cada Transreceptor opera con un ancho de banda de 30 KHz., la prueba de la modulación en la limitadora asegura que el transreceptor permanezca con la asignación de frecuencia establecida, evitando causar interferencia con canales adyacentes, ya que el circuito de la limitadora controla el monto en la desviación de frecuencia para que no exceda los 30 KHz. del canal asignado por lo que la desviación debe ser de +/- 12.0KHz.

Procedimiento.

- Poner a transmitir el MPA y revisar la máxima desviación de la frecuencia portadora desplegada en el DEV 'meter' del monitor de comunicaciones, el cual debe ser menor que 12.0 KHz. Registrar la máxima desviación de frecuencia en los formatos de prueba (Figura 5.12).

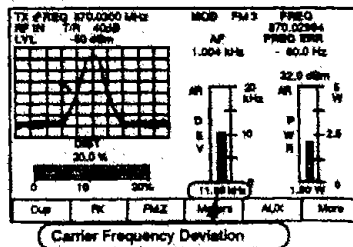


Fig. 5.12 Registro de resultados en la pantalla del Monitor de Telecomunicaciones.

- **Prueba de nivel de audio en transmisión.**

Esta prueba revisa el factor de sintonía de la señal de audio que será transmitida por el transreceptor. Si la sintonización del radio es correcta, al inyectar una señal de voz de 1 KHz. a -22dBm en el radio, al momento de ser detectada debe tener una desviación de $\pm 2.9\text{kHz}$.

Procedimiento.

1. Revisar la desviación de la frecuencia portadora en el DEV meter del monitor de comunicaciones, el cual debe de estar entre 2.61 KHz. y 3.19 KHz. , (Figura 5.13) y registrar la desviación de la frecuencia en los formatos de prueba.
2. Utilizando el comando TGEN se genera un tono desde el MAP (Maintenance and Administrative Position), el cual se encarga de interactuar mediante una terminal de acceso remoto desde el conmutador ó "SWITCH" con los sitios celulares con fines de acceso y diagnóstico. Se deben cambiar los niveles de salida y observar la desviación de la frecuencia portadora para cada cambio de nivel y verificar que la desviación se decremente conforme el nivel de la señal generada se incremente.

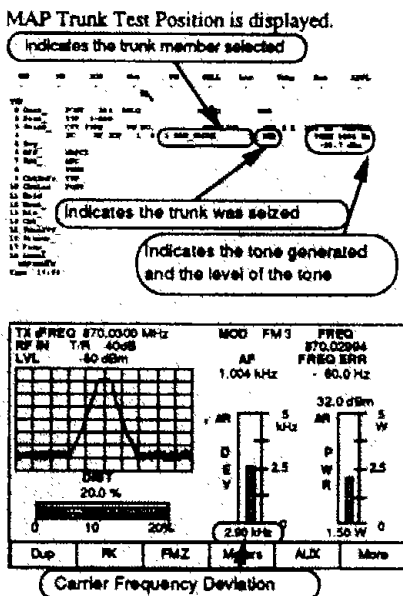


Fig. 5.13 Toma de lectura y generación del tono de prueba.

- **Prueba de modulación del ancho de banda.**

Cuando el radio transmite datos, la portadora es desviada por la cadena de datos ya que utiliza la técnica de modulación QPSK. La cadena de datos es transmitida al móvil que la recibe y decodifica. Esta prueba asegura que los datos transmitidos tengan un correcto nivel de desviación permitido por el receptor móvil el cual puede utilizar cuatro diferentes patrones de transmisión de datos:

- '0' patrón 0000
- 'A' patrón 1010
- 'C' patrón 1100
- 'F' patrón 1111

La prueba considera el patrón 'A' en la transmisión de datos y revisa la desviación de la frecuencia portadora en el monitor de comunicaciones. Para el patrón 'A' la desviación debe estar entre 7.2 Khz. y 8.8 Khz.

Procedimiento.

1. Revisar la desviación de la frecuencia portadora en el 'DEV meter' la cual debe estar entre 7.2 Khz. y 8.8 Khz. (Figura 5.14)
2. Registrar las desviaciones en los formatos de prueba.

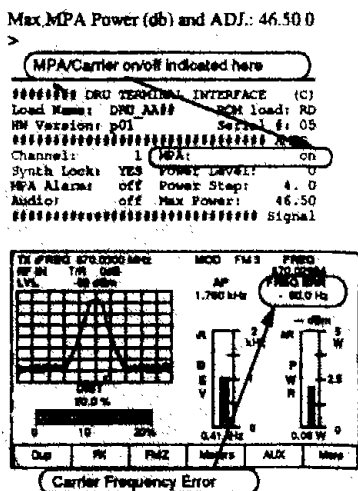


Fig. 5.14 Medición de la frecuencia portadora.

- **Prueba de frecuencia y desviación del SAT.**

Un sitio celular utiliza tres posibles asignaciones de SAT (Supervisory Audio Tone) cuyas frecuencias son 5970Hz, 6000Hz, o 6030Hz para propósitos de señalización.

La frecuencia de SAT somete a prueba el transreceptor para asegurar que este pueda transmitir uno de los tres tonos de SAT, cada uno con su correcta frecuencia y nivel de desviación, con la finalidad de que el dispositivo móvil la pueda recibir y generar una respuesta. La frecuencia de transmisión del SAT tendrá las siguientes asignaciones de frecuencia (5970Hz o 6000Hz o 6030Hz) \pm 1.0Hz. La desviación para cada frecuencia de SAT debe estar entre 1.8kHz y 2.2kHz.

Procedimiento.

1. Teclear el comando G desde la terminal VT100 para habilitar el SAT en modo técnico.
2. Teclear el comando H para seleccionar el SAT desde la terminal VT100 el cual puede ser 5970Hz o 6000Hz o 6030Hz. Por ejemplo seleccionamos la frecuencia de SAT 5970Hz.
3. Revisar la frecuencia de SAT y la desviación de la frecuencia portadora en el DEV meter del monitor de comunicaciones IFR 1600 (Figura5.15)
4. Registrar la frecuencia de desviación de SAT en los formatos de prueba.

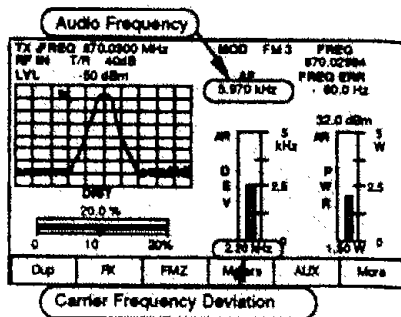


Fig. 5.15 Medición de SAT.

- **Prueba de la verificación de la frecuencia de la portadora en transmisión.**

Cada número de canal tiene una frecuencia asociada tanto en transmisión como en recepción. La prueba de la frecuencia portadora en transmisión asegura que la frecuencia de transmisión de la portadora del sitio celular sea la correcta en la asignación de un canal determinado.

Procedimiento.

1. Con el comando C poner a transmitir al transceptor, MPA en 'on'.
2. Verificar el factor de error de la frecuencia portadora en el IFR 1600 el cual debe estar entre -0.220kHz y $+0.220\text{kHz}$ de la frecuencia asignada al canal bajo prueba (Figura 5.16)
3. Registrar la frecuencia de error en los formatos de prueba.

