



49
21

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGON"

ESTUDIO DEL CAMBIO DE
TECNOLOGIA ANALOGICA A
DIGITAL EN UN SISTEMA DE RADIO
MOVIL CELULAR

T E S I S

QUE PARA
OBTENER EL TITULO DE
ING. MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

LUIS MARIANO NIETO RIVERA

ASESOR: ING. NARCISO ACEVEDO HERNANDEZ

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO 1996.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

Con gran agradecimiento a mis
padres y abuelo Mariano. Por su
apoyo, consejos y formación
como persona.

A mi esposa e hijos por su cariño e
impulso para seguir adelante.

TRABAJO DE TESIS

ESTUDIO DEL CAMBIO DE TECNOLOGIA ANALOGICA A DIGITAL EN UN SISTEMA DE RADIO MOVIL CELULAR

Capitulado

Prólogo

I.- Antecedentes

II.- Conceptos teóricos

III.- Principios de Telefonía celular

IV.- Elementos de diseño de un sistema de radio móvil celular

V.- Análisis de cambio de tecnología analógica a digital en redes celulares

Conclusiones

Apéndices

Bibliografía

CONTENIDO

Capitulo I.- Antecedentes

| | | |
|-------|--------------------------------------|---|
| 1.1 | Telefonía antecedentes históricos | 1 |
| 1.2 | Antecedentes de la telefonía celular | 4 |
| 1.3 | Conceptos de telefonía celular | 6 |
| 1.3.1 | División celular | 7 |
| 1.3.2 | Reutilización de canales | 8 |

CAPITULO II Conceptos Teóricos

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | Clasificación de las ondas electromagnéticas | 9 |
| 2.2 | Formas de propagación de las ondas de radio comunicación | 10 |
| 2.2.1 | Clasificación y características de las ondas de propagación | 10 |
| 2.3 | Clasificación de las trayectorias de microondas | 12 |
| 2.3.1 | Topografía | 13 |
| 2.3.2 | Clasificación con base en el tipo de carácter la zona | 16 |
| 2.3.3 | Trayectoria de propagación en el espacio libre | 16 |
| 2.3.4 | Trayectoria de propagación con interferencia | 17 |
| 2.3.5 | Trayectoria de propagación con difracción | 19 |
| 2.3.6 | Trayectoria de propagación de dispersión en la troposfera | 19 |
| 2.3.7 | Trayectoria de propagación de relevo pasivo | 21 |
| 2.4 | Desvanecimiento largo y desvanecimiento corto | 22 |
| 2.5 | Sistemas múltiplex en frecuencia | 25 |
| 2.6 | Sistemas múltiplex por división del tiempo | 32 |
| 2.7 | Sistemas de radioenlaces | 45 |
| 2.8 | Técnicas de enlace celular | 46 |

CAPITULO III Principios de telefonía celular

| | |
|--|----|
| 3. Un sistema celular básico (Estación base y células) | 47 |
| 3.1 La estación móvil | 48 |
| 3.1.1 Potencia de salida de la estación móvil | 49 |
| 3.1.2 Preprogramación de una estación móvil | 51 |
| 3.2 Estación base de radio | 52 |
| 3.2.1 El sistema de antena | 56 |
| 3.3 Criterio de ejecución | 59 |
| 3.3.1 Calidad de voz | 59 |
| 3.3.2 Calidad de servicio | 60 |
| 3.4 Singularidad del medio ambiente de radio móvil | 61 |
| 3.4.1 Descripción del medio de transmisión móvil | 61 |
| 3.4.2 Atenuación severa | 63 |
| 3.4.3 Modelo del medio de transmisión | 64 |
| 3.4.4 Características de atenuación móvil | 66 |
| 3.4.5 Estadísticas de atenuación de primer y segundo orden | 70 |
| 3.4.6 Retardo de despliegue y coherencia de ancho de banda | 72 |
| 3.4.7 Ruta de onda directa , ruta de línea de vista y ruta obstruida | 72 |
| 3.4.8 Nivel de ruido en la banda de frecuencia celular | 73 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.5 | Tamaño de célula | 74 |
| 3.5.1 | Células omnidireccionales y de sector | 75 |
| 3.5.2 | Radio celular máximo y mínimo | 76 |
| 3.5.3 | Radio celular mínimo | 77 |
| 3.5.4 | Asignación de canal | 78 |
| 3.6 | Centro de conmutación de servicios móviles | 79 |
| 3.6.1 | Sistema de conmutación APT | 80 |
| 3.6.2 | Sistema de procesamiento de datos APZ | 82 |
| 3.7 | Concesiones y áreas de servicio en México | 84 |
| 3.7.1 | Concesiones | 84 |
| 3.7.2 | Región de concesión | 84 |
| 3.7.3 | Area de servicio. | 85 |
| 3.8 | Plan de numeración | 85 |
| 3.8.1 | General | 85 |
| 3.8.2 | Asignación de numeración | 85 |
| 3.8.2.1 | Número de directorio | 85 |
| 3.8.2.2 | Número de identificación | 86 |
| 3.8.3 | Proceso de marcación | 87 |
| 3.8.3.1 | Servicio automático (servicio básico) | 87 |
| 3.8.3.2 | Servicio semiautomático y manual | 87 |

| | |
|---|-----|
| 3.9 Señalización | 88 |
| 3.9.1 General | 88 |
| 3.9.2 Señalización terminal celular - OTTC | 88 |
| 3.9.2.1 Señales acusticas | 89 |
| 3.9.3 Señalización OTTC - RTPC | 89 |
| 3.9.3.2 Señales de registro | 90 |
| 3.9.3.2.1 Tráfico terminado en la OTTC | 90 |
| 3.9.3.2.2 Tráfico originado en la OTTC | 92 |
| 3.9.3.2.3 Tráfico originado en la RTPC | 104 |
| 3.9.3.3 Señalización por canal común. | 105 |
| 3.10 Transmisión | 106 |
| 3.10.1 General | 106 |
| 3.10.2 Interconexión de las compañías celulares con TELMEX | 106 |
| 3.10.3 Equivalente de referencia | 106 |
| 3.10.4 Ajustes requeridos por parte de la compañía celular | 107 |
| 3.10.5 Niveles de operación | 108 |
| 3.10.6 Estabilidad y eco | 109 |
| 3.10.7 Ruido | 109 |
| 3.11 Conmutación | 110 |
| 3.11.1 General | 110 |
| 3.11.2 Jerarquía | 110 |

| | |
|--|-----|
| 3.11.3 Enrutamiento | 112 |
| 3.11.3.1 Tipos de enlaces | 112 |
| 3.11.3.2 Tráfico terminado en la OTTC | 112 |
| 3.11.3.3 Tráfico originado en la OTTC | 114 |
| 3.11.3.4 Tráfico entre usuarios celulares de diferentes concesionarios | 116 |
| 3.11.3.5 Enrutamiento del tráfico para el servicio de visita (ROAMING) | 117 |
| 3.11.4 Congestión | 117 |
| 3.12 Sincronización | 118 |
| 3.12.1 General | 118 |
| 3.12.2 Sincronización de redes de telefonía celular | 118 |
| 3.12.2.1 Método de Sincronización | 118 |

CAPITULO IV.- Elementos de diseño de un sistema de radio móvil celular

| | |
|--|-----|
| 4.1 Descripción del problema | 120 |
| 4.1.1 Número máximo de llamadas en hora pico | 120 |
| 4.1.2 Número máximo de canales de frecuencia por célula | 121 |
| 4.2. Concepto de reuso de frecuencia | 123 |
| 4.2.1 Esquema de reuso de frecuencia | 123 |
| 4.2.2 Distancia de reuso de frecuencia | 124 |
| 4.2.3 Numero de usuarios del sistema | 125 |
| 4.3. Reducción de factor de interferencia co-canal | 126 |
| 4.4 Relación de portadora a interferencia (C/I) deseada en un caso normal de un sistema de antena omnidireccional | 128 |
| 4.4.1 Solución analítica | 128 |
| 4.4.2 Solución obtenida de simulación | 131 |
| 4.5. Mecanismo de entrega | 131 |
| 4.6. División celular | 133 |
| 4.6.1 Porque división ? | 133 |
| 4.6.2 ¿ Como dividir ? | 133 |
| 4.6.3 Plan de expansión sucesiva | 134 |
| 4.6.4 Calculo de la capacidad de tráfico de una célula | 136 |

CAPITULO V.- Análisis de cambio de tecnología analógica a digital en redes celulares

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.1 | Porque digital ? | 138 |
| 5.1.1 | Ventajas de sistemas celulares | 138 |
| 5.1.2 | Analogía para esquemas de modulación | 138 |
| 5.2 | Introducción a la tecnología celular | 140 |
| 5.2.1 | Detección digital | 140 |
| 5.2.2 | Modulación para sistemas digitales | 144 |
| 5.3 | Técnicas ARQ | 152 |
| 5.3.1 | Diferentes técnicas | 152 |
| 5.3.2 | Las transmisiones de número esperado | 153 |
| 5.3.3 | Eficiencia de la transmisión R | 153 |
| 5.3.4 | Relaciones de error no detectadas | 155 |
| 5.4 | Dialogo digital | 157 |
| 5.4.1 | Velocidades de transmisión de codificación de dialogo | 157 |
| 5.4.2 | Clases de codificador | 158 |
| 5.4.3 | Complejidad de codificadores | 160 |
| 5.5 | Telefonía móvil digital | 161 |
| 5.5.1 | Voz digital en el entorno móvil celular | 161 |
| 5.5.2 | Evaluación de calidad de voz digital | 163 |

| | | |
|-------|--|------------|
| 5.6 | Sistemas celulares digitales prácticos | 163 |
| 5.6.1 | Alta capacidad de FSK en FDMA | 163 |
| 5.6.2 | Sistema TDMA | 165 |
| 5.6.3 | Dispersión de espectro | 166 |
| 5.6.4 | Evaluación de un sistema celular digital | 168 |
| | Conclusiones | 169 |
| | Apéndice1 | 171 |
| | Apéndice 2 | 175 |
| | Apéndice 3 | 183 |
| | Bibliografía | 189 |

PROLOGO

Considerando que el teléfono se ha convertido en un instrumento valioso en el trabajo de muchos seres humanos y que debido a los problemas con que se enfrentan la mayoría de las personas en el transcurso de sus actividades diarias, tales como congestionamientos de tráfico e imprevistos, se ve la necesidad de contar con un medio de comunicación más flexible, que nos permita enlazarnos por otro tipo de sistema de comunicación diferente a la red telefónica fija, para aprovechar de mejor manera el tiempo invertido en trasladarse de un lugar a otro disfrutando de la comodidad que se tendría en la propia casa u oficina.

Tal es la preocupación que ha originado grandes avances en las comunicaciones móviles y la importancia que le han dado en todo el mundo, prueba de ello lo representan los diferentes sistemas con que cuentan países como Estados Unidos, Japón, Alemania, etc., teniendo diferencias básicas principalmente en las frecuencias entre transmisión y recepción, velocidad y tipo de señalización entre la estación base y la unidad móvil, así como en la cantidad máxima de canales.

La industria celular está encarando severos cambios debidos al tremendo crecimiento de sus subscriptores en las áreas metropolitanas, las cuales le generan nuevas demandas en el desarrollo de tecnologías más eficientes, estas demandas requieren manejo de recursos en todas las áreas de un sistema celular. De los recursos más obvios son las frecuencias de radio (RF), que nos permiten la comunicación de la estación móvil con el usuario, entonces también se requiere un desarrollo de mejores aparatos que permitan presentar beneficios a los usuarios, asimismo las redes de señalización, manejo de notificaciones adecuadas, mejoras y actualizaciones en la eficiencia, etc. Estos y otros factores necesitan ser direccionados para crear una red móvil económica y de larga duración.

Actualmente en México la red celular está en una etapa de adaptación de cambio de tecnología analógica a digital, motivo por lo cual se presenta este trabajo con objeto de mostrar un panorama de los beneficios que se obtendrán al migrar al servicio digital celular.

Para iniciar el trabajo presentamos en el capítulo I un resumen del gran avance en las telecomunicaciones, iniciando desde los experimentos eléctricos y magnéticos a principios del siglo pasado, los cuales culminaron cuando en 1876 Alejandro Graham Bell logró transmitir la voz humana a través de un rudimentario Teléfono. De ahí en adelante se sucedieron mejoras al mismo, logrando en 1891 cruzar el canal de la mancha y hasta 1921 se realiza la primer comunicación trasatlántica uniendo Estados Unidos con Escocia, los cables submarinos, la comunicación satelital, la fibra óptica, etc. han permitido que hoy disfrutemos un mundo diferente del que conocieron nuestros antepasados.

En el capítulo II continuamos presentando los antecedentes de las técnicas móviles que fueron los inicios de las comunicaciones inalámbricas, desde los conceptos de clasificación de ondas electromagnéticas, sus formas de propagación, los sistemas múltiplex en frecuencia y por tiempo, sistemas de radioenlaces hasta empezar a mostrar los principios de la telefonía celular, cuyas principales características de diseño son división celular y reutilización de canales mediante los cuales se optimiza el uso de la infraestructura al manejar mayor capacidad de tráfico, automatización completa, mayor privacidad, etc.

El capítulo III muestra en una forma un poco más a detalle cuales son los componentes de un sistema celular en su configuración actual, las características de la estación móvil, la estación base y los criterios de ejecución. Nos adentramos más en las clasificaciones de los diferentes tipos de células, sus tamaños máximo y mínimo y cual es la forma como se asignan los canales para una mejor operación.

El punto medular de un sistema celular es su centro de conmutación el cual es el cerebro donde se realizan todas las conexiones y comunicaciones. Este es una central, existiendo diversos tipos de central por ejemplo del tipo AXE o EMX DYNA TAC, las que permiten manejar una gran variedad de opciones para el usuario y el operador del sistema celular.

En este mismo capítulo se presenta una semblanza de la situación de la telefonía celular en la República Mexicana las áreas de servicio y las diferentes concesiones otorgadas, plan de numeración y la señalización, transmisión, conmutación y sincronización que utiliza TELMEX para las empresas celulares para contar con una adecuada plataforma de comunicación.

En el capítulo IV presentamos cuales son los elementos de diseño de un sistema de radio celular los cuales al igual que la telefonía básica deben diseñarse para manejar un número de usuarios durante la hora de máxima ocupación durante el día, con un valor de pérdida, el cual esta definido por las organizaciones telefónicas mundiales, CCITT, CCIR, etc.

En el diseño son de gran importancia el reuso de frecuencia y la división celular los cuales permitirán optimizar el uso de las facilidades proporcionando a una mayor cantidad de clientes, servicios con buenos niveles de calidad.

Para terminar en el capítulo V, presentamos un análisis de las ventajas que proporciona la tecnología digital sobre la analógica. Con este análisis se pretende mostrar cuan conveniente puede ser utilizar las técnicas digitales en calidad de servicio, cantidad de usuarios y costo del servicio lo que nos permitirá tener un nivel competitivo.

Por ultimo, se hace mención que la mayoría de los documentos utilizados para la realización de este trabajo están basados en la técnica AMPS que se utiliza principalmente en Norteamérica.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 Telefonía Antecedentes Históricos

El hombre desde los principios de la historia ha tenido la necesidad de comunicarse a lugares lejanos de donde él se encontraba, es por esta razón por lo que tuvo que idear métodos que le permitieran transmitir la información al lugar a donde quería fuese enviado, de esa manera por medio de señales de humo, correos (por relevos de hombres, por caballos, etc.) por repetición de claves de sonidos etc. es que pudo cubrir su necesidad.

Con el transcurrir del tiempo, con el avance de la tecnología, a principios del año 1800 investigadores de muchos países estudiaban los fenómenos eléctricos y magnéticos y fue el 21 de julio de 1820 que el danés Hans Christian Orsted descubrió que la corriente eléctrica podía influir en una aguja magnética, de esa manera se iniciaba el electromagnetismo, su crecimiento fue muy rápido puesto que pocos años después se podían comprar instrumentos electrodinámicos para alimentación de corriente. Los inventores de todo el mundo intentaron aprovechar el electromagnetismo para emitir mensajes por largas distancias, se construyeron diferentes aparatos telegráficos y a finales de 1830 se había logrado una solución económica y técnicamente aceptable y al aparato se le dió el nombre de telégrafo Morse en honor del creador del alfabeto telegráfico, el norteamericano Samuel P. B. Morse. El telégrafo tuvo una rápida difusión. Debido a que la necesidad de expedir información era muy grande las compañías ferroviarias norteamericanas recién establecidas en aquel entonces aprovecharon el telégrafo para mejorar el servicio de tráfico y además contaron con el apoyo de los diarios que al darse cuenta de las posibilidades que tenían contribuyeron a la construcción de una red telegráfica que abarcara el mundo entero.

El deseo y además la necesidad de poder transmitir la voz humana entre los mas diversos lugares fué un desafío para los inventores de mediados del siglo XIX durante el cual se probaron muchos métodos; Graham Bell desde 1873 dedica gran parte de su tiempo a la invención de un sistema múltiple de telegramas por un mismo hilo, confía en que con seis vibradores eléctricos debe desarrollar un sistema más perfecto de telegrafía múltiple. Así en la tarde del 2 de Junio de 1875 uno de sus vibradores queda adherido al electroimán, al ordenar a su ayudante que lo despegue, observa en la habitación inmediata que el vibrador correspondiente empieza a vibrar y produce un sonido del mismo tono, por lo que deduce que si se puede transmitir eléctricamente un solo sonido también debe ser posible transmitir los sonidos complejos de la palabra humana e incluso la música. Con un pequeño cilindro por el cual puede hablar, coloca una piel conectándola a un vibrador situado sobre un electroimán, de esta manera constituye un teléfono muy rudimentario pero útil para reafirmar sus ideas, de esa manera Graham Bell y su ayudante Thomas A. Watson continúan trabajando con ahínco y el 14 de Febrero de 1876, registra su invento el cual es aprobado el 3 de Marzo coincidiendo con la fecha de su cumpleaños. La cual posteriormente el 7 de Marzo con el número 176465 le es concedida bajo el Título de **Mejoras a la Telegrafía**.

Los ensayos terminan el día 10 de marzo de ese mismo año cuando en su deseo de reforzar las débiles señales audibles emitidas por su ayudante en su invento se le ocurrió aumentar la densidad de la pila eléctrica con la cual operaba. Al agregarle ácido sulfúrico parte del líquido se derrama y alcanza a quemarle una pierna, por lo que solicita ayuda a Watson el cual queda asombrado al advertir que el llamado le llega con claridad " Mr. Watson, come here I want you (Sr. Watson venga lo necesito)".

La patente 178399 **Receptores Telegráficos Telefónicos** es registrada en su solicitud el 6 de Abril y otorgada el 6 de Junio de 1876.

El 1 de Septiembre Graham Bell firma un contrato con Thomas A. Watson para que se dedique de tiempo completo al trabajo de las patentes, lo que por así decirlo sería la iniciación de los laboratorios de investigación del sistema Bell.

El mundo científico observa por primera vez una demostración del teléfono el 10 de mayo del mismo año, ante la American Academy of Arts and Sciences en Boston, en el año de 1877 se presentan adelantos realmente trascendentes, tales como que David Edward Hughes y Thomas Alva Edison elaboran el micrófono de carbón de contacto variable que permite una transmisión mucho más exacta. Se tiende una línea telefónica en Boston entre los talleres y la casa de Charles Williams, lugar donde Watson ha fabricado los primeros aparatos, se transmite por teléfono la primera información de noticias al "Boston Globe", acontecimiento que representa la primer utilización pública, gracias a un control remoto que se ejecuta en el instituto Essex, de Salem Massachusetts a Boston con una distancia de 25 Km. entre si.

Graham Bell no descansa y presenta el teléfono en Inglaterra en el otoño del mismo año 1877, mientras en la nación americana se dá una muy rápida expansión del invento; por lo que el 23 de Enero de 1878 se realiza la instalación en New Haven Connecticut de los primeros teléfonos para servicio comercial con un cuadro conmutador para 21 abonados, estos dos sucesos ayudan a que su esfuerzo obtenga recompensa, pues poco tarda el viejo continente en asimilar su invento, en Inglaterra la primer central telefónica es puesta en servicio en Londres en 1879.

Por otra parte en Suecia se cuenta con teléfonos magnéticos desde que Lars Magnus Ericsson los fabrica allí desde Noviembre de 1878, entre tanto en los E.U.A. es inaugurada la línea telefónica de larga distancia Boston - Nueva York el 4 de septiembre de 1884, le siguieron los enlaces Nueva York - Chicago el 18 de Octubre de 1892, Nueva York - Denver en 1911 y Nueva York - San Francisco transcontinental en 1915. Desde 1885 funciona la American Telephone and Telegraph Co. con el propósito de expandir el servicio telefónico en todo el territorio Estadounidense ya que para 1890 esta empresa absorbe a prácticamente el resto de cuantas operaban en el país. En lo respectivo a mejoras telefónicas, Thomas B. Doolittle en 1877 introduce el hilo de cobre estirado en frío, de buena resistencia a la tracción y mejor conductividad eléctrica que el hilo aéreo de hierro, hacia 1878 Henry Hunnings inventa un micrófono que emplea gránulos de carbón, con el objeto de establecer un contacto de resistencia variable. Anthony C. White idea en 1890 un micrófono con base sólida constituido por un botón de carbón granular colocado entre un electrodo fijo y un diafragma móvil activado, las cuales son las características básicas del micrófono telefónico moderno; si los primeros aparatos eran provistos de un generador de manivela denominado magneto, para llamar a la operadora y de pilas secas locales para suministrar la energía necesaria al transmisor, en 1880 aparece la disposición de batería central necesaria para la señalización y en 1886 otra útil para la conservación y señalización. Charles E. Macevoy y G. E. Pritchett son los pioneros durante 1877 en el montaje del micrófono y el auricular en una pieza común, formando así el actual microteléfono.

Hacia 1889 Almon B. Strowger inventa el sistema automático primitivo de conmutación y en 1900 Michael Idvorsky Pupin sugiere la inserción de bobinas en serie con una inductancia apropiada y una resistencia eléctrica mínima creando el método de pupinización. Lars Magnus Ericsson inventa en 1896 en Suecia el disco de selección telefónica de 10 orificios.

En el año de 1891 un cable cruza el canal de la mancha entre St. Margaret's Bay Inglaterra y Sangatte, Francia, la red de hilos telefónicos va extendiéndose distancias más y más largas, principalmente y con mayor rapidez en Estados Unidos que en Europa.

Apenas iniciado el siglo XX el sabio danés Emil Krarup sugiere aumentar en forma continua la inductancia en los conductores revistiéndolos de una o varias capas de espiras de hilo delgado de hierro dulce; de acuerdo con su sistema se tiende el cable telefónico submarino entre Helsingör, Dinamarca y Helsingör, Suecia en 1902.

Las centrales automáticas indirectas tipo Rotary surgen poco a poco, la primera instalada en Inglaterra fue en el año de 1914 en tanto que en el Continente fue en 1917 en Zurich, los repetidores telefónicos basados en la válvula termoiónica de tres electrodos inventada por Lee de Forest empiezan a construirse en 1913. La técnica de corrientes portadoras es explotada comercialmente en Estados Unidos en el circuito establecido entre Baltimore y Pittsburgh con cuatro canales telefónicos suplementarios sobre un par de hilos, en 1918 y el primer sistema de conmutación de barras es ideado por G. A. Betulander y Nils Palgrem por 1920. En el año de 1921 se realiza el tendido del primer cable telefónico coaxial submarino en el trayecto entre Key West y la Habana, el Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico queda constituido en el año de 1924 al igual que se establece el decibel como unidad de transmisión.

El 7 de Marzo de 1926 se realiza el primer experimento serio tratando de establecer una comunicación trasatlántica por telefonía inalámbrica, el enlace conecta Rocky Point, en Long Island con la estación receptora de Cupar ubicada en Escocia, una onda de longitud de 5000 metros une las dos orillas del mar, el trayecto radioeléctrico en la dirección Reino Unido - Estados Unidos corre de Rugby, Inglaterra a Houlton en este lado del Atlántico; la primera conferencia telefónica bidireccional a través de un circuito que rodea el globo ocurre en 1936, a partir de Nueva York en este caso los dos aparatos se encontraban instalados en habitaciones diferentes en el piso 26 del Long Distance Building, ubicado en el 32 de la 6a avenida, colaboran en este hecho la British Post Office, la administración Holandesa de CCT, la administración de CCT en las Indias Neerlandesas y la Bell System, en ese mismo año se inauguró en forma experimental el servicio telefónico por cable coaxial entre Nueva York y Philadelphia; en el año de 1938 se instalan también en Nueva York las dos primeras centrales del tipo de barras cruzadas, la instalación inicial de dicho conmutador aplicado a Larga Distancia tuvo lugar hasta 1943.

El 9 de Diciembre de 1929 surge la primera conversación telefónica entre tierra y alta mar: la conferencia inaugural va de Nueva York al trasatlántico S.S. Leviathan cuando este navega a 200 millas de la costa. Por otro lado la primera conversación telefónica desde un convoy en ruta es obtenida hasta Agosto de 1947, lograndose entre los Ferrocarriles Pennsylvania y Baltimore; en el año de 1951 se instala en Estados Unidos el primer sistema de microondas transcontinental: seis canales radioeléctricos en cada sentido significan una capacidad equivalente a 600 circuitos telefónicos o un solo circuito de televisión. Los preparativos para construir y tender un cable telefónico entre Europa y América datan de 1929 aunque el tendido de cables submarinos a través del Atlántico ha de esperar la invención y construcción de repetidores adecuados que insertados en el trayecto amplifiquen a intervalos regulares las débiles señales telefónicas, por eso no resulta sorprendente que el primer cable submarino aparezca hasta Septiembre de 1956 uniendo Clarenville, Terranova con Orban, Escocia, tendido por el navío Monarch, este cable puede conducir instantáneamente 36 conversaciones. En el mismo 1956 se instala el enlace automático internacional Bruselas - París, en 1957 se cuenta con un sistema de dispersión troposférica entre Miami y la Habana lo que representó el primer puente ultramarino de microondas de trayectoria superóptica, los aviones en vuelo tienen comunicación desde 1958.

Los cables telefónicos submarinos van multiplicandose, el TAT2 funciona desde 1959 como propiedad común entre Francia y Alemania, le siguen el CANTAT entre Gran Bretaña y Canada, el TAT3, el COMPAC via Vancouver - Sidney: los experimentos hechos originan la primera conversación telefónica bidireccional via satélite en 1960, el telstar primer satélite activo de comunicaciones lanzado el 10 de Julio de 1962 girando en torno a la tierra establece comunicaciones telefónicas entre 23 ciudades Europeas y otras tantas de Estados Unidos, en ese mismo año entra en servicio en Munich la primer central de mando electrónico equipada para la conmutación con acopladores magnéticos de contactos bajo gas, en Julio de 1963 se presentó un aparato en el cual se sustituyó el disco por un teclado numerado del 0 al 9. Actualmente la telefonía cuenta con sistemas de fibras ópticas, se han desarrollado mejoras a la comunicación via satélite, como consecuencia de los avances en la electrónica y en los lenguajes de computadora las centrales telefónicas actualmente son de mando por programas, lo que ha redituado en mejoras en los sistemas de comunicación y es posible transmitir con mayor confiabilidad además de la voz, música, datos, imagen o de manera combinada para algunos servicios.

1.2 Antecedentes de la Telefonía Celular

Las comunicaciones con objetivos móviles surgieron a principios de siglo, como una respuesta a la necesidad de comunicar vehículos en movimiento con la red telefónica convencional.

Aunque estos sistemas fueron vislumbrados posteriormente a la invención del radio, no tuvieron un desarrollo acelerado sino que hasta que al terminar la Segunda Guerra Mundial se iniciaron los progresos de estos sistemas. Los primeros sistemas trabajaban con frecuencias relativamente bajas y eran denominados equipos de radiocomunicación móvil, en los cuales los aparatos empleados eran mas bien radio transeptores que utilizaban la técnica PTT (Push to Talk).

El empleo de estos sistemas en Europa y en forma particular en Alemania fue en la red de ferrocarriles (Reichbahn), donde se inauguró el servicio Telefónico Público Móvil en 1926 que funcionaba la banda de ondas kilométricas con modulación en amplitud.

El servicio público Alemán de radiotelefonos para otro tipo de vehiculos comenzó en 1950 con varias redes manuales de cobertura limitada que operaban en la banda de 150 Mhz y eran denominadas redes tipo "A".

Entre 1958 y 1959 en Alemania existían tres redes (A1, A2, A3) que funcionaban de manera uniforme en la banda de 156 - 174 Mhz, la red A1 sirvió como red de ámbito nacional, la red A2 cubrió zonas de gran densidad de abonados y las rutas de tráfico más importantes y la red A3 se explotó en forma centralizada; estas redes alcanzaron su auge a principios de los años 70's. Por esta misma época se desarrollo otro sistema de red tipo B debido a la gran demanda que había, este otro sistema maneja una mayor cantidad de abonados, alcanza cobertura nacional y es completamente automática, este sistema también operaba en la banda de 150 Mhz y tenía un mediano alcance, ya que se estableció en algunos países Europeos como Luxemburgo, Austria y los países bajos. El aumento de tráfico obligó a que el sistema B fuera reforzado con el sistema B2 en 1980, el cual aumentó la capacidad de toda la red pero no introdujo novedades en cuanto al funcionamiento y operación del sistema móvil.

El servicio posteriormente lo ofreció una red tipo C que trabaja en la banda de 450 Mhz este sistema fue desarrollado por compañía Siemens y entre otras ventajas puede mencionarse:

- a) Mayor capacidad de tráfico (60 000 abonados)
- b) Automatización completa
- c) Supervisión continua de la calidad de transmisión de los canales radioeléctricos
- d) Control de asignamiento de canales para una comunicación eficiente
- e) Posibilidad de transmitir datos en la red (4.8 Kbits)
- f) Mayor privacidad, utilizando diferentes técnicas de modulación
- g) Agrupamiento de frecuencias por zonas radioeléctricas

Esta red C involucra los conceptos modernos de la Telefonía móvil celular .

Actualmente existe ya otra red en la banda de 850 - 900 Mhz denominada D la cual es capaz de atender hasta un millón de abonados.

Mientras tanto en los Estados Unidos aunque se tuvo un desarrollo tecnológico similar al de Europa, este ha sido frenado por las regulaciones de la FCC (Federal Communications Commission) un tanto debido a problemas y desacuerdos entre los diferentes usuarios del espectro así como con las compañías involucradas en el diseño y ofrecimiento de los servicios radioeléctricos.

En Estados Unidos el inicio de los sistemas Telefónicos móviles fue por el año de 1921 en Detroit utilizando la frecuencia de 2 Mhz, en 1940 se pusieron a disposición canales nuevos en las frecuencias de 30 y 40 Mhz, estos sistemas operaban con frecuencia modulada y no estaban conectados a la red convencional.

Inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial los laboratorios Bell se avocaron a la tarea de suministrar un sistema público de comunicación, con la idea de ofrecer el servicio a un mayor número de usuarios utilizando las economías a gran escala, este proyecto se denominó "Servicio de Radio Móvil Público Doméstico" (DP LMRS). El primero de este tipo de servicio fue inaugurado en 1946 en la ciudad de San Luis Missouri con tres canales en la banda de 150 Mhz; posteriormente se instaló otro que operaba en las carreteras de la ciudad de Nueva York, ambos sistemas eran manuales y contaban con pocos canales, sin embargo debido a la gran demanda se siguieron instalando.

Fue hasta el año de 1964 que se desarrolló un sistema más eficiente, más barato y de canales múltiples que operaba en la banda de los 150 Mhz y tenía ya incorporado su propio disco marcador en las unidades móviles; este sistema fue identificado con las siglas "MJ", para el año 1969 el sistema automático se extendió a la banda de los 450 Mhz y fue denominado "MK", ambos fueron parte del proyecto denominado "Sistema Telefónico Móvil Mejorado" (IMTS), estos sistemas ofrecían un servicio comparable con el obtenido con la red telefónica normal.

En la actualidad los sistemas móviles implantados ofrecen un servicio bastante eficiente, sin embargo el costo sigue siendo alto para los usuarios del tercer mundo debido a las condiciones económicas existentes y a las características propias de los servicios.