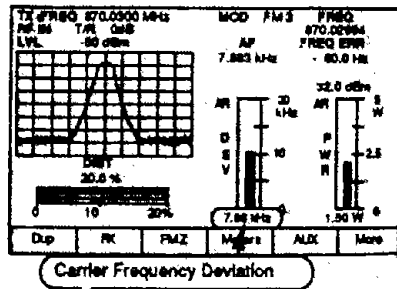


Fig. 5.16 Verificación del factor de error.

NOTA. Todas las pruebas de transmisión se realizaron con el monitor de comunicaciones IFR 1600.

Pruebas de recepción

- **Prueba de sensibilidad en la recepción.**

La sensibilidad en la recepción mide la forma en que el radio puede recoger la señal. La sensibilidad es determinada por como una pequeña señal de radio se puede recibir. Esta medición se puede hacer mediante dos puntos de prueba de los módulos de RF. Uno de estos puntos se sitúa en el puerto de entrada del receptor de multiacoplamiento, y el otro punto de prueba se sitúa en el gabinete del transceptor.

El procedimiento tiene una afectación en el servicio ya que envuelve la inyección de la señal en el puerto de entrada de la antena seleccionada, contenida en el receptor de multi-acoplamiento RMC, ya que se tiene que desconectar para realizar la prueba por lo que se deshabilita la diversidad en la recepción del sitio celular, esto significa que los transceptores no pueden acceder a esta antena. El procedimiento de afectación en la sensibilidad de la recepción se define por lo menos a -113 dBm o menos. En otras palabras el transceptor se habilita para recibir y demodular información valida para una señal de -113 dBm o menor.

Procedimiento.

1. Conectar al puerto 'GEN OUT' del Motorola 2600 con un atenuador de 50 dB en la línea, la entrada del puerto de la antena bajo prueba del RMC, también conectar el puerto RF IN/OUT del Motorola 2600 al puerto de antena del duplexor (Figura 5.17)

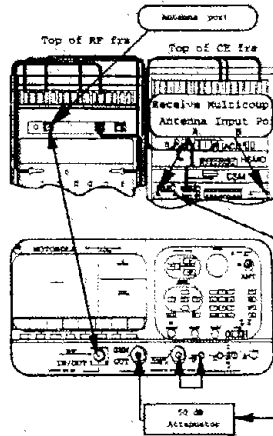


Fig. 5.17 Conexión del equipo celular y el MOTOROLA 2600.

Si se quiere realizar la prueba a un solo radio, se hace la misma conexión al GEN OUT como se indico anteriormente, con la diferencia de que en lugar de conectar el puerto del RMC se conecta en el del PA del Transceptor en la antena deseada, y la conexión con el RF IN/OUT del Motorola 2600 se hace a la salida del puerto de salida del amplificador de potencia PA, como se indica en la Figura 5.18.

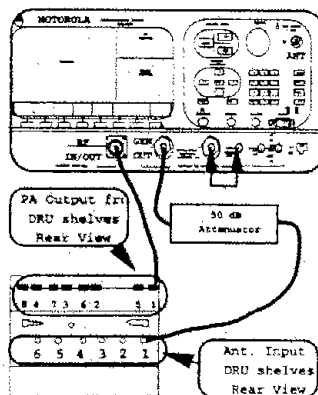


Fig. 5.18 Conexión entre el MOTOROLA 2600 y el PA.

2. Habilitar en modo RF y Rx (recepción) al Motorola 2600 y teclear la el número de frecuencia de asignación en Rx del canal a probar, la cual aparecerá en el 'display' del Motorola 2600.
3. Habilitar el generador de tonos del Mot. 2600
4. Habilitar la ruta de audio tanto en Tx y Rx.
5. Poner a transmitir el MPA.
6. Habilitar la función de lazo cerrado de RF utilizando el comando J
7. Seleccionar la opción SINAD (Señal de interferencia ruido y distorsión) y ajustar en el SINAD 'meter' un nivel de SINAD de 12 dB
8. Observar la lectura del GEN(RF) del Motorola 2600 la cual debe ser menor a – 113 dB si el canal bajo prueba se conecta al RMC, y –102 dB si se conecta a la salida del PA (Figura5.19)
9. Registrar el nivel de RF en los formatos de prueba.

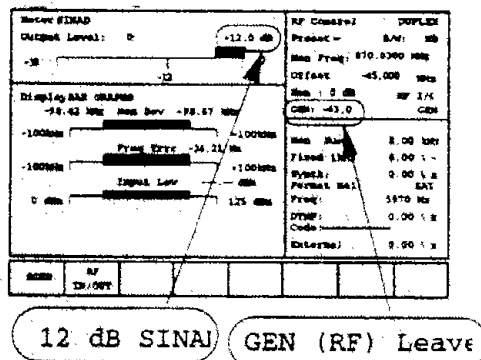


Fig. 5.19 Registro de resultados en la pantalla del MOTOROLA 2600.

- **Prueba de nivel de audio en Recepción.**

Esta prueba revisa el factor de alineación de audio en recepción del transceptor. Si el radio se alinea correctamente, entonces cuando la desviación del nivel de voz en promedio (definido como +/-2.9 Khz.) aparece, el nivel de voz promedio (definido como -22dBm) se debe detectar. La prueba considera la puesta de la desviación a 2.9kHz, la frecuencia de audio a 1000Hz, y el nivel de RF de -60dBm. El nivel de la señal recibida se despliega en la pantalla del monitor de comunicaciones y debe tener un valor de -22dBm.

Procedimiento.

1. Utilizar el comando C para des-habilitar la transmisión del MPA, esto significa que el radio deja de transmitir (MPA en OFF).
2. Deshabilitar la función de lazo cerrado (Loopback off) mediante el comando J.
3. Desde el MAP o una terminal del "SWICHT" habilitar la troncal correspondiente al radio bajo prueba.
4. Revisar el nivel de recepción en el "SWICHT" desplegado en una terminal del MAP el cual debe tener un valor entre -21.0dBm y -23dBm (Figura 5.20).
5. Registrar el nivel de audio en los formatos de prueba.

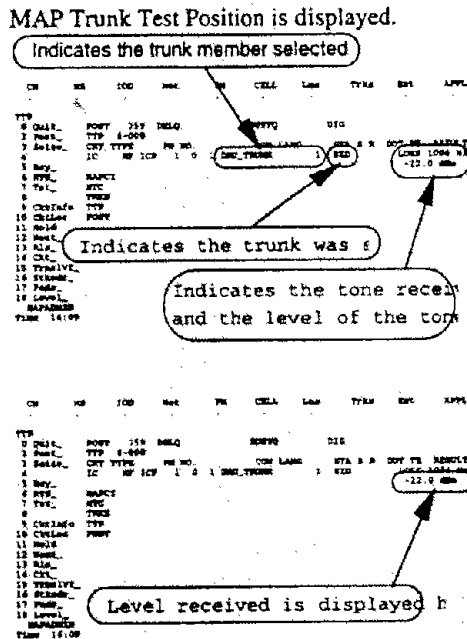


Fig. 5.20 Resultados desplegados en el MAP.

- Prueba de la curva RSSI.

RSSI (Received Signal Strength Indicator). Los transceptores continuamente están midiendo el RSSI proveniente de la señal móvil y cuando la señal cae bajo un predeterminado nivel de umbral, el móvil comienza a ser candidato a 'Hand-off', ya que es un proceso por el cual el suscriptor del celular móvil comprometido con una llamada y viajando a lo largo del área de cobertura, realiza la conmutación de un canal a otro canal, ó de una celda a otra celda, automáticamente a través del curso en que dura la

conversación. La prueba de la curva RSSI verifica la habilidad del transceptor para medir los niveles de la señal RSSI. El rango de RSSI de la intensidad o fuerza de la señal es usualmente -60dBm a -100dBm . Este es el rango con el cual se realiza la decisión para la realización de todos los 'Hand-offs'. Esta prueba se verifica para ver si el transceptor puede detectar el nivel de la señal en el rango indicado ya que en condiciones óptimas se deben probar todos los posibles niveles de señal RSSI en muestras de cada 10 dB de paso.