A mediados de los años 70's la FCC asignó canales de la banda de 850 - 900 Mhz para la utilización de sistemas móviles celulares, dando lugar al desarrollo e implantación de estos en distintas ciudades de los Estados Unidos. Uno de los sistemas de mayor alcance y capacidad es el diseñado por AT&T denominado "Servicio Telefónico Móvil Avanzado" (AMPS), del cual se hablará posteriormente.

Actualmente en México se ha iniciado la explotación de los sistemas de Telefonía Móvil Celular con una concesión de 20 años a las compañías que fueron seleccionadas para prestar este servicio.

El país se dividió en 9 zonas geográficas en las cuales cada una de las compañías seleccionadas deberá proporcionar servicio de calidad, el cual permita a sus usuarios obtener acceso a la red telefónica convencional (alambrica) y a otras redes celulares quedando de la siguiente manera:

| Región | Compañía | Banda |
|--------|---|-------|
| 1 | Baja Celular Mexicana | A |
| | DIPSA | B |
| 2 | Movitel del Noroeste | A |
| 3 | Telefonía celular del Norte | A |
| 4 | Celular de telefonía S. A. de C. V. | A |
| | DIPSA | B |
| 5 | Comunicaciones Celulares de Occ | A |
| | DIPSA | B |
| 6 | Sistemas telefónicos celulares de Occidente S.A de C.V. | A |
| 7 | Telecomunicaciones del golfo S. A. de C. V. | A |
| 8 | Portatel del Sureste S. A. de C. V. | A |
| 9 | Servicio Organizado Secretarial S. A. de C.V. (SOS) | A |
| | DIPSA | |

1.3 Conceptos de telefonía celular

Objetivos del servicio de telefonía móvil a gran escala

Con el transcurso de los años los diseñadores de sistemas celulares han tenido que manejar varios objetivos basados en el interés del público (usuarios y operadores de telefonía móvil), siendo básicamente los siguientes:

- a) Gran Capacidad de Suscriptores
- b) Uso Eficiente del Espectro de Radiofrecuencias
- c) Compatibilidad Nacional e Internacional
- d) Difusión Eficaz
- e) Adaptabilidad de la Densidad de Tráfico
- f) Servicio a Vehículos y Portátiles
- g) Servicio con la Telefonía Regular
- h) Calidad del Servicio Telefónico
- i) Proporcionalidad

Descripción Funcional de un Sistema Celular

Las partes principales de un sistema telefónico móvil celular son:

- * Centro de Conmutación Telefónica Móvil
- * Locales Celulares
- * Móviles

El Centro de Conmutación Telefónica Móvil (C.C.M.) está enlazado con cada uno de los locales celulares por un grupo de troncales de voz, una troncal para cada canal de radio instalado en el local celular y dos ó más enlaces de datos sobre los cuales el local celular intercambia la información necesaria para procesar llamadas, cada local celular contiene un transceptor para cada canal de voz asignado y las antenas de transmisión y recepción de esos canales, el local celular también contiene un equipo de monitoreo del nivel de la señal y uno de ubicación del radio.

El equipo móvil consiste de una unidad de control, un transceptor, una unidad lógica y una antena. La unidad de control contiene todas las interfaces del usuario, tales como el equipo de mano el cual contiene varios botones e indicadores de luz, el transceptor utiliza un sintetizador de frecuencia para sintonizar cualquier canal colocado, la unidad lógica interpreta las acciones del usuario y los comandos del sistema, controla al transceptor y a las unidades de control, la antena es utilizada para la transmisión y recepción de las señales.

Unos cuantos canales de radio agrupados sirven como una "disposición" de canales, pero antes que canales de voz esos canales son utilizados primeramente para el intercambio de la información necesaria y el establecimiento o la captura de llamadas, aplicando el concepto de reuso de frecuencia para organizar canales se minimiza el número de canales retenidos en uso de voz. Ordinariamente cada local celular tiene un canal dondequiera que una unidad móvil sea encendida pero no este ocupado en una llamada, la unidad móvil simplemente monitorea la disposición del canal. La unidad por si misma selecciona cual de los canales monitorea por muestreo de la potencia de la señal de todos los miembros de un grupo estandar de la disposición de canales, la unidad móvil entonces sintoniza al canal el cual le reditua la medición mas potente, lo sintoniza con el flujo de datos que esta siendo transmitido por el sistema e inicia la interpretación de los datos. Ordinariamente la unidad móvil permanecerá en este canal, en algunos casos el dato recibido indicará que la unidad móvil deberá muestrear la potencia del canal en algún otro grupo de canales antes de hacer la selección final, la unidad móvil continúa monitoreando el arreglo de canales seleccionado, a menos que alguna condición como pobre nivel de recepción haga necesario renovar la selección del canal, las palabras-datos del arreglo de canal incluyen los números de identificación de las unidades móviles de las cuales existen llamadas que están siendo direccionadas.

Cuando una unidad móvil detecta que esta siendo llamada rápidamente muestrea la potencia de la señal de todos los arreglos de canal del sistema de tal forma que puedan responder por medio del local celular ofreciendo la señal mas fuerte a la posición actual de la unidad móvil, esta mide el nuevo arreglo de canal y transmite una página de respuesta, el sistema entonces transmite una asignación de direccionamiento del canal de voz a la unidad móvil, la cual sintoniza el canal asignado donde esta recibe un comando para alertar al usuario móvil, una secuencia similar de acciones entonces se ejecuta, cuando el móvil realiza la llamada. Mientras una llamada se encuentra en proceso, en intervalos de unos pocos segundos el sistema examina la señal que esta siendo recibida en el local celular que esta manejando la llamada, cuando es necesario el sistema busca por otro local para que atienda la llamada, cuando encuentra un local disponible el sistema envia a la unidad móvil un comando para resintonizar el canal asociado con el local. Mientras el móvil esta cambiando canales el C.C.M. reconmuta la parte terrestre de la troncal asociada con el nuevo transceptor del canal, el monitoreo periódico de las señales de la unidad móvil es conocida como "localizando" (Roaming) y el acto de cambiar los canales es conocido como "Entrega" (Hand off).

Elementos básicos del concepto celular

Las frases **Reuso de Frecuencia y División Celular** suman las características esenciales del concepto celular.

1.3.1 División Celular

Si el número total de canales **C** es dividido en **N** grupos, entonces cada grupo contendrá nominalmente:

$$S=C/N$$

Si un grupo de canales es usado en cada célula eventualmente la demanda de tráfico telefónico en alguna célula alcanzará la capacidad **S** de canales de célula, por lo que un crecimiento adicional en el tráfico de la célula requerirá una revisión de los límites tal que el área anteriormente observada como una célula simple puede ahora contener varias células y utilizar todos los canales complementarios de las células, el proceso llamado división celular llena estas necesidades.

La figura 1a ilustra una etapa inicial del proceso de división celular en la cual la célula que originalmente estaba definida como F1 y que ya tenía su capacidad cubierta, ahora contiene a las células H3, I3, B6, C6 si la demanda continuara creciendo otras células grandes se dividirán y eventualmente como en la figura 1b la región entera será convertida en células pequeñas.

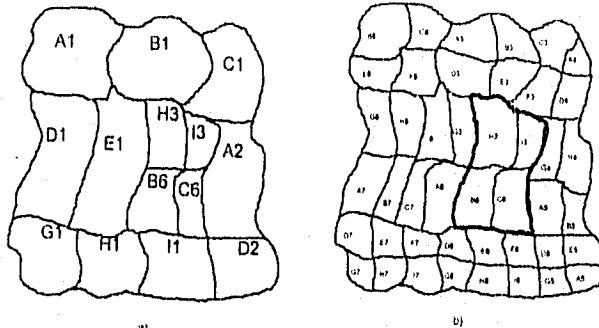


Fig 1.- Arreglo Celular con División Celular

En la práctica la división celular puede ser menos abrupta que lo que la ilustración implica, a menudo es suficiente con superimponer solo una o dos células dentro de una gran célula de tal forma que la célula grande y las pequeñas conjuntamente sirvan al tráfico en el área distribuida por las células pequeñas.

Las células grandes desaparecerán tiempo después, cuando todo el territorio se convierta en pequeñas células como se observa en la figura 1b en la cual se dividió en 9 distintos grupos de canales denominados de A a I.

Las etapas posteriores de división celular deberán además de multiplicar el número total de llamadas simultáneas de teléfonos móviles posibles en la misma región, decrecer el área de cada célula, la división celular permite al sistema ajustarse al crecimiento de la densidad de demanda de tráfico espacial (llamadas simultáneas por Km.) sin incrementar la asignación del espectro.

1.3.2 Reutilización de Canales (Reuso de Frecuencia)

El reuso de frecuencia se refiere al uso de canales de radio en la misma frecuencia de portadora para cubrir diferentes áreas las cuales están separadas una de otra por suficiente distancia, tal que la interferencia entre canales no es objectionable, este tipo de facilidad no solo se utiliza en servicio telefónico móvil sino también en cadenas de entretenimiento y mas que en ninguna otra forma en cadenas de radio; la idea de emplear reuso de frecuencia en servicio de telefonía móvil para una área geográfica reducida implica el concepto celular, esto es que en lugar de cubrir una gran área desde un punto transmisor de gran potencia y a una gran elevación el prestador del servicio puede distribuir transmisores de poder moderado a través del área de cobertura, entonces cada local cubrirá una subarea pequeña, zona o célula.

Entonces una célula es el área en la cual el local del transmisor se encuentra en el lugar más adecuado para atender las llamadas de telefonía móvil, la figura 1a muestra un diseño de un mapa o arreglo celular, donde en principio el espaciamiento de los transmisores no necesita ser regular y las células no necesitan ser de una forma particular. Las células como se indicó anteriormente están clasificadas con diferentes letras y deberán servir a distintos grupos de frecuencias para evitar problemas de interferencia. Para las células que se encuentran lo suficientemente apartadas, como ejemplo las A1 y A2 es posible utilizar el mismo grupo de canales. A través del reuso de frecuencia un sistema de telefonía celular en su área de cobertura puede manejar un número de llamadas simultáneas, aunque excedan el número total de frecuencias de canal colocadas, el multiplicador por el cual la capacidad del sistema en llamadas simultáneas exceden el número de canales depende de algunos factores, principalmente del número total de células.

CAPITULO II

CONCEPTOS TEÓRICOS

Aunque los principios de las comunicaciones inalámbricas fueron enunciados y probados por Marconi desde principios de este siglo, no fue sino hasta que al terminar la segunda guerra mundial, que los esfuerzos de investigación y desarrollo que se habían enfocado en las telecomunicaciones militares, fueron encaminadas a las comunicaciones comerciales, entre ellas la transmisión de señales de voz, adecuadamente moduladas a través del espacio libre, mediante la utilización de radioenlaces.

2.1 Clasificación de las Ondas Electromagnéticas

En las ondas electromagnéticas están incluidas desde aquellas de larga longitud de onda como las de radiocomunicación hasta las de longitud de ondas más pequeñas como son los rayos infrarrojos, los rayos x, los rayos gamma y los rayos cósmicos.

En la figura 2.1 se muestra una clasificación general de las ondas electromagnéticas.

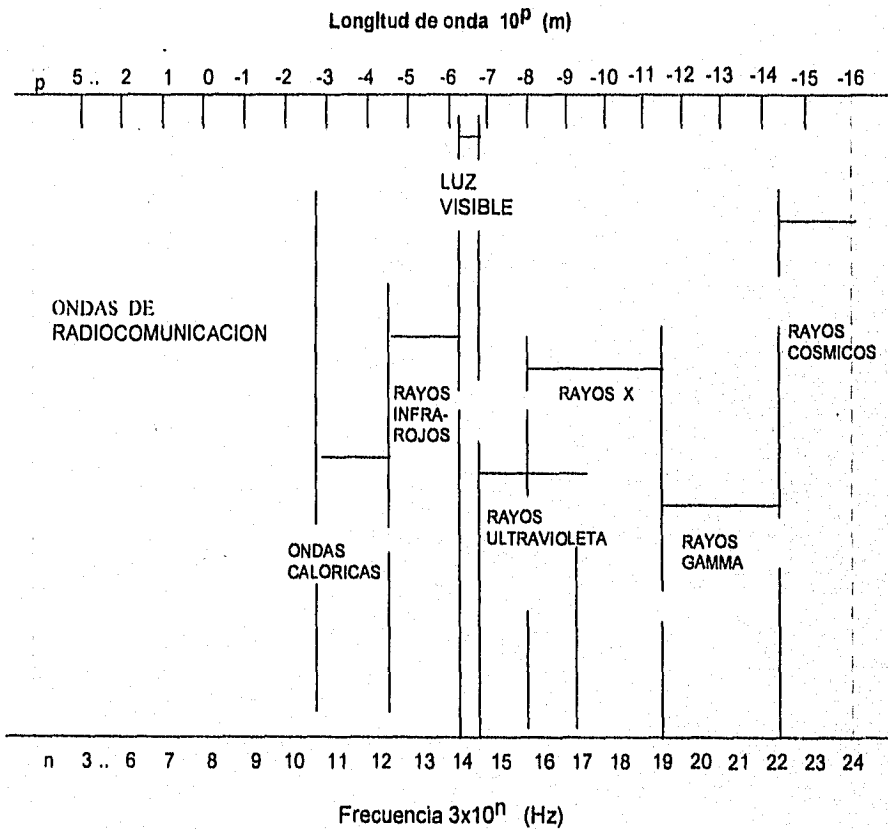


Fig.2.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas

Existe otra clasificación más general de las ondas electromagnéticas en la que se toma en cuenta la frecuencia de las ondas y se muestra en la Tabla 1.

No existe un límite de frecuencia exacta para definir cuando se trata de una microonda, ya que generalmente se usa el vocablo para indicar aquellas de longitud de onda más pequeñas que las de ondas VHF. Por esto, en ocasiones se utiliza el término microonda para referirse en forma genérica a las ondas UHF, SHF, EHF o bien indicar las ondas de longitud más pequeñas que las de UHF.

Aquí se utilizará el término microonda para referirnos a las ondas UHF y SHF que guardan mucho parecido y cuyas características son similares.

| Designación de banda | Abrev | Banda de frecuencia | Límites de longitud |
|-----------------------|-------|---------------------|---------------------|
| Muy Baja Frecuencia | VLF | 30 khz ó menor | 10 Km ó mayor |
| Baja Frecuencia | LF | 30 - 300 Khz | 1 Km |
| Frecuencias Medias | MF | 300 - 3000 Khz | 1 - 0.1 Km |
| Alta Frecuencia | VF | 3 - 30 Mhz | 100 - 10 m |
| Muy Alta Frecuencia | VHF | 30 - 300 Mhz | 10 - 1 m |
| Ultra Alta Frecuencia | VHF | 300-3000 Mhz | 1 - 0.1 m - |
| Súper Alta Frecuencia | SHF | 3-30 Ghz | 10 - 1 cm |
| Extremadamente Alta | EHF | 30-300 Ghz | 10 - 1 mm |

Tabla 1 Clasificación de las Ondas de Telecomunicación

2.2 Formas de propagación de las ondas de radiocomunicación

A) Clasificación

La propagación de las ondas de radiocomunicación desde el punto de transmisión al de recepción está influenciada por la frecuencia, la distancia, la altura de la antena, la naturaleza eléctrica de la tierra y las condiciones de las capas atmosféricas de la tropósfera y la ionosfera.

2.2.1 Clasificación de las ondas de propagación y las características de cada clasificación

Desde el punto de vista de la física, las ondas de propagación se pueden clasificar en 6 clases:

- 1.- Onda Directa
- 2.- Onda Reflejada
- 3.- Onda Refractada
- 4.- Onda Difractada
- 5.- Onda Superficial
- 6.- Onda Dispersa

Además desde el punto de vista del aprovechamiento de las ondas , podemos hacer otra división en la siguiente forma:

1.- Onda de Tierra

- a) Onda Directa
- b) Onda Reflejada en la Tierra
- c) Onda Difractada en la Tierra
- d) Onda Superficial

2.- Onda del Espacio

- a) Onda Troposférica
 - i) Onda de Reflexión y Refracción en la Tropósfera
 - ii) Onda Dispersa en la Tropósfera
- b) Onda Ionosférica
 - i) Onda de Reflexión y Refracción en la Ionosfera
 - ii) Onda de Dispersión en la Ionosfera

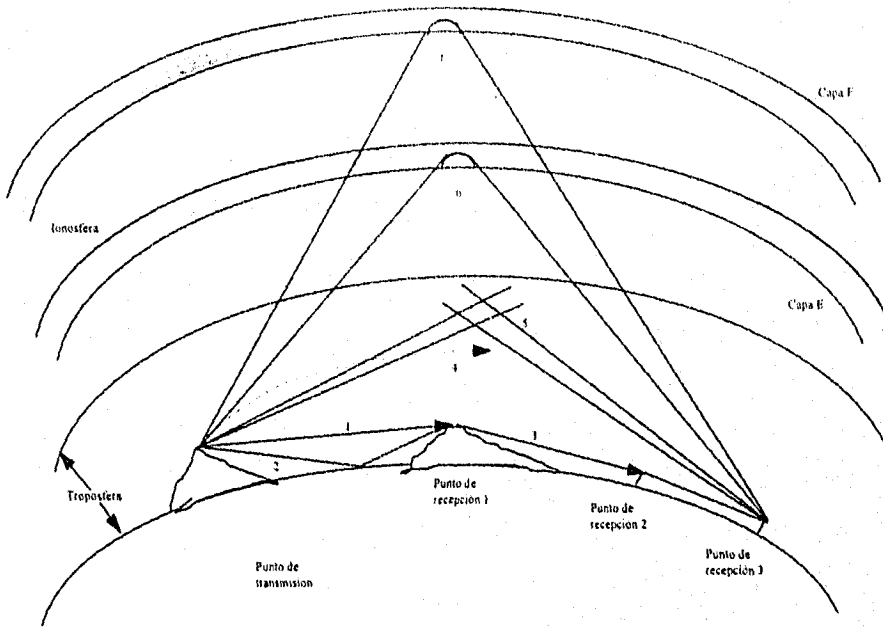
1. En general en la propagación de las ondas superficiales y difractadas, entre menor sea la frecuencia menor será la atenuación.

2. La refracción y reflexión de las ondas de HF en la ionosfera son muy apropiadas, por lo cual la absorción y la atenuación que sufren durante la propagación es menor.

3. Las ondas superficiales y las difractadas de mayor frecuencia que las VHF son las que sufren mayor atenuación y además cruzan el espacio de la ionosfera, por esto cuando se utilizan las ondas directas y las reflejadas debemos tomar en cuenta sus funciones más importantes.

4. Entre las ondas de VLF, LF, MF las ondas ionosféricas son las que se utilizan en propagaciones de muy larga distancia.

La figura 2.2 muestra las formas de estas ondas de propagación



1. Onda Directa
2. Onda Reflejada
3. Onda Difractada
4. Onda Superficial
5. Onda Dispersa en la Tropósfera
6. Onda de Reflexión y Refracción en la Ionosfera (Capa E)
7. Onda de Reflexión y Refracción en la Ionosfera (Capa F)

Fig 2.2.- Formas de las Ondas de Propagación B) Característica de Propagación correspondiente a cada clasificación de onda

2.3 Clasificación de las trayectorias de microondas

En la Tabla 2 aparecen clasificados los límites de frecuencia se deben utilizar a varias distancias.

Distancia de Propagación 100 Km ó menor 100 - 800 Km. 800-4000 Km. 4000 Km ó mayor

| Limite de frecuencia | Onda superficial | Onda directa | 100 - 800 Km. | | 800-4000 Km. | | 4000 Km ó mayor | |
|----------------------|------------------|--------------|---------------|-------|--------------|-------|-----------------|-------|
| | | | día | noche | día | noche | día | noche |
| LF | * | | * | * | * | * | * | * |
| MF | * | | | * | | | | |
| HF | | | | | * | * | * | * |
| VHF | | * | | | | | | |
| UHF, SHF | | * | | | | | | |

El signo * indica el más apropiado

Tabla 2 . Clasificación de las Trayectorias de Microondas

2.3.1 Topografía

Debido a que la superficie terrestre normal es de estructura muy irregular, la influencia que ejerce la topografía en la propagación de las microondas es bastante complicada, por lo cual es muy conveniente conocer las características generales de la propagación de las microondas para cada estructura, uno de los métodos que se utiliza es el de modelos geométricos; el cual hace una clasificación de los perfiles topográficos normales, por medio de los cuales podemos conocer, en forma general las características de la propagación de cada modelo y estimar además, en la práctica conociendo la estructura, cuáles serán las características de propagación. En la figura 2.3 se muestran los seis modelos de las trayectorias de propagación con visibilidad.

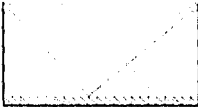
1. Modelo en el espacio libre



2. Modelo de reflexión en una superficie plana lisa



3. Modelo de reflexión en una superficie plana áspera



4. Modelo de reflexión en una superficie esférica lisa



5. Modelo de reflexión en una superficie esférica



6. Modelo de reflexión de ondas de trayectoria múltiple

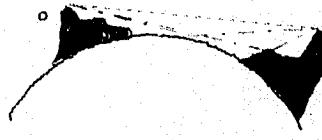


Figura.- 2.3 Formas de los modelos de trayectorias de propagación con visibilidad. A continuación veremos una breve explicación de los modelos.

Modelo 1

La trayectoria de propagación en el espacio libre sirve como modelo básico de la teoría de la propagación; en ella el espacio de propagación entre el punto transmisor y el receptor tiene la característica de ser isotrópico y no existen los fenómenos de refracción, difracción, reflexión, absorción y dispersión, este modelo se traza únicamente tomando en cuenta la atenuación debida a la divergencia en el espacio de propagación.

Modelo 2

Este modelo es el básico en las trayectorias de propagación con interferencia; muestra la trayectoria cuando hay interferencia entre las ondas directas y las reflejadas sobre una superficie lisa. Este tipo de modelo se da cuando tenemos una distancia entre 10 y 15 Km. o menor, con visibilidad y cuando existe en esta una superficie plana de agua donde se reflejan las ondas.

Modelo 3

Este modelo semejante al anterior difiere en que la superficie de reflexión es áspera debido a las irregularidades del suelo y los edificios. Las ondas del mar en forma más o menos violenta y la superficie de la tierra en su mayor parte pueden considerarse ásperas. Cuando la superficie de reflexión es áspera el coeficiente de reflexión a causa de la divergencia toma un valor entre $1/3 - 1/5$ o menor del valor que toma cuando la superficie es lisa.

Modelo 4

Este modelo nos muestra la trayectoria de propagación cuando la superficie de reflexión es esférica y lisa, este tipo de superficie es más apegado a la realidad, se utiliza en este tipo de trayectoria una distancia media y con una superficie de reflexión lisa como el agua.

Modelo 5

Este modelo es semejante al anterior pero con superficie de reflexión áspera.

Modelo 6

Este modelo muestra las trayectorias cuando existen dos o más superficies de reflexión efectivas, estas superficies de reflexión pueden ser naturales, pero también quedan incluidos los edificios u otros objetos hechos por el hombre que sean superficies de reflexión.

Además existen otros modelos que se aplican en trayectorias de propagación sin visibilidad y se muestran en la figura 2.4.

7. Modelo de difracción en superficie esférica lisa



8. Modelo de difracción en superficie esférica áspera



9. Modelo de difracción ante un obstáculo del tipo filo de navaja



10. Modelo de difracción ante obstáculos múltiples del tipo filo de navaja.



11. Modelo de difracción múltiple



12. Modelo de dispersión en la tropósfera.



Figura 2.4.-Formas de los modelos de las trayectorias de propagación sin visibilidad

Modelo 7

Este modelo muestra la trayectoria en los casos en que las ondas sufren una difracción paralela a la superficie curva lisa del mar.

Modelo 8

El modelo es semejante al anterior pero con la superficie áspera como puede ser un campo o un prado. En estos dos modelos la redondez de la tierra está considerada como la causa principal de la falta de visibilidad. Modelos 9 y 10

En estos modelos la causa de la falta de visibilidad son los obstáculos que se encuentran sobre la superficie curva de la tierra, el modelo 9 representa cuando existe un sólo obstáculo del tipo filo de navaja y el modelo 10 presenta cuando 2 o más obstáculos del tipo de filo de navaja son los causantes de esta falta de visibilidad.

Modelo 11

Este modelo muestra la trayectoria de propagación cuando existe difracción por la redondez de la tierra y difracción por un obstáculo tipo filo de navaja.

Modelo 12

Este es el modelo de la trayectoria de propagación con dispersión en la tropósfera se usa en trayectorias donde no exista visibilidad por la gran distancia entre los Puntos en la propagación de las ondas que se adaptan a este modelo es innecesario tomar en cuenta la estructura de la superficie de la tierra.

Además en la tabla 3 podemos ver estos modelos clasificados de acuerdo al tipo de propagación con que se utilizan.

La mayoría de las trayectorias quedan incluidas en estos modelos representativos pero pueden existir otras formas que sean combinaciones de dos o más modelos, o que adquieran una conformación especial. Existe además un modelo de trayectoria de relevo pasivo en la cual existe una antena pasiva que bien puede ser un reflector o una antena; ahora bien si consideramos esta antena de transmisión y recepción, cada una de las trayectorias queda incluida en los modelos anteriores.

| Zona | Tipo de propagación | Forma da modelo de trayectoria | No. de modelo |
|------------------------------|--------------------------------------|--|---------------|
| Zona de Visibilidad | Espacio libre | Espacio libre | 1 |
| | Propagación con | Reflexión en una superficie plana lisa | 2 |
| | | Reflexión en una superficie plana áspera | 3 |
| | | Difracción en una superficie esférica lisa | 4 |
| | | Difracción en una superficie esférica áspera | 6 |
| | | Reflexión de ondas de trayectoria múltiple | 6 |
| | Difracción | Difracción con una superficie esférica lisa | 7 |
| | | Difracción en una superficie áspera | 8 |
| | | Difracción ante un obstáculo de tipo filo de navaja | 9 |
| | | Difracción ante obstáculos múltiples tipo filo de navaja | 10 |
| Forma de difracción múltiple | | 11 | |
| Propagación por dispersión | Forma de dispersión en la tropósfera | 12 | |

Tabla 3 - Clasificación de los modelos de las trayectorias de microondas

2.3.2 Clasificación con base en el tipo de carácter de la zona

Las trayectorias de las microondas se clasifican como se expuso anteriormente por la forma del perfil de la tierra y por los tipos de propagación, además existe otra clasificación basada en el carácter de la zona por la cual se propagan las ondas, conforme a esto se dividen en tres grupos:

1. Trayectoria sobre Zona Terrestre
2. Trayectoria sobre Zona Acuática
3. Trayectoria sobre Zona Costanera

Los modelos geométricos de los perfiles topográficos de las trayectorias de propagación son objetos necesarios para estimar el promedio de la intensidad del campo, y el carácter de la zona de las trayectorias de propagación es también un elemento necesario para la estimación estadística de las intensidades de campo, pues el carácter de la zona influye en el desvanecimiento de las ondas, en la Tabla 4 podemos ver una clasificación más detallada de los tres grupos de trayectorias por el carácter de la zona.

| | |
|----------------------------------|---|
| Trayectoria sobre zona terrestre | montaña, campo, altiplanicie , campo congelado , desierto , campo pantanoso |
| Trayectoria sobre zona acuática | mar, lago, pantano, estrecho |
| Trayectoria sobre zona costanera | costa lineal, costa serpenteada |

Tabla 4.- Clasificación de las trayectorias con base en el tipo de carácter de la zona

La clasificación general de las trayectorias sobre zonas terrestres abarca muchos grupos y en cada uno de ellos se produce un desvanecimiento en forma distinta.

Por ejemplo si nuestra trayectoria de propagación pasa por un campo congelado o por un desierto, la trayectoria que describirá quedará incluida en el modelo de trayectoria correspondiente a una superficie terrestre plana lisa y su nivel promedio de intensidad será igual; sin embargo el desvanecimiento que se origina en ambas trayectorias será diferente.

En la práctica siempre encontraremos que las zonas de propagación no se adaptan a los modelos, sino que están formadas por las zonas acuáticas, zonas costaneras ó terrestres; por lo cual para estimar las trayectorias de propagación es necesario partir de la hipótesis de cual zona es la más larga dentro de la distancia de la trayectoria de propagación.

2.3.3 Trayectoria de Propagación en el Espacio Libre

Teóricamente la trayectoria de propagación en el espacio libre se da cuando existe una antena isotrópica en un gran espacio vacío ilimitado, si en la realidad cerca de la trayectoria de propagación se encuentra la superficie terrestre, aún cuando el espacio sobre la tierra no este vacío, cuando el coeficiente de reflexión equivalente es pequeño, la pérdida de difracción es casi nula y suponemos hipotéticamente que la tierra tiene un radio de $4/3$ del coeficiente del radio equivalente de la tierra, entonces podemos considerarla con trayectoria de propagación en el espacio libre.

Para considerar una trayectoria en un modelo de trayectoria en el espacio libre se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) Que las ondas directas se propagen bien de la antena transmisora a la receptora y la pérdida de difracción sobre los obstáculos que existan entre los dos puntos sea casi nula. (Difracción)

- b) Que el coeficiente de reflexión equivalente de la superficie de reflexión sea pequeño y la interferencia entre las ondas directas y las reflejadas sea casi nula. (Reflexión)
- c) Que la condición de la atmosfera sea normal, es decir que en toda la trayectoria de propagación k sea igual al $4/3$. (Refracción)
- d) Que la absorción y atenuación originada por la lluvia, neblina y las luces sea casi nula. (Absorción)
- e) Que no existan ondas reflejadas múltiples y ondas difractadas anormales. (Interferencia)

En la práctica aun cuando no se llene el requisito 2, se puede considerar la trayectoria igual a la del espacio libre, cuando se utilice una antena de directividad aguda y se puedan reducir las ondas reflejadas.

2.3.4 Trayectoria de propagación con interferencia

Cuando existen dos o más tipos de ondas de propagación u ondas del mismo tipo con dos o más trayectorias, se puede considerar un modelo de trayectoria con interferencia como se muestra en la figura 2.5.

Sin embargo, en las trayectorias de las microondas, la forma más común que existe es la que se origina por la diferencia de las trayectorias por las que se propagan las ondas directas y reflejadas.

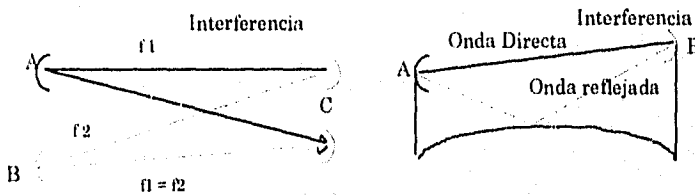


Figura 2.5.- Trayectorias de propagación con interferencia

Si suponemos que las ondas directas se propagan por el espacio libre y su amplitud es E_d y que las ondas reflejadas lo hacen en la tierra y su amplitud es E_r y además que el ángulo de retraso de la fase de las ondas reflejadas con respecto a la de las ondas directas es un ángulo Φ .

La intensidad de campo del receptor de las ondas directas y las reflejadas será igual a:

$$E = E_d + E_r e^{-j\Phi}$$

de acuerdo con la figura 2.6

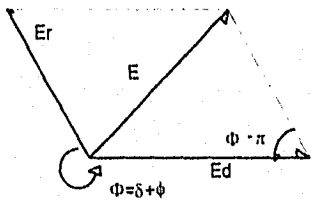


Figura 2.6.- Vectores de las ondas directas y reflejadas

$$E = (E_d^2 + E_r^2 - 2E_d E_r \cos(\Phi - \pi))^{1/2}$$

por lo tanto

$$E/E_d = (1 + \rho^2 + 2\rho \cos(\Phi - \pi))^{1/2}$$

siendo ρ = Valor absoluto del coeficiente de reflexión equivalente

$$E_r/E_d = \rho \leq 1$$

Además

$$(1 + \rho^2 + 2\rho \cos(\Phi - \pi))^{1/2}$$

Este resultado puede ser máximo o mínimo según los valores que toma Φ , cuando

$$\Phi = 2n\pi \text{ será máximo}$$

$$(E/E_d)_{\max} = (1 + \rho^2 + 2\rho)^{1/2} = (1 + \rho)$$

cuando $\Phi = (2n + 1)\pi$ será mínimo

$$(E/E_d)_{\min} = (1 + \rho^2 - 2\rho)^{1/2} = (1 - \rho)$$

donde $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

La diferencia de fase ϕ de las ondas reflejadas con respecto a las ondas directas, cuando las ondas eléctricas sufren una reflexión normal, es:

$$\Phi = \delta + \varnothing$$

En donde δ es igual al ángulo de retraso de la fase debido a la diferencia de las distancias de las trayectorias de onda directas y reflejadas y \varnothing es igual al ángulo de retraso originado desde el punto de reflexión.