Procedimiento.

1. Deshabilitar los tonos de audio en Tx y Rx con el comando R.
2. Medir la señal RSSI habilitando el comando P de la terminal VT100.
3. Verificar la lectura de la medición del RSSI en la pantalla donde está el 'Screen en modo técnico cuyo valor debe estar comprendido entre -49.0dBm y -63.0dBm si se realizó la medición desde el RMC, o de -66.0dBm y -76.0dBm si la medición se hizo desde el transceptor (Figura 5.21).
4. Registrar resultados en los formatos de prueba.

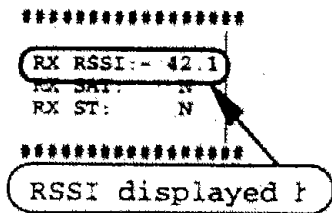


Fig. 5.21 Medición del Transceptor.

- **Prueba de detección de SAT.**

Esta prueba verifica que el detector de SAT (Supervisory Audio Tone) en el receptor detecte el tono de SAT desde el emisor-receptor automático de identificación del móvil. La prueba involucra el uso del monitor de comunicaciones para generar cada uno de los tres tonos de SAT (5970Hz, 6000Hz, y 6030Hz) y verifica que la detección del SAT sea la misma que en la transmisión para asegurar que la función de SAT sea exacta y pueda ser utilizada para propósitos de señalización.

Procedimiento.

1. Seleccionar en el Motorola 2600 la función de RF en recepción para generara un tono de detección de SAT.
2. Esta prueba detecta tres diferentes niveles de SAT por lo que se debe realizar con las siguientes frecuencias, 5970Hz, 6000Hz, y 6030Hz los cuales deben de ser los tonos generados por el Motorola 2600
3. Una vez generado el tono de SAT, por ejemplo si se selecciono el SAT con una frecuencia de 5970Hz, en la terminal en modo técnico VT100, se debe observar en el 'display' la indicación de que si se detectó el SAT:
4. Revisar en el GEN(RF) la lectura del Motorola 2600, la cual debe de ser menor a -63 para el canal bajo prueba si es que se conecta desde el RMC, y -52 si se conecta a la salida de la antena del transceptor (Figura 5.22)
5. Realizar el mismo procedimiento para la detección del SAT con un tono de 6000Hz y con otro tono de 6030Hz.
6. Registrar los resultados en los formatos de prueba.

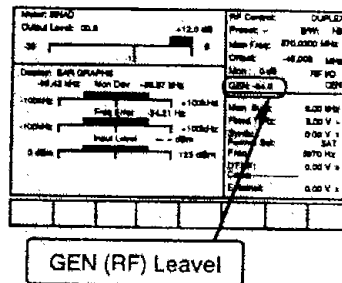


Fig. 5.22 Despliegue de resultados en la pantalla del MOTOROLA 2600.

• Prueba de detección del ST.

Esta prueba se realiza para asegurar que el transceptor puede detectar el tono de señalización ST (Signal Tone), cuando se transmite desde el móvil y su detección es importante para el proceso de señalización. El ST es un tono de 10kHz transmitido por el móvil a un canal de voz para indicar a la estación base si este ha sido enganchado o des-enganchado. La prueba involucra la aplicación en el canal de una señal de RF de -90dBm modulada con una frecuencia de 10kHz y una desviación de +/- 7.2kHz y conectada en la entrada del puerto de antenas del RMC. Si el ST es detectado se

visualizará en la 'screen' de la terminal VT100 un 'YES'. El nivel de detección debe ser menor a -113dB

Procedimiento.

1. En la función de RF del Monitor de comunicaciones generar una señal con una frecuencia de 10kHz (Figura5.23)
2. En la 'screen' de la terminal VT100 verificar si el ST en Rx fue detectado mediante el despliegue de una Y la cual indica 'YES', ya que en caso de no ser detectado se despliega una N la cual indica no detección.

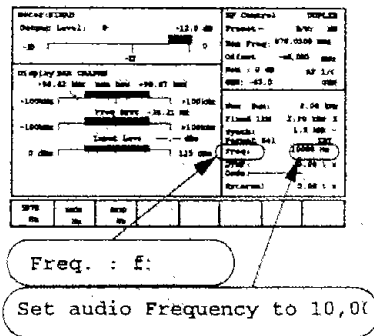


Fig. 5.23 Generación de la señal de prueba.

- **Prueba de BER (Bit Error Rate).**

El Monitor de la Unidad de Radio en modo Dual (DRUM) es una unidad de prueba y monitoreo, cuya principal función es poner a prueba la operación del DRU en modo digital TDMA, esto significa que se realiza una prueba de lazo cerrado o 'loopback' llamada MRVT, la cual mediante la transmisión una señal digital de RF verifica la integridad del enlace TDMA, desde el ICP del 'SWICHT' hasta el DRU.

El MRBT (MTX Radio frequency Bit stream Transmisión test) es una prueba de transmisión para sitios celulares digitales la cual mide la eficiencia del BER de un canal de RF para un DRU en específico. El DRUM se utiliza como terminal para realizar la conexión entre la central (MTX) y el sitio celular digital. La medición del BER se realiza desde el DSPM (Digital Signal Processing Module) a través del DRU, el cual manda la señal al DRUM.

La secuencia de prueba es la siguiente: El DSPM genera una cadena de Bits pseudo aleatorios la cual se envía al DRU, luego al DRUM el cual realiza un 'loop back' hasta el DSPM para que este realice la medición del BER para definir la tasa de error del número total de Bits recibidos, en un sistema de transmisión digital ya que mediante este proceso se pueden solucionar problemas que se presenten en la transmisión, ya que esta cadena de Bits de prueba pasa a través del sistema o unidad bajo prueba para comparar el resultado con la transmisión inicial.

- **Prueba del Oscilador Maestro del sitio celular.**

El oscilador maestro (MO) es un circuito electrónico que convierte DC a AC. La prueba del MO asegura una frecuencia de referencia estable para los transceptores del sitio celular, esto significa que todos los canales permanecen en su respectiva asignación de frecuencia.

La salida y la condición difusa de cada oscilador se monitorea constantemente mediante un circuito de alarmas. El estatus de cada oscilador se indica mediante un LED localizado en el panel frontal del equipo común.

El MO es una pieza redundante del equipo celular ya que una parte permanece activa para el procesamiento de llamadas del sitio celular con el propósito de mantener la sincronización de los transceptores. La parte redundante permanece en 'stand by' hasta el momento en que se pueda presentar una falla en el MO activo el cual conmuta la operación al oscilador redundante para mantener la frecuencia de oscilación del sitio celular, por lo regular el módulo del MO contiene tres osciladores, de los cuales uno permanece activo mientras los otros permanecen en 'stand by'.

Frecuencia y estabilidad son las características más importantes del MO. El oscilador maestro de alta estabilidad HSMO provee una muy buena aproximación de la señal de referencia a los transceptores ya que consta de dos osciladores de cristal estable.

Las señales del oscilador varían tanto en amplitud y fase en función del tiempo, estas variaciones se refieren a ruido de amplitud y ruido de fase.

- Procedimiento de prueba de medición de nivel de frecuencia de oscilación y nivel de potencia del MO.
1. Conectar el puerto T/R del monitor de telecomunicaciones a la salida del panel de puertos del MO (Figura 5.24).

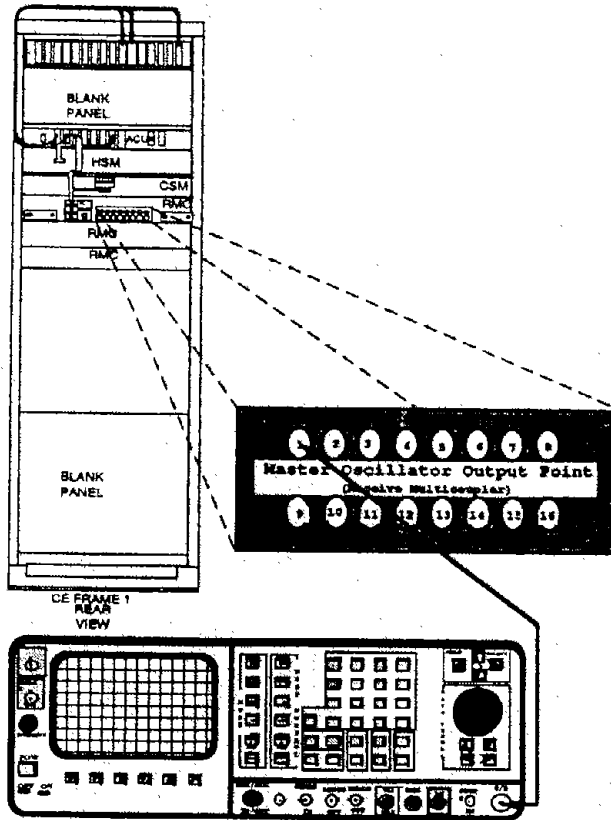
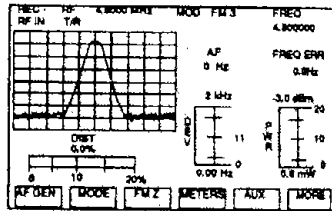
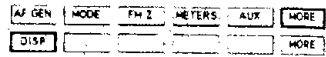
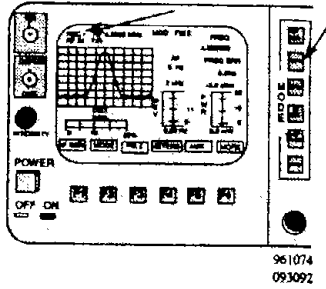


Fig. 5.24 Conexión entre el panel del MO y el Monitor de Telecomunicaciones.

2. Por medio del teclado del monitor de telecomunicaciones seleccionar en el menú de funciones el modo de recepción y análisis (Figura 5.25).
3. Activar los parámetros de radio frecuencia (RF a 4.8) y la modulación (MOD FM3) (Figura 5.25)



961092
093092

Fig. 5.25 Análisis y activación de los parámetros de RF.

4. Realizar la medición del nivel de potencia de salida del MO, que debe ser de -3 dBm \pm 2dB
5. Medir la frecuencia de la señal de excitación del MO de 4.8MHz \pm 1.2Hz y registrar resultados (Figura 5.26).

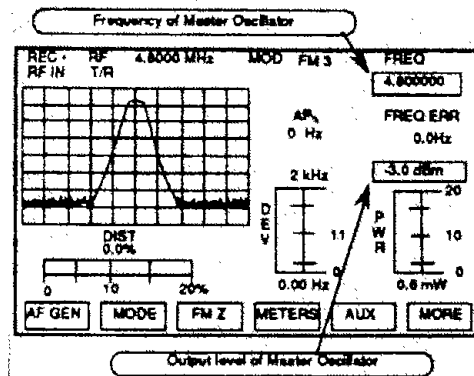


Fig. 5.26 Medición de la señal de excitación.

- **Pruebas y optimización del combinador.**

El Combinador transmisor:

- Combina las 16 salidas de potencia de los transmisores en una sola salida que va a la antena transmisora.
- Evita que la potencia de otros amplificadores (PA's) no afecte al PA en operación.

Un combinador usa cavidades sintonizables, filtros resonantes y/o acopladores direccionales y para requerimientos de sintonía y optimización cuenta con dispositivos mecánicos los cuales mediante la variación del volumen o área de la cavidad podemos sintonizar una estructura de RF la cual consta de 16 canales más 4 de expansión en caso de ser necesario. La sintonía se realiza mediante la utilización de un "Analizador de Redes", el cual se conecta al dispositivo pasivo de prueba con la intención de inyectar una señal de barrido para la obtención de la respuesta en frecuencia del combinador, cuya gráfica esquematiza la curva del espectro en la banda de transmisión de tal manera que podemos visualizar los picos espectrales de cada canal, contenidos en toda la banda de transmisión, la cual esta formada por 16 picos correspondientes a 16 canales que forman la estructura de RF, a esta prueba se le conoce comúnmente como LOGMAG y es de suma importancia ya que determina las pérdidas por reflexión causada por una mala sintonía en las cavidades resonantes, ya que si la cavidad no esta debidamente sintonizada y optimizada a su frecuencia de transmisión se pueden presentar fenómenos de interferencia, distorsión, y pérdida de potencia por reflexión.

Procedimiento.

1. Calibrar el analizador de redes.
2. Conectar el analizador al puerto de salida del combinador como se muestra en la Figura5.27 asegurando que los transeptores no estén transmitiendo ya que se puede dañar el equipo de medición.

Transmit Combiner Field Tuning Setup

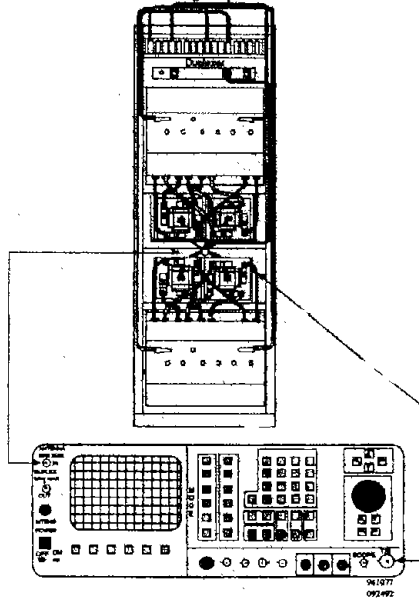


Fig. 5.27 Conexión entre el analizador de redes y el Combinador.

3. En el menú de funciones del analizador de redes, seleccionar la prueba de LOGMAG y ajustar los parámetros de operación en la banda de frecuencia donde se va a generar una señal de barrido y obtener la respuesta en frecuencia del combinador.
4. Una vez obtenida la gráfica en la pantalla del analizador con sus respectivas marcas y lecturas de amplitud y rango de frecuencia del espectro, verificar que cada uno de los 16 canales desplegados en la banda de frecuencia estén debidamente sintonizados, esto significa que mediante las teclas de selección de frecuencia se debe teclear la frecuencia correspondiente al canal que se quiere sintonizar o verificar.

Una vez que se selecciono la frecuencia de transmisión del canal a probar, se verifica mediante el cursor de la pantalla que el pico del canal en sintonía coincida con la marca del cursor ya que este establece la frecuencia de transmisión previamente seleccionada.