En la reflexión de las microondas, se considera que la tierra generalmente actúa como un medio dieléctrico y cuando el ángulo adyacente a la tierra es menor al ángulo Brewster, como sucede en la mayoría de las veces, entonces podemos expresar:

$$\Phi = \delta + \pi$$

Por consiguiente

$$E/E_d = (1 + \rho^2 - 2\rho \cos \delta)^{1/2}$$

El valor resultante puede ser máximo o mínimo dependiendo de los valores δ , cuando $\delta = (2n + 1)\pi$, toma su valor máximo y queda:

$$(E/E_d)_{\max} = (1 + \rho)$$

cuando

$$\delta = 2n \text{ toma su valor mínimo}$$

$$(E/E_d)_{\min} = (1 - \rho)$$

El modelo de reflexión, cuando la superficie es plana lisa ó esférica lisa, nos representa la trayectoria con interferencia de las ondas directas y otro tipo de ondas (ondas reflejadas) tanto el modelo de la superficie plana áspera como el de la esférica áspera, nos muestran el tipo de trayectoria de interferencia con muchas ondas. Sin embargo, las ondas reflejadas originadas cerca del punto de reflexión actúan como si fueran un vector de reflexión, lo que nos permite en la mayoría de las casos considerarla como trayectoria de interferencia de solo dos ondas.

2.3.5 Trayectoria de propagación con difracción

Las trayectorias de propagación que se ven afectadas por los fenómenos de difracción se pueden dividir en dos grandes grupos:

- i) La curvatura terrestre obstaculiza la propagación de las ondas
- ii) Obstáculo de tipo filo de navaja

En la proyección de trayectorias de microondas en superficies esféricas las trayectorias de difracción no se pueden utilizar en trayectorias de ondas directas, ni tampoco en trayectorias cuya visibilidad está obstaculizada por montes o edificios. Sólo se usa en casos, como cuando se utiliza la ganancia de difracción de una montaña para aumentar la distancia de la trayectoria o cuando se convierte en un perfil irregular de la cima de la colina en un obstáculo fijo de navaja tendiendo una red metálica logrando así que la difracción no sea divergente sino ajustada y la intensidad de campo se aproxime más a la teóricamente calculada, por medio del sistema de cálculo de la difracción referente de redes.

Sin embargo, en las trayectorias con interferencia casi siempre se seleccionan trayectorias de ondas reflejadas con difracción para aumentar la atenuación de las ondas reflejadas.

2.3.6 Trayectoria de propagación con dispersión en la tropósfera

En las trayectorias de propagación más allá del horizonte de las bandas VHF - SHF encontramos 3 grupos:

1. Propagación con dispersión en la ionosfera
2. Propagación con difracción utilizando la ganancia de montaña
3. Propagación por dispersión en la tropósfera

En el primer tipo es posible lograr trayectorias de propagación de larga distancia de 1000 a 2000 Km. ; sin embargo no se pueden utilizar frecuencias menores de 80 Mhz, y la distorsión y la estabilidad hacen muy difícil la obtención de alta calidad en los enlaces de comunicación.

El segundo tipo también permite trayectorias largas en las bandas VHF - SHF, con gran intensidad de campo y estabilidad, pero requiere necesariamente de la existencia de una montaña adecuada entre el punto transmisor y el receptor.

El tercer punto permite formar trayectorias de propagación entre dos puntos distantes de la tierra, sin que se vean afectados por elementos geográficos.

Estos tipos de trayectorias podemos observarlas en la figura 2.7.

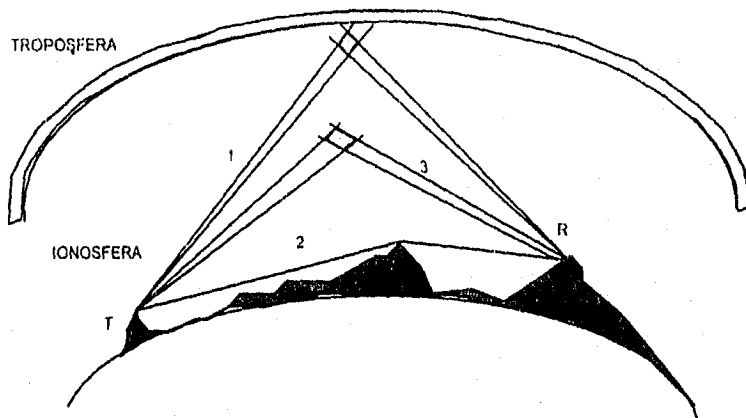


Figura 2.7 . Trayectorias de propagación más allá del horizonte

Las características principales de la teoría de la propagación por dispersión en la tropósfera se enlistan a continuación:

- A) En la teoría de la difracción clásicamente se consideraba la tendencia del índice de refracción de la atmósfera como un medio constante, sin variación; pero en la teoría de la dispersión se considera la atmósfera como un medio variable.
- B) La existencia de turbulencias en la atmósfera provoca variaciones de temperatura y humedad en un cierto tiempo. Las ondas transmitidas en un medio así se ven afectadas por el fenómeno de dispersión y de esta manera las ondas dispersas alcanzan distancias más grandes que las ondas difractadas.
- C) La zona donde se producen las ondas dispersas es generalmente muy extensa, por lo cual si utilizamos una antena de alta directividad, no podremos abarcar toda la zona de dispersión.
- D) Por la extensión de la zona de dispersión, las ondas dispersas son recibidas por la antena receptora con diferencias de tiempo que causan distorsión de la transmisión, reduciéndose por esto la calidad del enlace y el grado de multiplicación.
- E) La intensidad de campo del receptor es el resultado de la suma de los muchos vectores de dispersión; estos vectores sufren variaciones de amplitud y de fase, produciendo un desvanecimiento violento y rápido, si analizamos la variación del desvanecimiento por un espacio de 10 a 15 minutos veremos que se adapta a la distribución de Rayleigh.
- F) La intensidad de campo en el receptor y la intensidad de campo a una distancia de 10 veces la longitud de onda, son totalmente diferentes. Esto nos muestra la utilidad de la diversidad del espacio para hacer constante la intensidad del campo del receptor.

2.3.7 Trayectoria de propagación de relevo pasivo

En general cuando no se utilizan ni detectores ni amplificadores, etc. en la retransmisión, se dice que la propagación es de relevo pasivo.

Entre los tipos de enlace de microondas en la retransmisión terrestre pasiva tenemos:

1. Unión de antenas
2. Utilización de lente para ondas eléctricas
3. Utilización del reflector

Estos se muestran en la figura 2.8 y son los tres tipos más generalizados; además la eficiencia y el fácil ajuste de las placas metálicas para la reflexión han hecho que actualmente sean los que más se utilicen

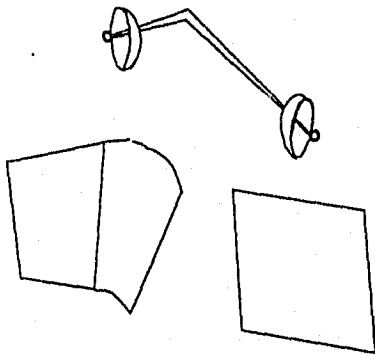


Figura 2.8. Tipos de relevo pasivo

En la figura 2.9 se muestran algunos ejemplos de la utilización de los reflectores en la propagación del relevo pasivo.

El tipo C se utiliza cuando el objetivo que se persigue es dar mayor altura a la trayectoria y tiene un efecto distinto a la directividad y eficiencia de los reflectores comunes. Estos reflectores no se pueden considerar separados de la antena y su directividad y eficiencia están relacionados con la misma, por lo cual se pueden considerar diferentes de los reflectores comunes. Cuando es corta la distancia entre el punto del reflector de retransmisión y la antena, se le llama tipo de corta distancia, y cuando la distancia es muy larga se le llama tipo de larga distancia. No existe una distancia exacta para hacer una diferenciación de estos dos tipos, pero podemos considerar de larga distancia los que sobrepasan los 600 m. (Zona de Fraunhofer)

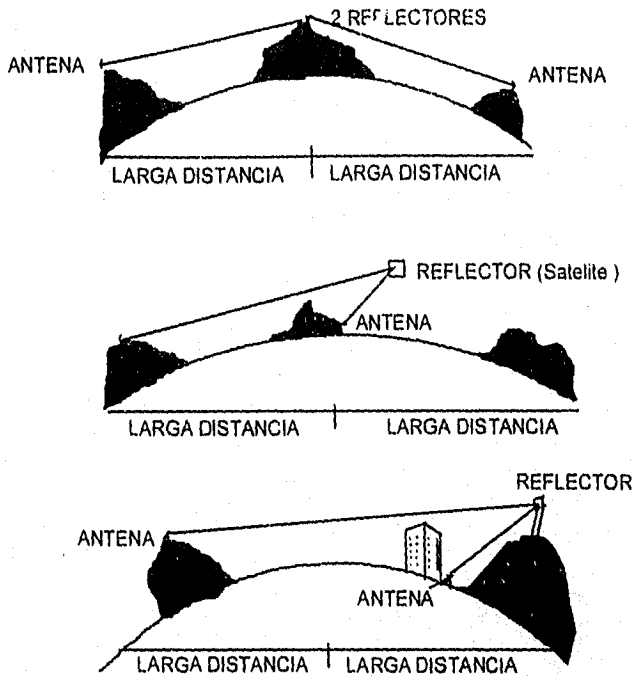


Figura 2.9 . Tipos de reflectores

2.4 Desvanecimiento largo y desvanecimiento corto

Fenómeno de desvanecimiento (fading)

Las variaciones en el nivel de la señal en función del tiempo son causadas por los cambios en las condiciones atmosféricas, la severidad del desvanecimiento generalmente aumenta conforme aumenta la frecuencia o la longitud de onda de la trayectoria, el desvanecimiento no es predecible con exactitud pero es importante distinguirlo en dos tipos generales, que son:

- 1.- Curvatura inversa
- 2.- Efecto de multitrayectoria

El efecto por multitrayectoria incluye el desvanecimiento causado por la interferencia entre las ondas directas y las reflejadas de tierra, así como también la interferencia entre dos ó más trayectorias separadas en la atmósfera ; ordinariamente el desvanecimiento es una divergencia temporal de energía.

La trayectoria de una onda de radio no es una línea recta excepto para el caso ideal de una atmósfera uniforme, la trayectoria de transmisión puede ser de curvatura hacia arriba ó hacia abajo dependiendo de las condiciones atmosféricas, esta curvatura puede también aumentar o disminuir el libramiento efectivo de la trayectoria y la curvatura inversa puede tener el efecto de transformar una trayectoria de línea de vista a una trayectoria obstruida, este tipo de desvanecimiento puede ser por varias horas, la frecuencia de este hecho y su perjuicio puede ser reducido aumentando el libramiento de la trayectoria, particularmente en la mitad de la trayectoria.

Un desvanecimiento severo puede ocurrir en trayectorias sobre agua ó tierra plana porque la diferencia de fase entre el rayo directo y el reflejado varia en las condiciones atmosféricas, el resultado es porque los dos rayos algunas veces se suman y otras veces tienden a anularse, este tipo de desvanecimiento puede ser minimizado, si el terreno lo permite, por la localización elevada de un extremo del circuito, mientras el otro es muy bajo, de esta manera el punto de reflexión quedará cerca de la antena baja y la diferencia de fase entre el rayo directo y el reflejado quedará relativamente fija.

La mayoría de los desvanecimientos que ocurren sobre trayectorias rugosas con libramiento adecuado son el resultado de interferencias entre dos ó más rayos viajando por diferentes rutas en la atmósfera, este tipo de desvanecimiento por multitrayectoria es relativamente independiente del libramiento de trayectoria y su condición extrema se aproxima a la distribución de Rayleigh, en esta la probabilidad de que los valores instantáneos del campo sean más grandes que el valor R es la expresión $-(R/R_0)$ - donde R_0 es el valor rms.

Los valores representativos de desvanecimiento sobre una trayectoria con libramiento adecuado son mostrados en la fig. 2.10 luego, el desvanecimiento por multitrayectoria ha alcanzado la distribución de Rayleigh, además cualquier incremento en la distancia o en la frecuencia aumenta el número de desvanecimientos pero disminuye su duración de modo que el producto es la constante indicada por la distribución de Rayleigh.

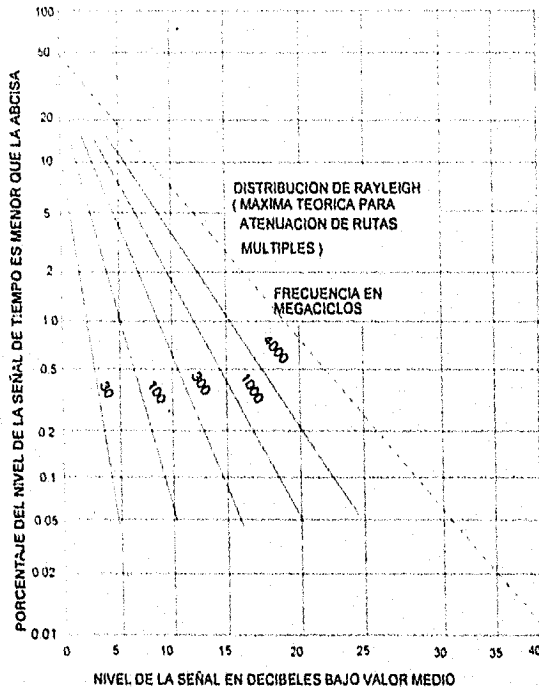


Fig.2.10 Características típicas de desvanecimiento en un patrón de línea de vista sobre 30 ó 40 millas con 50 a 100 ft. de espacio libre

Además del desvanecimiento con línea de vista, el desvanecimiento de las señales de radio más allá del horizonte puede ser dividido en desvanecimiento rápido y desvanecimiento lento, el desvanecimiento rápido es causado por transmisión de multitrayectoria en la atmósfera y para un tamaño de antena dado, el desvanecimiento aumenta en tanto que la frecuencia aumenta, este tipo de desvanecimiento es mucho más rápido que el desvanecimiento rápido observado en la trayectoria con línea de vista, pero las dos tienen un principio similar, la magnitud de los desvanecimientos son descritos por la distribución de Rayleigh.

El desvanecimiento lento consiste de variaciones en el nivel promedio de la señal en períodos de horas ó días y es mayor sobre trayectorias más allá del horizonte que sobre trayectorias con línea de vista, este tipo de desvanecimiento es la mayor parte de las veces independiente de la frecuencia y aparece asociado con los cambios en el promedio de refracción de la atmósfera. A una distancia de 150 a 200 millas las variaciones en los valores medios son a menudo parecidos a los valores medios anuales para seguir la ley de probabilidad normal en dB con una desviación estándar de cerca de 8 dB, la distribución típica de desvanecimiento es mostrada en la figura 2.11.