5. Si el pico del espectro no coincide con la marca del cursor debemos proceder a centrar la amplitud máxima del espectro a la frecuencia indicada por la marca mediante la manipulación de los dispositivos mecánicos del combinador ya que con estos, mediante una manipulación manual o automática, ponen en sintonía al canal bajo prueba haciendo coincidir el máximo valor de la amplitud con la marca de frecuencia de transmisión correspondiente a dicho canal.
6. Hacer el mismo procedimiento con los 15 canales restantes hasta que cada amplitud máxima coincida con su respectiva frecuencia de transmisión en el grupo de frecuencia correspondiente al sitio celular.

- **Pruebas en antenas y líneas de transmisión.**

La prueba en antenas y líneas de transmisión es de suma importancia ya que de ello depende que el área de cobertura sea óptima de ser posible, con el propósito de brindar un buen servicio a usuarios de teléfonos celulares.

La prueba en antenas tiene el objetivo de asegurar que estos dispositivos cumplan con las características y parámetros de operación establecidos por el fabricante. Estas pruebas consisten en obtener la curva de respuesta en frecuencia a lo largo de todo el espectro de frecuencia celular para determinar las pérdidas por reflexión en la transmisión, mediante la inyección de una señal de barrido proveniente del analizador de redes, también por medio de este equipo de prueba se debe obtener la carta Smith para verificar que el acoplamiento de impedancias sea el adecuado.

Las pruebas en las líneas de transmisión sirven para encontrar anomalías en los cambios de impedancia de líneas y conectores, ya que además de determinar la distancia de la línea se pueden detectar averías como pueden ser fisuras en la línea y malos acoplamientos en los conectores ya que se trata de componentes marginales que influyen en el desempeño del sitio celular.

- **Procedimiento para la prueba de antenas.**

1. Calibrar el analizador de redes en el rango de frecuencias de la banda celular.
2. Conectar el analizador de redes a cada una de las antenas desde el conector de entrada de la Línea que va a las antenas.
3. Establecer la prueba de LOGMAG en el analizador de redes para obtener la curva de respuesta en frecuencia de la antena a probar.
4. Verificar mediante el cursor de la pantalla los puntos críticos de la amplitud que estén fuera del nivel de referencia óptimo.
5. Si la curva completa se encuentra por debajo del nivel de referencia preestablecido se puede considerar que las pérdidas por reflexión son mínimas.
6. Mediante el menú de funciones del analizador de redes seleccionar la prueba de carta Smith.
7. Una vez obtenida la curva en el plano polar verificar mediante el movimiento del cursor que los puntos críticos de la impedancia de la antena estén contenidos dentro del rango de frecuencia celular.
8. Si las pérdidas por reflexión son mínimas y las marcas de impedancia críticas están contenidas en el plano polar, en el rango de frecuencia celular, se puede concluir que no existen anomalías en la antena desde el punto de vista del Hardware.

- **Procedimiento de pruebas en líneas de transmisión.**

1. Calibrar el TDR.
2. Conectar el instrumento a la línea de transmisión.
3. Obtener la gráfica en el dominio del tiempo.
4. Verificar la distancia de la línea y sus posibles cambios de impedancia.

Nota. Estas pruebas se deben realizar a cada una de las antenas y líneas de transmisión ya que por ejemplo, si se tiene un sitio sectorizado a 120 grados se deben probar seis antenas con su respectiva línea de transmisión ya que el número de antenas depende del tipo de sectorización.

5.3 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizadas las pruebas del sitio celular con los resultados debidamente registrados en los formatos de prueba, procedemos al análisis e interpretación de los datos obtenidos en las pruebas, con el propósito de determinar y corregir posibles anomalías en el desempeño del Hardware celular.

La interpretación y el análisis de resultados se debe realizar de manera minuciosa ya que de este escudriñamiento depende la detección de posibles fallas en el equipo, puesto que de este análisis depende la formulación de criterios bien definidos para la toma de decisiones en lo que respecta a la solución de problemas que afecten el desempeño del equipo celular.

Como ya se ha comentado, los procedimientos de prueba y mantenimiento de sitios celulares son creados y establecidos por los fabricantes de equipo celular, lo importante desde el punto de vista de la ingeniería es tener pleno conocimiento del funcionamiento del equipo celular, para establecer un pleno control en la ejecución de procedimientos de prueba, con el objeto de proporcionar la información necesaria para el análisis de resultados, los cuales van dirigidos a las áreas de ingeniería, administración, y desarrollo de proyectos a futuro, ya que estos resultados forman la base de datos del sistema o red celular en operación, la cual es de gran importancia por el simple hecho de registrar y establecer las bases de la infraestructura de red celular en crecimiento.

También esta información ayuda a evaluar el equipo celular con el objetivo de verificar y constatar si el equipo verdaderamente cumple con lo que ofrece el fabricante ya que el costo de estos equipos es relativamente alto o si estos no cumplen con las especificaciones requeridas por el sistema, las compañías que ofrecen servicios de comunicaciones móviles tienden a endeudarse dados los altos costos en mantenimiento y adquisición de equipos celulares.

Por eso es necesario realizar debidamente los procedimientos de mantenimiento y prueba ya que de ello depende la calidad del servicio y el abatimiento en el tiempo y

los costos de operación, como pueden ser el consumo de energía eléctrica, el personal calificado para la operación, administración, mantenimiento y prevención de fallas del sistema celular así como también los convenios establecidos en el costo de enlaces con la red pública y otras compañías de telecomunicaciones locales e internacionales.

La información obtenida en la prueba de sitios proporciona las bases para subsanar anomalías del pasado, ya que podemos establecer una cronología de la vida útil del sitio celular, señalando las fallas producidas a través del tiempo y la manera de como se solucionaron.

También sirve para formular criterios para la adquisición de nuevos equipos celulares ya que de la información obtenida a través del tiempo ayuda a la formulación de bases sólidas para la justificación de la compra de estos equipos ya que, con base en la experiencia, podemos establecer requerimientos de equipo celular que verdaderamente se adapten a las necesidades reales de los sistemas celulares que operan en el país con el objetivo de abatir costos en la compra del equipo, instalación, y mantenimiento.

Es muy importante interpretar en forma detallada los resultados obtenidos en las pruebas ya que no sólo basta con reemplazar equipos que aparentemente no cumplen con los resultados esperados en las pruebas, lo importante es determinar las causas que afectan el mal funcionamiento del equipo ya que a veces los fabricantes de estos no cumplen al cien por ciento las normas del control de calidad ya que pueden presentarse defectos en el diseño que perjudiquen ya sea a largo o corto plazo el desempeño de la celda. Por otro lado si las pruebas realizadas cumplen con las expectativas y sin embargo se siguen presentando problemas de ineficiencia en el desempeño del sitio, mediante un análisis minucioso referido a las pruebas realizadas al hardware podemos determinar los factores que afectan nuestro sistema como pueden ser desde una mala ubicación del sitio celular hasta problemas en la instalación y Configuración de la red relacionados con una mala optimización del software del sistema celular, así como también una mala planeación en lo que respecta a la ingeniería de RF. Por tal motivo, en el análisis se deben considerar todos los factores que intervienen en el proceso y control de tránsito telefónico, como son la situación geográfica y las condiciones ambientales, hasta los parámetros que intervienen en la

transmisión, recepción, el análisis en el formato analógico digital, y todo lo que respecta al desempeño y funcionamiento óptimo del Hardware, así como también la inclusión de rutinas de mantenimiento para la optimización y actualización de las versiones de software del sistema.

5.3 PRUEBAS DE COBERTURA

Una vez realizada la rutina de mantenimiento y pruebas del sitio celular procedemos a la puesta en servicio y la realización de pruebas de cobertura para verificar los niveles óptimos de la señal celular tanto en la transmisión como en la recepción, en el área de cobertura especificada por el plan del grupo de frecuencias asignado al sitio celular.

También mediante esta prueba se detectan 'huecos' (áreas carentes del servicio) y 'sombras' (elementos que afectan la propagación atenuación, y dispersión de la señal como pueden ser grandes edificios, montañas acantilados, diferencias de altitud zonas boscosas, cambios abruptos en la zona geográfica, y la afectación de otros sitios celulares ya sea que pertenezcan a la misma compañía de telefonía celular, o a otras compañías ya que se pueden presentar problemas de bloqueo, generación de ruido, e interferencia lo que se ve reflejado en la pérdida y caída de llamadas incompletas.

La prueba de cobertura se realiza mediante un equipo comúnmente conocido como ARSAT, el cual es un módulo de prueba transmisor receptor móvil, el cual tiene la función principal de detectar niveles de señal de RF tanto en la transmisión como en la recepción de canales celulares en una determinada área de cobertura y, básicamente, se realizan dos pruebas las cuales son:

- Detección de los niveles de transmisión de la señal radiada por cada sector del sitio celular.
- Detección de los niveles de señal en la recepción del sitio celular, causada por la transmisión de teléfonos celulares móviles (prueba de 'TALK IN TALK OUT')

Procedimiento para la detección de los niveles en la transmisión.

1. Determinar el área de cobertura del sitio celular a probar.
2. Establecer las rutas de recorrido más críticas para detectar posibles anomalías en la cobertura del sitio (esto es incluir las zonas con mayor probabilidad de afectación del servicio).
3. Calibrar el equipo de prueba y ajustar los parámetros que intervienen en ella como son el grupo de frecuencias asignadas al sitio, los niveles óptimos de detección de la señal (en dB) tanto en la transmisión como en recepción.
4. Poner a transmitir en modo técnico un canal de voz en cada sector.
5. Realizar el recorrido previamente establecido por el equipo de pruebas para verificar la cobertura del sitio y en caso de encontrar anomalías o falta de servicio registrar las coordenadas geográficas del área afectada.
6. De los resultados obtenidos mediante la elaboración de un plan de trabajo optimizar al máximo las áreas críticas que afecten el servicio, mediante la reorientación o cambio de antenas si es que se requiere, aumentar o disminuir la potencia de transmisión o agregar más canales de voz o cambiar el plan del grupo de frecuencias asignados al sitio celular.
7. Volver a realizar las mismas pruebas hasta solucionar los problemas que afectan la cobertura.

Prueba de detección del nivel de señal en la recepción (TALK IN TALK OUT).

1. Mediante la terminal VT100 poner en modo técnico un canal de voz de cada sector y habilitar la función de detección de RSSI con el propósito de visualizar mediante la pantalla el valor del nivel de recepción (en dB) del canal bajo prueba.
2. Desde un punto geográfico contenido en el área de cobertura, con el ARSAT establecer la comunicación 'Full Duplex' con el sitio celular para optimizar el módulo de recepción (RMC).
3. Una vez establecido el enlace entre el operador móvil y el operador del sitio celular transmitir una señal de prueba desde el móvil en movimiento (ARSAT), el cual previamente define el recorrido o la ruta de prueba.

4. Desde la estación base, el técnico encargado de verificar que los niveles de detección de la señal RSSI sean los indicados, debe informar al operador móvil el valor del nivel de recepción continuamente, para corroborar los resultados obtenidos a lo largo del recorrido, ya que en caso de que las lecturas no sean satisfactorias o no cumplan con el rango de recepción máximo permitido el técnico que se encuentra en el sitio celular proceda a la optimización del RMC, el cual contiene un amplificador de bajo ruido para el ajuste en el aumento o disminución de ganancia según sea el caso ya que si la señal de recepción es muy débil se debe aumentar la ganancia del amplificador de bajo ruido hasta obtener un nivel óptimo en la recepción, y contrariamente si se tiene un nivel de recepción muy intenso se debe disminuir la ganancia hasta su nivel óptimo.
5. Repetir el mismo procedimiento en los sectores restantes.

Nota estas pruebas se deben realizar mediante recorridos en toda el área de cobertura, esto significa que el operador móvil debe estar en constante movimiento para poder detectar posibles anomalías en una determinada área de cobertura.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 CALIDAD DEL SERVICIO

El objetivo principal de esta tesis es el de establecer las bases en lo que respecta a la implementación, mantenimiento y optimización de sitios celulares ya que de ello depende el buen funcionamiento y la operación adecuada de los sistemas celulares, por ello se ha presentado un panorama general de procedimientos relacionados con la implementación y mantenimiento, partiendo de un caso particular como es el caso del equipo utilizado por el sistema celular IUSACEL, sustentado en la tecnología de NORTHERN TELECOM o mejor conocida actualmente como NORTEL NETWORKS con el propósito de ilustrar las características de operación e implementación del equipo utilizado por este sistema, ya que por tratarse de tecnologías mundialmente establecidas y reguladas por los diferentes comités los cuales tienen la labor de estandarizar y hacer compatibles las diferentes estructuras de hardware y software, técnicas de acceso y modulación, normas y procedimientos relacionados con el desarrollo y avances tecnológicos en la ciencia de las telecomunicaciones móviles con la finalidad de ofrecer servicios cada vez más diversos y eficientes en cualquier parte de la superficie terrestre.

Por eso es de suma importancia mantener en buen estado los elementos que componen e interactúan en el proceso y establecimiento del intercambio de información por medios inalámbricos móviles ya sea en forma de voz, video, datos o todos al mismo tiempo hasta el grado de integrar todos estos servicios en tiempo real.

Entonces el principal objetivo de los sistemas celulares no basta con establecer la comunicación entre la gran variedad de usuarios que van desde los particulares o públicos en general hasta las grandes corporaciones ya sean privadas o gubernamentales, por eso para los operadores celulares es de gran importancia ofrecer servicios de calidad ya que de ello depende la oferta y la demanda para la gran diversidad de servicios que ofrecen las diferentes compañías dedicadas a este gremio.

Al referirse a servicios de alta calidad se debe considerar en primer lugar que el servicio sea permanente durante los 365 días del año manteniendo una cobertura ininterrumpida, no sólo en la república Mexicana, sino en cualquier parte del mundo, esto quiere decir que el servicio celular debe considerar el mayor número de celdas posibles con el propósito de establecer una cobertura total en regiones con altos índices poblacionales sin exentar los asentamientos humanos con baja densidad poblacional como son las zonas rurales de difícil acceso.

Otros factores a considerar en la calidad del servicio son la seguridad en la comunicación ya que se debe ofrecer a los clientes seguridad y confidencialidad en la comunicación y más aún si se trata de transacciones o movimientos bursátiles, ya que el fraude celular es un problema que afecta en gran medida a los usuarios de este servicio por eso es muy importante la utilización de candados como medidas de seguridad.

En lo que respecta a la calidad de la información que será transmitida se debe asegurar que la calidad de la señal sea lo más limpia posible más aún si se trata de transmitir señales de video y audio como pueden ser películas, canciones y mensajes codificados en sistemas celulares de 3G.