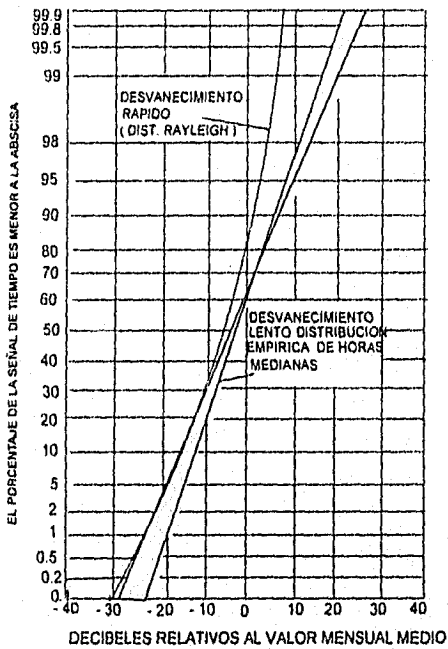


Fig. 2.11 Características de desvanecimiento típico en puntos más allá del horizonte

2.5 Sistemas múltiplex en frecuencia

Los sistemas múltiplex por división de frecuencia se caracterizan porque dividen en pequeñas fracciones el espectro disponible que les proporciona el medio de transmisión empleado, por ejemplo una línea física tiene un ancho de banda útil de unos 160 KHz, y un canal telefónico ocupa unos 4 KHz, de modo que el transmitir una sola señal por esta vía de enlace implicaría desaprovechar su capacidad de transmisión ; por otra parte, tampoco se puede transmitir en principio, varias señales sobre un mismo circuito porque se originarían inevitablemente interferencias entre ellas, el procedimiento seguido en la técnica FDM es trasladar los espectros originales de los canales de voz, mediante un proceso de modulación.

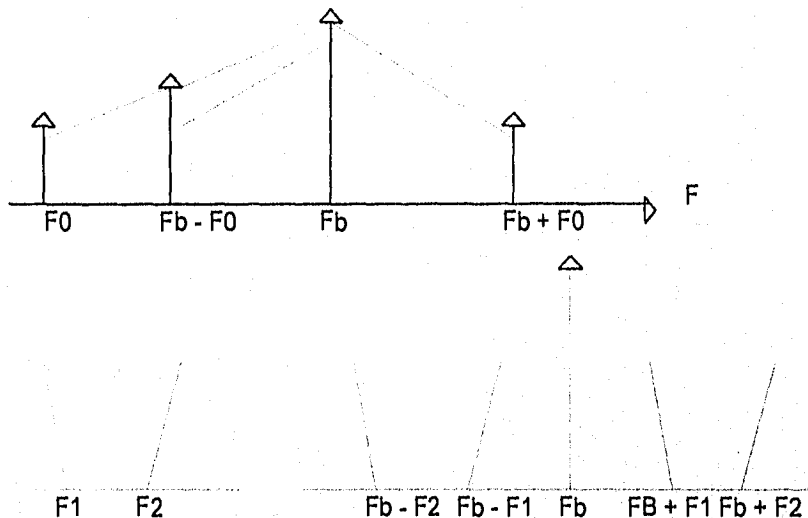


Fig. 2.12 Modulación en amplitud (bandas laterales sup. e inf.)

Mediante el proceso de modulación en amplitud es posible lograr la transposición dentro del espectro de una frecuencia o banda de frecuencias, en la figura 2.12 podemos observar el principio básico de este proceso, en la parte (a) vemos que modulando a una frecuencia f_b con otra f_a obtenemos como resultado la frecuencia f_b y dos frecuencias que son $f_b + f_a$ y $f_b - f_a$, mientras en (b) la frecuencia f_b es modulada por una banda de frecuencias $f_1 - f_2$ y el resultado es la frecuencia f_b y dos bandas laterales una superior $f_1 + f_b \rightarrow f_2 + f_b$ y la otra inferior $f_b - f_2 \rightarrow f_b - f_1$.

En el resultado de la modulación, observamos que la información contenida en la banda original $f_1 - f_2$ se encuentra duplicada en (BLI y en BLS). La fig.2.13 muestra la onda portadora (a), la información (b) y la onda modulada en amplitud (c).

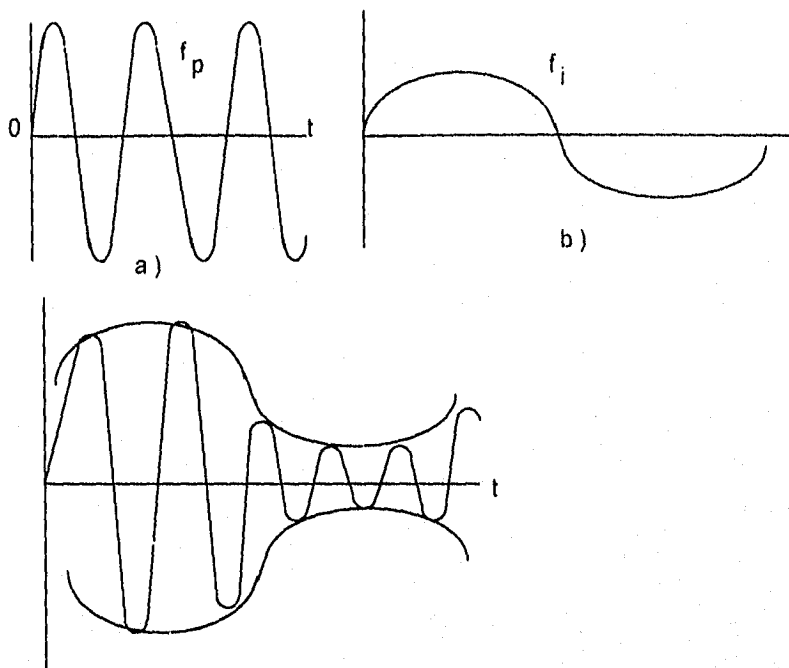


Fig. 2.13 Modulación de amplitud

- a) portadora
- b) información (moduladora)
- c) onda modulada

De acuerdo con la fig. 2.13 podemos explicar la modulación en amplitud como el proceso que consiste en modificar la amplitud de la onda portadora según la intensidad del sonido o imagen.

Se demuestra analíticamente que la onda modulada, resultante de la superposición de la portadora y la información, está formada de tres frecuencias:

- la frecuencia f_p de la portadora
- La frecuencia suma de la portadora y la información $f_p + f_i$
- La frecuencia diferencia de la portadora y la información $f_p - f_i$

Si por ejemplo, la frecuencia de la portadora es de 1000 Kilociclos/segundo y la Información tiene una frecuencia de 1000 ciclos/segundo la onda modulada

$$f_p = 1000 \text{ Kc/s}$$

$$f_p + f_i = 1000 + 1 = 1001 \text{ Kc/s}$$

$$f_p - f_i = 1000 - 1 = 999 \text{ Kc/s}$$

Normalmente la información no es de una onda única, sino un conjunto de ondas de frecuencias comprendidas en una Banda. Si por ejemplo, la información comprende las frecuencias entre 5 y 10 Kc/s y se trata de modular una portadora cuya frecuencia es de 1000 Kc/s, la onda modulada en amplitud presentará las frecuencias:

$$f_p = 1000 \text{ Kc/s}$$

$$f_p + f_i = 1000 + 5 \text{ ó } 1000 + 10 \text{ de } 1005 \text{ a } 1010 \text{ Kc/s}$$

$$f_p - f_i = 1000 - 5 \text{ ó } 1000 - 10 = \text{de } 990 \text{ a } 995 \text{ Kc/s}$$

Es decir, además de la frecuencia de la portadora, dos bandas de frecuencias situadas simétricamente a uno y otro lado de la frecuencia portadora, estas bandas se denominan bandas laterales superior e inferior, como se puede observar en la fig. 2.16.

Como la onda portadora no transmite información, se han ideado sistemas de transmisión que evitan la portadora, lanzando solamente las bandas laterales, e incluso una sola banda lateral, con el consiguiente ahorro de potencia y ancho de banda.

El ahorro de ancho de banda es importante, ya que la banda de frecuencias disponibles para transmitir es limitada y se debe repartir entre los usuarios.

D) Banda Lateral única con Portadora suprimida.

Las bandas laterales resultado de la modulación están transpuestas en frecuencias, solamente es necesario elegir una de ellas y eliminar la portadora, para cumplir con los requerimientos para la transmisión, es decir, banda lateral única (BLU) con portadora suprimida.

Logrando esto, se efectúa la transmisión. En el extremo receptor se provee una frecuencia portadora del mismo valor para realizar el proceso inverso, o sea la demodulación.

La elección de la banda a transmitir se realiza con la inserción de un filtro después de circuito modulador el cual tiene una banda de paso específica, quedando eliminada la banda no deseada y la frecuencia portadora. Normalmente los circuitos moduladores empleados eliminan la portadora. Con esto, también se cumple un requerimiento del CCITT acerca de la "fuga de portadora".

En la figura 2.14 mostramos la modulación de 12 khz con frecuencia portadora con la banda normalizada por CCITT para canal telefónico que es de 300 -3400 Hz, usando la representación normalizada para éste. Vemos como resultado las dos bandas y después la acción del filtro pasa banda 12.3 - 15.4 Khz.

Es muy importante que la curva de respuesta de los filtros sea la correcta, para evitar problemas de interferencia con canales vecinos, provocados por diafonía invertida o fuga de portadora.

E) Estructura de un sistema Múltiplex FDM

La Red de Larga Distancia está estructurada en su mayor parte con equipos múltiplex por división de frecuencia, por tal razón, es de relevante importancia su interacción con el resto de los equipos L.D., así como su conocimiento.

Como ya es sabido la técnica FDM tiene como base la translación de frecuencias para ocupar el espectro de frecuencia disponible. Esto implica necesariamente de la intervención de dos procesos fundamentales: La Modulación y la Generación de frecuencias, de tal modo que todo sistema FDM consiste siempre de equipos de traslación y equipos de generación de frecuencia.

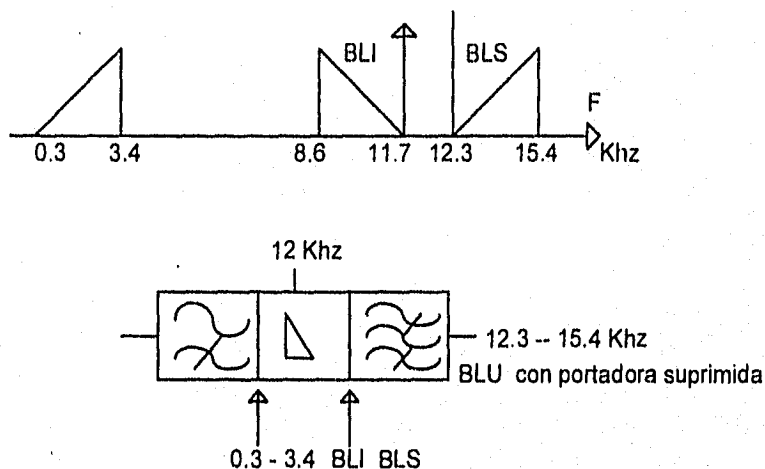


Fig. 2.14 Modulación con frecuencia portadora

Como se ha observado la modulación es el procedimiento adecuado para trasladar diferentes canales telefónicos a los márgenes de frecuencia que convenga transmitir para evitar que se confundan, basta con utilizar una frecuencia portadora adecuada para lograr este traslado en la forma que se desee, para recuperar en el extremo receptor las señales originales se utilizara el procedimiento llamado demodulación.

Los sistemas de frecuencia portadora para líneas físicas han sido diseñadas para proporcionar desde 1 hasta 16 canales telefónicos de alta calidad adicionales sobre un circuito físico existente, suministrando servicio telefónico entre poblaciones relativamente cercanas, también se puede disponer de repetidores, los cuales permiten la operación de los sistemas sobre cables tramos de líneas físicas de considerable longitud.

Generalmente estos sistemas disponen de mecanismos de control automático de nivel, mismos que están diseñados para compensar automáticamente las variaciones de las características de atenuación de las líneas físicas debidas a variaciones en las condiciones climatológicas. En la siguiente figura 2.15 se muestra un enlace por frecuencia portadora.

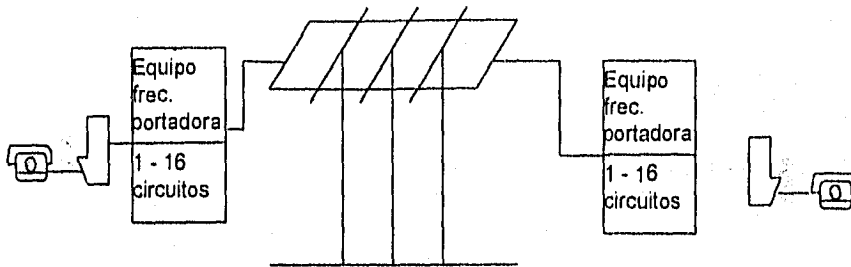


Fig 2.15 Enlace por sistema de frecuencia portadora

F) Planes de modulación

Con objeto de lograr la interconexión entre diferentes sistemas de diferentes países, que tengan equipos de diferentes proveedores con un nivel de bandas de cierto número de circuitos, se requiere que los anchos de banda, capacidad de agrupaciones en conexión, impedancias, etc., sean iguales o con posibilidades de adaptarlas en forma sencilla.

El CCITT ha recomendado normas al respecto, que si no son obligatorias, si son convenientes para los fabricantes. Dichas normas, además de facilitar las interconexiones, permiten la estructuración de los sistemas en forma lógica y flexible.

Los sistemas de transmisión múltiple se clasifican en función de su capacidad, es decir, del número de canales que los constituyen y es claro que entre más capacidad tenga un sistema mayores serán las frecuencias que maneje. Con objeto de normalizar también los sistemas de onda portadora (OP), por cuanto hace a su capacidad, ha sido necesario establecer frecuencias específicas de modulación para cada canal según su capacidad del sistema. En otras palabras, cada sistema emplea determinado arreglo de frecuencia de modulación para trasladar las señales de frecuencia vocal a posiciones bien determinadas dentro de lo que se conoce como rango de banda básica, que es el nombre que se da a la señal multicanal cuyo espectro se ilustra en la figura 2.16. La formulación de estos arreglos de frecuencias de modulación se conoce como asignación de frecuencias o planes de modulación.

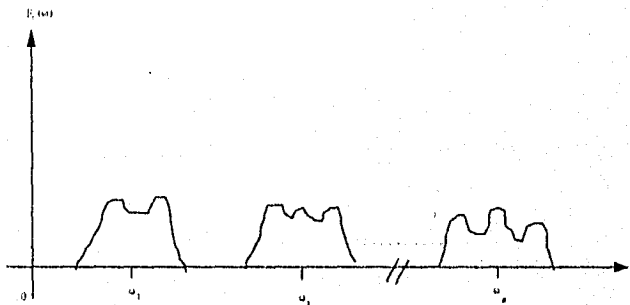


Figura 2.16 Espectro de señal multicanal

Para la estandarización de los sistemas de transmisión múltiple se formuló un plan de modulación normal por grupos de canales para lo cual se normalizó primero el espaciamiento entre portadoras de canal a 4 kHz, lo cual incluye cierta banda de protección entre canales, pues la anchura de banda de frecuencia vocales se normalizó de 300 a 3400 Hz.. Esto se explica más convenientemente en la figura 2.17 en donde existen dos portadoras de canal (4 y 8 KHz) (las cuales son moduladas por la banda de frecuencia vocal de .3 a 3.4 KHz. Considerando por el momento, que mediante los filtros adecuados se seleccionan las bandas laterales inferiores (los filtros suprimen las superiores que se indican con rayas punteadas) el espacio dado por la diferencia $4.6 - 3.7 = .9$ KHz es la banda de protección entre los canales 1 y 2.

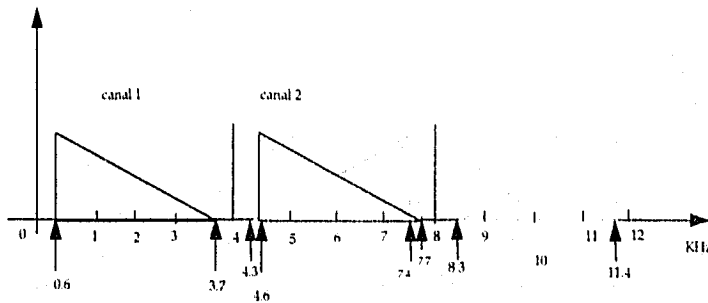


Figura 2.17 Banda de protección entre canales de O. P.

Esta banda de protección entre canales es necesaria pues los filtros que se emplean para suprimir una de las bandas laterales no son ideales pudiendo, de otra manera existir traslape entre canales que provocaría interferencias indeseables entre ellos.