La calidad del servicio se ve reflejada en el desempeño óptimo del sistema celular por lo que para brindar un buen servicio primero se debe considerar en la planeación de la ingeniería celular todos los factores que intervienen en el desarrollo y crecimiento de la red celular como son la situación geográfica donde se va a ubicar el sitio celular, el estudio de la zona de cobertura (ingeniería de RF), las condiciones climatológicas, y ambientales como son los factores de temperatura y humedad mínima requerida para que el sitio opere en condiciones normales; la selección del equipo adecuado ya que por tratarse de sistemas en expansión tanto en el aumento de usuarios, como el crecimiento de la red se deben tomar en cuenta la evaluación minuciosa del equipo a corto, mediano, y largo plazo mediante pruebas y rutinas de mantenimiento tanto preventivo como correctivo con el propósito de formular los criterios y bases sólidas en la renovación y expansión del equipo celular, con la finalidad de que al momento de hacer la compra y selección de nuevo equipo estos cumplan

con las especificaciones requeridas por el sistema tanto en desempeño de Hardware como de software, y así estar a la vanguardia de los servicios de telefonía celular de tercera generación.

Otros factores que contribuyen en la calidad del servicio son los niveles óptimos de las señales de transmisión y recepción como son los niveles de potencia efectiva radiada, los niveles de ganancia en los dispositivos receptores, la señalización del sistema referido a las estaciones base, los móviles, el "SWICHT", y la red pública.

Otro factor importante a considerar en la calidad del servicio es la orientación y calidad de las antenas celulares así como el buen estado de las líneas de transmisión así como los elementos de acoplamiento como pueden ser conectores, puentes de impedancia, y guías de onda.

También debemos considerar las condiciones óptimas del enlace hacia el "SWICHT" u otros nodos celulares ya sea vía microondas cable de cobre o fibra óptica, ya que si el enlace no esta optimizado se generan errores en la transmisión.

6.2 COSTO BENEFICIO.

Al hablar de costo beneficio se deben involucrar tanto los factores humanos, así como también todos elementos que integran la red celular ya que de ellos depende el costo de la compra del equipo celular, la implementación y el mantenimiento.

Al realizar la selección del equipo no basta que sea el más costoso o tecnológicamente el más avanzado ya que si en el momento en que se realizó la planeación este no se ajusta a las verdaderas necesidades del sistema puede resultar muy sobrado en capacidad y desempeño al mismo tiempo que posiblemente no pueda satisfacer los requerimientos reales del sistema lo que puede perjudicar a la compañía que brinda el servicio celular en lo que respecta a los altos costos de adquisición y operación del equipo celular. También se debe considerar una buena capacitación o entrenamiento al personal técnico encargado de la operación y mantenimiento del

equipo, ya que de ello depende el funcionamiento óptimo y la prevención de posibles anomalías presentes en el sistema ya que el objetivo es el de evitar largos tiempos en la solución de fallas en el sistema ya que, como fue indicado con anterioridad, el sistema debe operar en forma permanente haciendo que las fallas que se puedan presentar no afecten en gran medida la continuidad del servicio.

Como ya se ha comentado, la calidad del servicio depende tanto de una buena planeación en la ingeniería del desarrollo del sistema celular, así como también la calidad del equipo celular y la capacitación del personal técnico encargado de administrar, operar mantener, y supervisar la red celular, ya que de ello depende el abatimiento en los altos costos de mantenimiento y operación del sistema.

Al seleccionar equipos de calidad reconocida mundialmente que cumplen con el control de calidad establecido por los comités en materia de sistemas de telecomunicaciones inalámbricas la mayoría de las veces estos resultan ser de costo elevado en el corto plazo, más sin embargo si el equipo no sólo cumple con las especificaciones del fabricante si no que también supera nuestras expectativas en lo que respecta a la calidad del servicio, bajos costos en operación y mantenimiento se pueden considerar que la inversión en la compra de equipo celular de alta calidad es recuperable ya que al reducir los costos en mantenimiento y operación podemos ver a mediano y largo plazo las ganancias tan elevadas que estos equipos pueden proporcionar ya que se satisface la demanda así como también se eleva el número de usuarios y consecuentemente también aumenta el número de servicios puesto que estos equipos garantizan la calidad a un bajo costo en operación y mantenimiento.

En contra parte si el equipo celular adquirido por empresas dedicadas a brindar servicios de telecomunicaciones apenas cumple con el control de calidad mínimo requerido a un bajo costo puede ser contraproducente a mediano y largo plazo ya que por ser equipos de mala calidad estos, constantemente son susceptibles a falla, y en consecuencia se incrementan los gastos de operación y mantenimiento. Además, dadas las circunstancias tecnológicas del país, no contamos con personal altamente especializado en lo que respecta a la reparación de hardware celular por lo que las empresas se ven obligadas a mandar estos equipos a su país de origen para su

reparación lo que resulta en un elevado costo tanto por reparación, como por su transportación.

Por eso es muy importante realizar constantemente rutinas de mantenimiento para la prevención y detección de fallas en los sitios celulares con el objeto de evitar al máximo las fallas en el sistema que puedan afectar la operación permanente de la celda, pues si se interrumpe durante lapsos de tiempo prolongado el servicio celular, se presentan pérdidas en el cobro de estos servicios así como también quejas de los usuarios por el mal servicio.

Entonces al comprar equipos baratos pero de mala calidad resulta contraproducente ya que se incrementa en mucho los gastos de operación y mantenimiento, puesto que para solucionar los desperfectos que se puedan presentar se requiere de más personal humano y equipo de reemplazo y prueba, además de que los clientes al tener un mal servicio a un costo elevado, emigran a empresas que brinden un mejor servicio satisfaciendo sus necesidades con el menor costo por el servicio.

Entonces una buena planeación y el empleo de equipos de calidad al iniciar la puesta en servicio de un sitio celular aparentemente resulta costoso, sin embargo a largo y mediano plazo resulta benéfico ya que se recupera la inversión inicial además de que se brindan servicios de calidad a bajo costo con tendencia al aumento tanto en usuarios como en servicios lo que es el objetivo principal de las compañías celulares ya que esto se ve reflejado en ganancias monetarias no sólo para las empresas de telefonía celular sino que también el beneficio económico es compartido ya que al estar bien comunicado permite que el intercambio de productos y servicios al consumidor se diversifique en gran medida haciendo que los sistemas de mercadeo nacional e internacional sean más accesibles al consumidor ya que las telecomunicaciones permiten que la información relacionada con la oferta y demanda de productos y servicios sea cada vez más accesible, actualizada y, en consecuencia, se apoya y estimula al organismo bursátil.

6.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y OPCIONES DE SERVICIO

Los grandes avances en telecomunicaciones celulares han dado la pauta al desarrollo de una gran cantidad de servicios de tercera generación, lo que antes era inimaginable hoy en día con el advenimiento de circuitos VLSI, y dispositivos de procesamiento digital de señales es posible implementar los algoritmos empleados para el desarrollo y diseño de sistemas de comunicaciones digitales móviles.

Actualmente los sistemas que brindan servicios de telecomunicaciones no sólo se dedican a establecer en tiempo real la conversación entre dos usuarios si no que también son capaces de establecer una conferencia entre varios usuarios y una amplia gama de servicios relacionados con la transferencia de datos, voz, audio y video en formato digital relacionados con servicios de banda ancha con acceso a Internet en cualquier zona donde exista infraestructura celular.

Dada esta diversidad de servicios tenemos una gran gama de alternativas ya que estas pueden ser desde la utilización de sistemas analógicos de primera generación para uso comercial o doméstico, hasta la demanda de servicios para las grandes corporaciones cuyos requerimientos van desde sistemas personalizados de banda ancha hasta la transmisión de sistemas integrales en tiempo real como las que usan las grandes corporaciones como los bancos, la NASA y los grandes emporios dedicados a la producción y comercialización de productos de consumo así como aspectos referidos a cuestiones de seguridad nacional, impuesta por los gobiernos de las grandes potencias en lo que respecta a su economía y avances tecnológicos.

Entonces debemos elegir la opción que más se ajuste a nuestras necesidades y presupuesto ya que de una buena o mala elección depende el costo de inversión al solicitar un determinado servicio ya sea para fines particulares o empresariales.

Si el servicio cumple con lo esperado se puede decir que satisface las necesidades requeridas, por lo que al realizar la evaluación de alternativas la podemos considerar como una buena elección de servicio ya que si cumple con nuestras

expectativas, de lo contrario tenemos la opción de elegir otra compañía o dispositivo que pueda satisfacer nuestros requerimientos.

Actualmente ya están muy en boga los servicios de tercera generación como son el CDMA 2000 1x, el EV-DV cinco veces mayor en capacidad que el 1x, y la próxima tecnología 1x-EVDO.

También los módulos de hardware cada vez ocupan menos espacio y por consiguiente demandan menos energía eléctrica para su operación por lo que el área geográfica que ocuparán los sitios celulares en el futuro será mucho menor al área que ocupan los sistemas actuales así como también la reducción del costo de un sitio celular ya que en el pasado un sitio celular costaba aproximadamente \$40,000 dólares, actualmente el costo se abate cada vez más aproximadamente \$20,000 dólares.

Otras opciones de servicio en boga son la utilización del sistemas PTT (Puhs To Talk) de un solo canal (Half Duplex) implantado por compañías como NEXTEL y UNEFON, cuya principal característica es brindar servicios de 'Voice Messaging', 'Voice Dispatch', y 'Walkie Talkie' con un enfoque dedicado principalmente a servir sectores empresariales, zonas rurales, a precios significativamente menores a las tarifas de sistemas de telefonía celular existentes en el país, con la tendencia a emigrar a IP de tercera generación.

Otra futura alternativa de servicio es el sistema de red unificada 'IMS-IP Multimedia system' cuya principal característica es la de conjuntar todos los diferentes protocolos y estándares para todos los diferentes servicios, esto se logra creando una interfaz estándar en un solo servidor y un solo teléfono.

Este sistema habilita una nueva generación de servicios y productos por medio de la tecnología de paquetes IP.

El servidor IMS consiste en un solo equipo con diferentes aplicaciones esto implica el mismo Hardware para MSS, PTT; PoD, y PDS y significa que se tienen todos

ellos en un solo Handset, con el objetivo de unir todas las redes (HSPDA, GPRS, HSD-SP2, GSM, 1x, UMTS, WLAN etc.).

Otra opción de servicio es la 'Gate Way' residencial la cual mediante un MODEM inalámbrico se puede acceder tanto a servicios de telefonía celular, como servicios o conexión a INTERNET.

Como se puede apreciar existe una amplia gama de servicios presentes y futuros, la elección de alguno de ellos depende de nuestras propias necesidades y requerimientos ya que de ello depende el costo y la calidad del servicio que verdaderamente se ajuste y cumpla con nuestras demandas y presupuesto, lo que sí es un hecho es que cada vez tenemos mayor acceso a estas tecnologías las cuales cada vez son más confiables y eficientes tanto en operación como en costo.

CONCLUSIONES

Es de notar que cada día la tecnología celular avanza a pasos agigantados, no tenemos ni la menor idea de los sistemas y servicios que aparecerán dentro de cincuenta años o más, lo importante es aprovechar al máximo las bondades que ofrece esta tecnología ya que en nuestros tiempos la industria de comunicaciones móviles es la base para el desarrollo tecnológico, comercial, social, y hasta cultural de un mundo globalizado ya que el sustento de esta globalización tiene que ver en gran medida con los avances en telecomunicaciones y las ciencias que la sustentan.

Espero que esta tesis sirva de referencia a todos aquellos que se interesan y apasionan por desarrollar y asimilación de nuevas tecnologías en beneficio de la humanidad.

El trabajo que sustenta esta tesis se basa en mi experiencia personal como ingeniero de campo en la implementación, mantenimiento y operación de sitios de telefonía celular, al igual que en el estudio de las bases teóricas en materia ciencias exactas, telecomunicaciones y electrónica aprendidas en la facultad de ingeniería de la UNAM de la cual tengo el compromiso de aportar mis conocimientos en beneficio de la sociedad y las futuras generaciones.

Espero que el panorama general expuesto en este trabajo tenga la intención de ilustrar procedimientos adquiridos en base a mi experiencia que puedan ayudar en el desarrollo de mejores sistemas celulares ya que como en el universo de la ingeniería siempre por regla debe existir una planeación ordenada y bien fundamentada con bases sólidas el desarrollo de nuevos diseños acordes con el estado del arte en cuestión.

Ya que por el momento en México no se cuenta con una buena infraestructura en el diseño y desarrollo de hardware utilizado en sistemas celulares esto no nos impide que se puedan asimilar las tecnologías de vanguardia ya que tenemos los conocimientos y capacidad para entender y analizar el funcionamiento y desempeño de sistemas celulares hasta el grado de dar nuestro propio punto de vista y sobre todo tenemos la capacidad de aportar a la ingeniería nuestras propias concepciones

relacionadas con la ciencia de las telecomunicaciones ya que por tratarse fundamentalmente de establecer la comunicación o transferencia de información por medios electrónicos, los que nos dedicamos a esta y otras áreas de la ingeniería tenemos a nuestro alcance el acceso a la gran gama de conocimientos adquiridos a lo largo de la historia de la humanidad.

También hay que considerar en gran medida la información recabada a lo largo de la vida útil de los sitios celulares ya que de esta información depende en gran medida el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al establecimiento de las telecomunicaciones del nuevo milenio.

BIBLIOGRAFÍA

- Meridean Information Products. Cellular System Overview. May 1996
- HP 11807B Opt. Northern Telecom DRU Cell Site Software. Jun 1994
- Meridean Information Products. Northern Telecom Dualmode Cellular, Operation and Maintenance. May 1994.
- Hewlett Packard. Seminario de telecomunicaciones 1996
- Bruce R. Elbert. The Satellite Communication Ground Segment and Earth Station Handbook.
- Andrew. Catalog 35, Systems Planning Product Specifications Services
- E. Bryan Carne. Telecommunications Topics. 1999 Prentice-Hall
- E. Lutz, M. Werner, A. Jahn. Satellite Systems for Personal and Broadband Communications Sep 2000
- M. Schwartz. Transmisión de Información Modulación y Ruido
- John Crisp. Introduction to Fiber Optics. 1996, 2001
- Joseph Mitola. Software Radio Architecture, 2001
- Kai Chang. RF and Microwave Wireless System. 2000
- William C. Y. Lee. Mobile Cellular Telecommunications Analog and Digital Systems. 1995
- T. Ojanpera, R. Prasad. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications. 1998
- W. Schweber. Electronic Communication Systems. PH 1991
- John C. Bellamy. Digital Telephony. 2000
- NT-800DR (ICP). Cell Site Installation Methods Manual. CPC No. P0745134
- Tektronix. Measurement Products Catalog. 1998
- Microwave Networks. Users Guide Digital Radio 23-GHz 4E1/8E1
- Fred Halsall. Data Communications, Computer Networks and Open Systems. 1993
- Paul H. Young. Electronic Communication Techniques. 1990