Por otro lado, continuando con la normalización de los sistemas de OP se formuló un plan básico de modulación factible de utilizarse para sistemas por líneas aéreas, así como para sistemas por cable múltiple y de banda ancha por cable coaxial. Los grupos normalizados para sistemas por línea aérea son de dos tipos: grupo primario básico (GB) A de 12 canales que opera en la banda de 60 a 108 KHz. Mediante el empleo de varias etapas de modulación estos grupos básicos de 12 canales se utilizan como bloques de estructura para la formación de sistema de capacidad hasta de varios miles de canales, los cuales, desde luego, requieren de medios de transmisión de banda ancha como el cable coaxial o el espacio atmosférico (microondas). Así, por ejemplo el cable múltiple de fabricación especial para transmisión de larga distancia, permite el empleo de sistemas OP que manejan 60 canales en la banda de 12 a 252 KHz. Dicho cable permite la transmisión de frecuencias hasta de 260 KHz. El cable coaxial, que transmite eficientemente señales en el rango de 60 KHz a 60 MHz, permite el empleo de los sistemas actuales con capacidad de 10800 canales telefónicos en la banda de 4 a 60 MHz.

La banda del grupo primario básico de 60 a 108 KHz se ha adoptado como bloque de construcción para los sistemas OP de gran alcance siendo, además, recomendada por el CCITT para emplearse en los circuitos internacionales. Por otro lado, para emplearse en sistemas de banda ancha se ha establecido un supergrupo estándar (SG) de 60 canales que se forma con cinco grupos de 12 canales de 60 a 108 KHz figura 2.18.

En la figura 2.18 mostramos un supergrupo de 60 canales

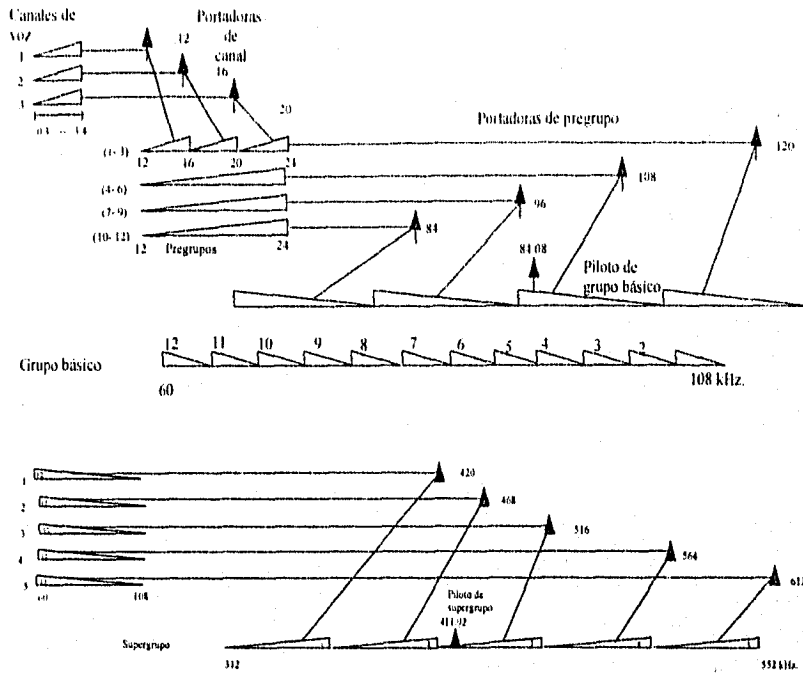


Figura 2.18 Ejemplo de supergrupo de 60 canales.

El rango de frecuencias de este supergrupo es de 312 a 551 KHz. Para el caso que se requieran más canales se ha establecido lo que se conoce como grupo maestro (GM) y supergrupo maestro (SGM) los cuales se forman con etapas de modulación adicionales de acuerdo a la tabla 2.5. En la actualidad, el sistema práctico de mayor capacidad esta formado por 12 supergrupos maestros (10 800) canales que ocupan la banda de 60 MHz.

| Canales. | Grupo Base | SuperGrupo | Grupo Maestro | Super Grupo Maestro | Banda |
|----------|------------|------------|---------------|---------------------|----------|
| 12 | 1 | ---- | ---- | ---- | 48 KHz |
| 24 | 2 | ---- | ---- | ---- | 96 KHz |
| 48 | 4 | ---- | ---- | ---- | 192 KHz |
| 60 | 5 | 1 | ---- | ---- | 240 KHz |
| 120 | 10 | 2 | ---- | ---- | 480 KHz |
| 300 | 25 | 5 | 1 | ---- | 1.2 MHz |
| 600 | 50 | 10 | 2 | ---- | 2.4 MHz |
| 900 | 75 | 15 | 3 | 1 | 3.6 MHz |
| 1800 | 150 | 30 | 6 | 2 | 7.2 MHz |
| 2700 | 225 | 45 | 9 | 3 | 10.8 MHz |
| 10800 | 900 | 180 | 36 | 12 | 60 MHz |

Tabla 2.5 Planes de modulación de los sistema O.P. comunes.

2.6 Sistemas múltiplex por división del tiempo

El principio de este sistema consiste en dividir el tiempo de ocupación de una misma vía de transmisión entre varias comunicaciones, para así aprovechar al máximo dicha vía.

En la fig. 2.19 se muestra este principio, donde 3 comunicaciones se desean ejecutar por los abonados A, B y C pero ocupando una sola vía de transmisión.

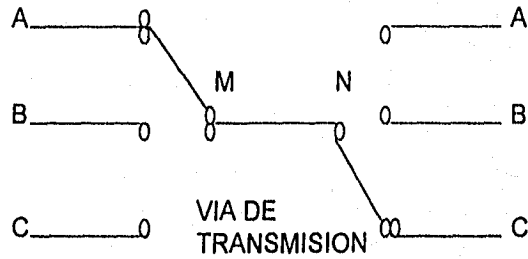


Fig. 2.19 Principio de transmisión de los sistemas TDM

Si los conmutadores M y N, están perfectamente sincronizados y se conectan al mismo tiempo los abonados A, luego los B, y finalmente los C la señal que atraviesa la vía de transmisión es una mezcla temporal de las 3 señales, tal como se muestra en la fig. 2.20.

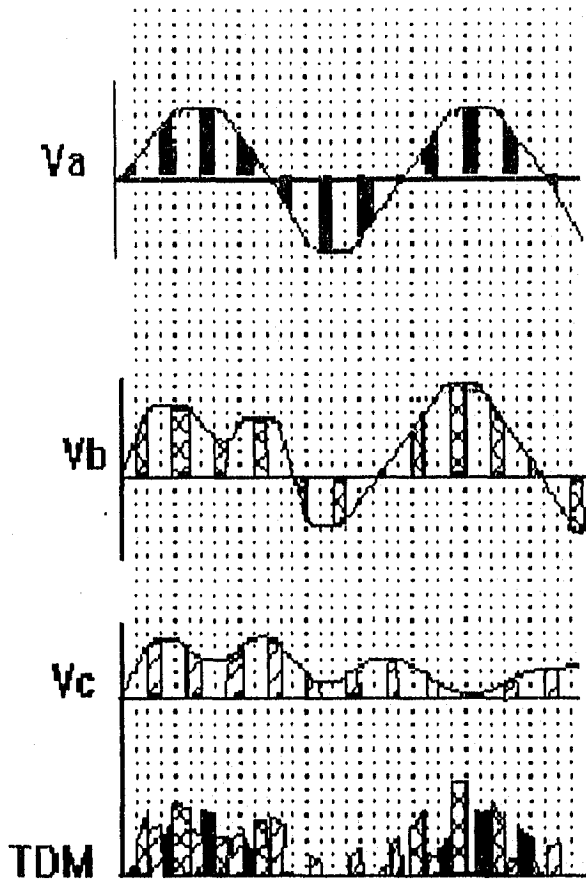


Fig. 2.20 Mezcla temporal de señales para obtener la señal TDM

Como se puede observar la señal así obtenida resulta de una complejidad enorme, después tiene cambios muy bruscos de voltaje y no solo en magnitud sino también en signo.

Esto acarrea 2 problemas en el sistema: la atenuación a lo largo de la vía y la pérdida de sincronía en el sistema.

Atenuación

Toda vía de transmisión presenta el problema de que con la distancia las frecuencias más altas tienden a atenuarse mucho, como los cambios bruscos de voltaje de señal TDM original introducen frecuencias muy altas, estos cambios bruscos van a ser los primeros en sufrir dicha atenuación, dando como resultado que la señal TDM, se suavice como se observa en la fig. 2.21.

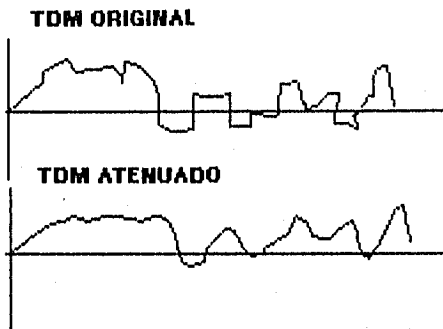


Fig. 2.21 Efecto de la atenuación en la señal TDM

Si volviéramos a separar esta señal TDM atenuada en sus 3 señales originales y si a partir de éstas se intentara reconstruir la información original, el resultado sería muy diferente de la señal que se intentara transmitir esto se puede ver en la fig. 2.22, donde se analiza una sola señal.

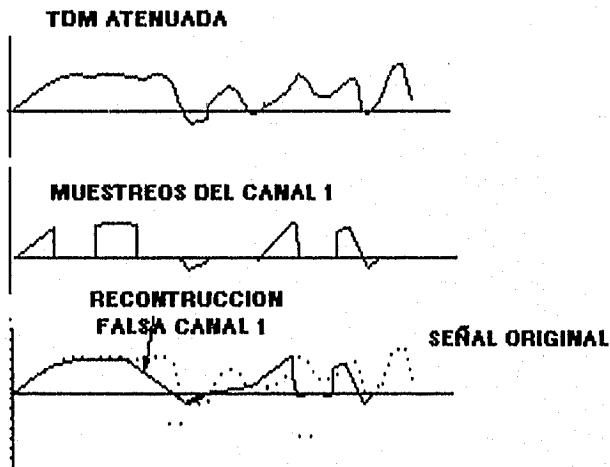


Fig. 2.22 Efecto final al reconstruir la señal original

Muestreo

La reconstrucción de la figura anterior es hecha suponiendo que el conmutador de recepción, es controlado por un reloj perfectamente sincronizado con el de transmisión, para esto se debe considerar que una señal de reloj a grandes distancias se vuelve irreconocible por lo que se debe considerar el teorema de Nyquist o de muestreo, que dice:

La frecuencia de muestreo máxima a utilizar es al menos el doble de la máxima frecuencia a la que se desea transmitir, con esto el teorema asegura una reconstrucción correcta de la señal, por lo que en telefonía la frecuencia de muestreo debe ser al menos 8000 hz (8 khz) esto debido a que el canal telefónico va de 0 a 4 khz. Por lo tanto el periodo que se utilizara sera $T_m = 125$ seg.

La acción de muestreo hace que se produzcan replicas del espectro de la señal de información situadas simétricamente en la vecindad de la frecuencia de muestreo f_m (espectros II y III) en la figura 2.23 b.

Como la señal PAM consiste de muestras de la señal telefónica, las cuales tienen duración finita y son transmitidas a ciertos intervalos de tiempo, se utilizan los intervalos de tiempo durante los cuales no se transmite esta señal, para transmitir la información correspondientes a otras señales PAM, es decir los instantes de muestreo son diferentes para cada señal, requiriéndose por esto, una sincronización apropiada entre el transmisor y el receptor con el objeto de eliminar la diafonía o superposición entre canales de transmisión adyacentes. Este proceso es el llamado Múltiplex por División del Tiempo (TDM).

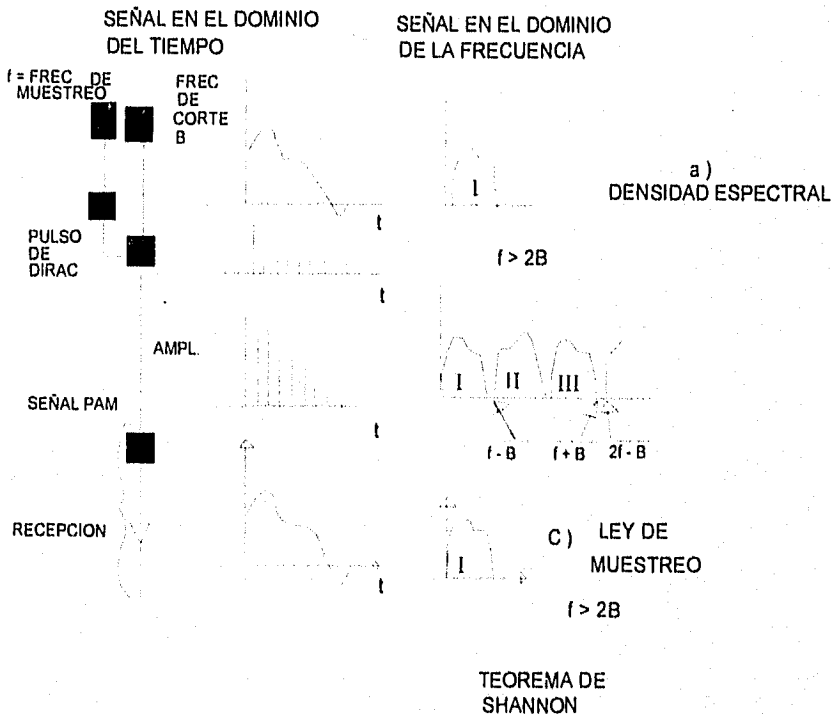


Fig 2.23 Muestreo de la señal

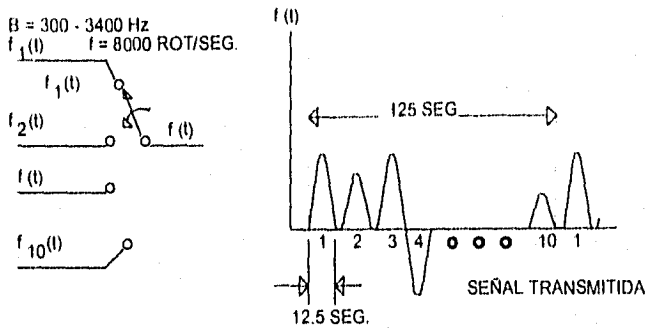


Fig 2.24 muestras de la señal PAM

Es oportuno hacer notar dos parámetros de la señal PAM muy importantes: el ancho de banda y la sincronización.

El ancho de banda (B) necesario, se incrementa con el número de señales multicanalizadas. En general si se quiere multicanalizar N señales en tiempo, el ancho de banda requerido sería N veces mayor que para una sola señal.

Por ejemplo, supóngase que se tienen 10 canales de voz c/u limitado a 3.4 KHz y muestreados secuencialmente a una rapidez de 8 KHz, para efectos de multicanalización por un canal común de transmisión. Las muestras o pulsos sucesivos de la señal PAM estarían espaciados 12.5 μ seg. como lo muestra la fig. 2.24 El ancho de banda necesario para transmitir estos pulsos es aproximadamente 80 KHz.

Para la sincronización y registro de los pulsos sucesivos en el receptor, es necesario que el "explorador" de los diversos canales en el receptor esté sincronizado con el "explorador" del transmisor con el objeto de que los pulsos sean recibidos en el canal apropiado correspondiente. En la figura 2.25 se ilustra el principio mencionado.

Existen varias técnicas que pueden utilizarse en la práctica para lograr la sincronización y registro adecuado de los pulsos de la señal PAM, como por ejemplo:

El uso de pulsos especiales, enviados periódicamente a intervalos regulares.

Una organización tal de la señal PAM que permita extraer la información de sincronización de los mismos pulsos de señal transmitidos, tomando un promedio sobre un cierto período de tiempo.

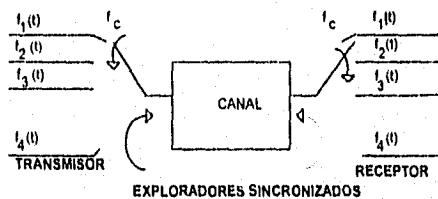


Fig. 2.25 Sincronización y registro

CUANTIFICACION

En el Sistema PCM, la onda PAM, obtenida por muestreo, está sujeta a procesos posteriores que son:

cuantificación y codificación.

La cuantificación se realiza generalmente al mismo tiempo que la codificación.

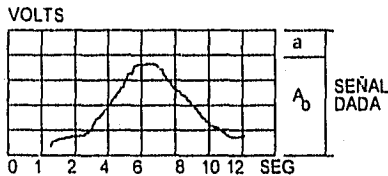
El proceso de cuantificación tiene como resultado inevitable una pérdida de información, puesto que es imposible reconstruir la señal analógica original a partir de su versión cuantificada; sin embargo, realmente no es necesario transmitir todas las amplitudes posibles que tiene la señal original.

En la figura 2.26 la señal analógica mostrada en (a), el rango dinámico de amplitud se ha dividido en niveles igualmente espaciados de 1 volt; por lo tanto habrá $M=A_0/a + 1$ niveles posibles incluyendo el nivel cero.

Se han tomado las muestras cada segundo y en (b) se aprecia como se ha seleccionado el nivel discreto más cercano, siendo éste el que se transmite.

Aunque en el presente ejemplo la separación entre los niveles de cuantificación se ha considerado uniforme, en la práctica esta separación es menor para las amplitudes grandes.

El proceso de cuantificación introduce cierto error en la reproducción de la señal. Se tendrá el efecto como si se hubiera introducido ruido en el sistema, el cual se conoce como ruido de cuantificación. Desde luego que se puede disminuir este tipo de distorsión, disminuyendo la separación entre los niveles de cuantificación.



VOLTS

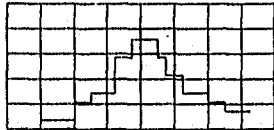


Fig. 2.26. proceso de cuantificación

En la fig. 2.27a se muestra una señal V_i a la que se aplica el proceso de cuantificación lineal ilustrada en (b). Como se podrá ver en (c), en donde se muestra la señal cuantificada V_o , la distorsión de cuantificación es particularmente severa en las amplitudes pequeñas de la señal entrada V_i .

De esta forma, las réplicas de estas amplitudes bajas de señal de información, son difíciles de obtener a la salida; la relación entre la potencia de señal y la potencia de ruido (relación señal a ruido), es baja. En la figura 2.28, curva (a), se muestra la relación señal a ruido de cuantificación como una función de la potencia de la señal de información S para una cuantificación lineal.

El rango dinámico obtenido con una cuantificación lineal es muy pequeño, como se ve en la figura 2.28 (a) para potencias de señal baja se tiene una relación señal a ruido de cuantificación muy baja. Para aumentar este rango dinámico (fig.2.28b) y obtener una curva de distorsión de cuantificación plana, en un cierto rango de niveles de señal, se introduce la cuantificación no lineal por medio de un compresor de nivel en el transmisor, por lo que se tendrá la necesidad de tener un expansor de nivel en receptor, para volver la señal a su forma original. El compresor tiene alta ganancia para amplitudes pequeñas y baja ganancia para amplitudes grandes. El expansor tiene características inversas.

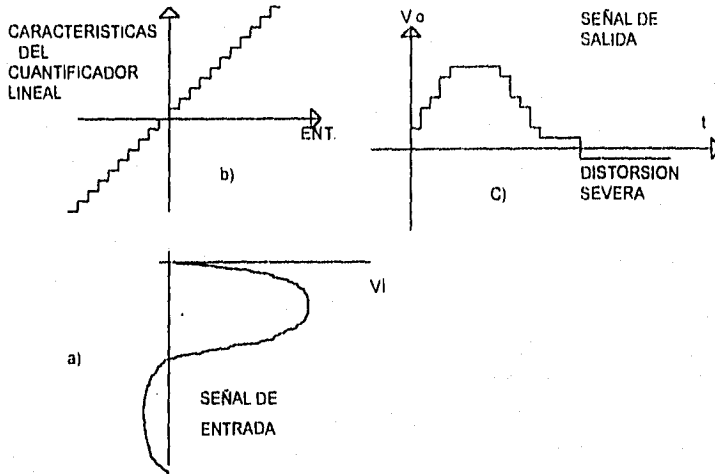
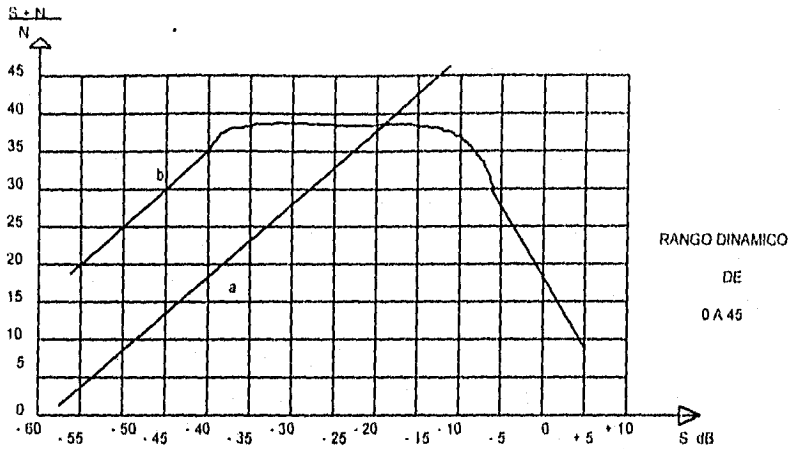


Fig. 2.27 Cuantificación lineal

Las distribuciones de amplitud de los niveles de voz adoptan una distribución exponencial. Generalmente la probabilidad de que ocurra una amplitud muy alta para las ondas de entrada es pequeña, y por lo tanto no es ventajoso dividir el rango completo de cuantificación en intervalos iguales. Contrariamente el ancho de los escalones correspondientes a los niveles de baja amplitud, los cuales ocurren más frecuentemente, serían más angostos desde el punto de vista de información de transmisión. La onda a la salida del compresor adopta una distribución de amplitud diferente en relación con la entrada y está uniformemente cuantificada.

A estos procesos de compresión y expansión se les conoce conjuntamente como proceso de "compandig".



S = POTENCIA DE SEÑAL DE VOZ
S + N = POTENCIA DE SEÑAL DE VOZ + POTENCIA DEL ERROR (RUIDO) DE CUANTIFICACION DENTRO DE LA BANDA 300 - 3400 Hz.
N = POTENCIA DE ERROR (RUIDO) DE CUANTIFICACION
a = CUANTIFICACION DE 256 NIVELES (LINEAL)
b = CUANTIFICACION DE 256 NIVELES (NO LINEAL)

Fig 2.28 Proceso de cuantificación

La ley de compresión definida por el CCITT para múltiplex PCM de 30 canales, consiste de 13 segmentos como se indica en la figura 2.29, esta curva resulta de la distorsión de cuantificación y duplica aproximadamente el rango dinámico comparado con la cuantificación lineal.

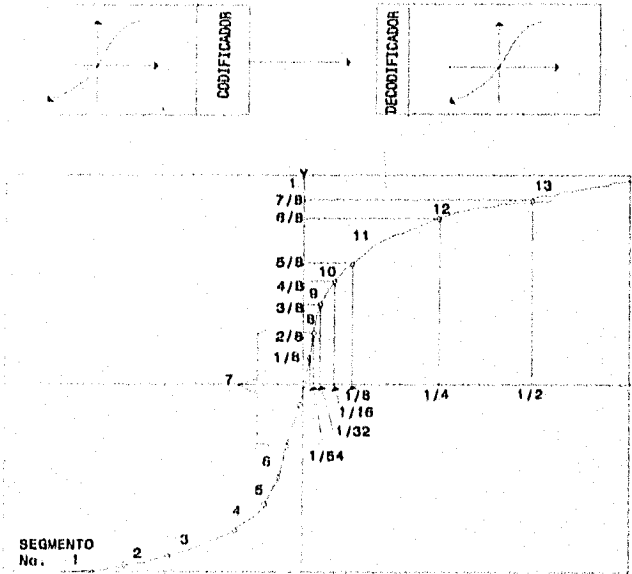


Fig.2.29 Ley de compresión de los 13 segmentos

CODIFICACION

Proceso mediante el cual el número ordinal del nivel de cuantificación se representa como un grupo de dígitos binarios, llamándosele palabra codificada o carácter de un intervalo elemental. Las muestras cuantificadas de la señal se codifican en grupos de dígitos o pulsos (bits) de amplitud fija. La codificación mencionada de las muestras sigue la conocida conversión decimal - binaria; por ejemplo, en la tabla siguiente se han tabulado los números 0 a 7 en decimal, en binario y su correspondiente polaridad de representación eléctrica. Así, un sistema PCM de 8 niveles requiere de 3 dígitos binarios para la transmisión, 16 niveles requerirían 4 dígitos binarios, etc. (EL CCITT define 256 niveles de cuantificación para sistemas de 20 canales, REC.G711).

SEÑALES BINARIAS

| NIVEL AMPLITUD | DIGITOS BINARIOS | SEÑAL BIPOLAR |
|-------------------|---------------------|------------------|
| 0 | 000 | -1-1-1 |
| 1 | 001 | -1-1 1 |
| 2 | 010 | -1 1-1 |
| 3 | 011 | -1 1 1 |
| 4 | 100 | 1-1-1 |
| 5 | 101 | 1-1 1 |
| 6 | 110 | 1 1-1 |
| 7 | 111 | 1 1 1 |

Tabla 2.6 Señales binarias

La forma binaria de transmisión nos ofrece una mayor inmunidad al ruido, ya que como se ha mencionado, la información se tiene por la ausencia o presencia de un pulso(o por su polaridad como veremos más adelante).

En un sistema PCM es necesario regenerar los pulsos a intervalos periódicos durante la transmisión. La regeneración de los pulsos se lleva a cabo en "repetidores regenerativos" entre transmisor y receptor con el fin de mejorar las decisiones, que sobre la señal digital recibida, deben tomarse en el receptor.

Puesto que un grupo de dígitos binarios debe transmitirse en el intervalo de muestreo originalmente destinado a una muestra cuantificada, las duraciones de los dígitos binarios serán correspondientemente más cortas; por lo tanto, el ancho de banda para la transmisión aumenta proporcionalmente al número de bits usados. En la figura 2.31a. y b se muestra un ejemplo en el que se transmiten 3 bits por cada muestra, así que el ancho de banda aumentó 3 veces.

En la figura 2.30 a se ilustra la posibilidad de usar un código bipolar con el "1" representado por un pulso positivo y el "0" por un pulso negativo. En la tabla anterior aparecen los 2 tipos de señales binarias.

Normalmente, la codificación y la compresión se realizan en la misma unidad, el codificador de PCM. Las amplitudes de los pulsos PAM son comparadas con un voltaje de referencia, el cual es producido por una serie de generadores de voltaje, los que a su vez son controlados digitalmente. Dependiendo de la amplitud del pulso PAM estos generadores son activados de diferente manera, con el fin de imitar la amplitud del pulso PAM y representarla digitalmente con un grupo o palabra de cierto número de bits.

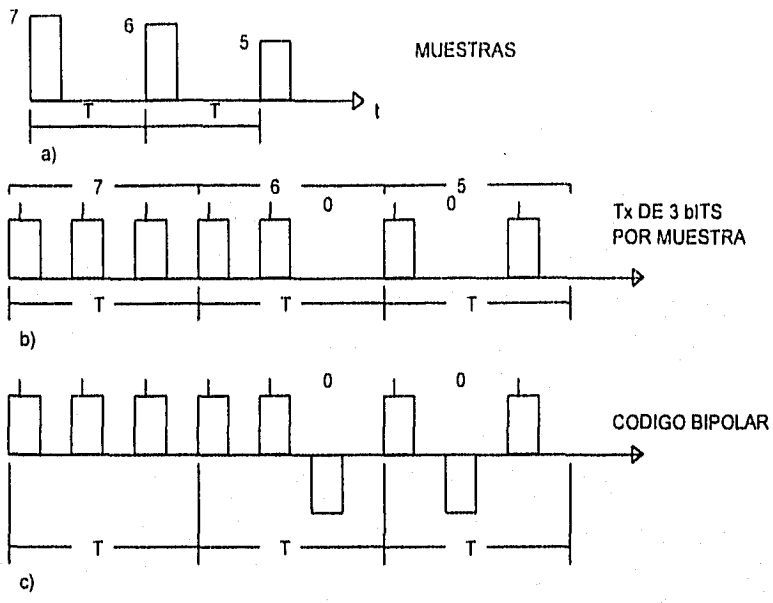


Fig. 2.30. El ancho de la banda aumenta proporcionalmente al número de bits usados

CODIGO DE LINEA

La señal que se tiene a la salida del codificador es un tren de pulsos unipolar. Esta forma de señal no es apropiada para ser transmitida a la línea a grandes distancias, ya que de esta manera, todos los pulsos tienen la misma polaridad.

La principal desventaja de este código unipolar para su transmisión sobre un cable, es un alto contenido de corriente directa, la que no puede ser transportada a través de los transformadores de entrada y salida de los repetidores regenerativos.

Para eliminar este problema se ideó el código de línea llamado AMI cada pulso entrante está representado con un pulso de polaridad opuesta al que le precede, esto sin tomar en cuenta el número de (espacios) que existen entre ellos. Con ello se elimina el problema del contenido de c.d. del tren de pulsos que sale del codificador, puesto que el valor medio de contenido de c.d. del código AMI es cero. La segunda ventaja del código AMI es que también el contenido de alta frecuencia es mucho más pequeño; la mayor parte de la energía de la señal permanece simétricamente alrededor de la frecuencia a la mitad de la razón de bits.

Otro código de línea es el HDB-3. Su significado es el de alta densidad bipolar (High bipolar density) y el índice significa un máximo de 3 veces consecutivas. Con este código, el número máximo de espacios consecutivos permitidos son tres. Este código sigue la siguiente regla: mientras no aparezcan más de tres ceros en forma consecutiva en la señal binaria, el código HDB es idéntico al código AMI (sigue la regla bipolar).

Si en la señal binaria se presentan cuatro o más ceros en serie, ellos son subdivididos en grupos de cuatro: el último cero de cada grupo se convierte en una marca representada en la letra V (V=violación), el primer cero siguiente se convierte en una marca B, para obtener la polaridad alterna.

El objeto principal, es por supuesto, mantener el valor de c.d. en Cero. Al final de la línea digital los ceros originales tendrán que ser recobrados (proceso de decodificación).

Hay tres tipos de decodificación:

a) La más simple es buscar violaciones únicamente, y si se encuentran, cambiar V por 0 mas el bit que está tres posiciones antes y convertirlo a 0 también. Este método es llamado decodificación sobre v.

b) Otro proceso es la decodificación sobre OOV.

c) Otro más es el de decodificación sobre BOOV.

En la figura 2.31 se muestra la conversión a código de línea.

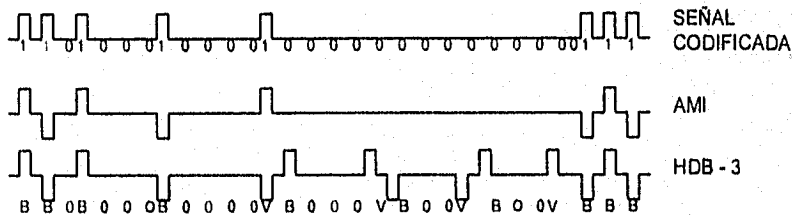


Fig. 2.31 Códigos normales, AMI y HDB-3.

REGENERACION

La regeneración se efectúa en los repetidores llamados regenerativos los cuales son terminales e intermedios.

El repetidor regenerativo tiene tres funciones básicas que son: igualación, sincronización y regeneración.

Supongamos que un tren de pulsos, formado por pulsos positivos y negativos, además de una serie de espacios, sale de un repetidor de línea. Los pulsos que aparecen en la entrada del siguiente repetidor, han sido distorsionados por las características del medio de transmisión y por otras interferencias. La función del primer bloque en el repetidor (preamplificador o igualador) es elevar el nivel de los mismos, hasta un punto donde se pueda decidir con una baja probabilidad de error si la señal transmitida es un pulso (1) o un espacio (0).

La regeneración final del tren de pulsos, se efectúa simultáneamente con la sincronización.

En la figura 2.32 se muestra la forma de los pulsos sobre la línea de transmisión.

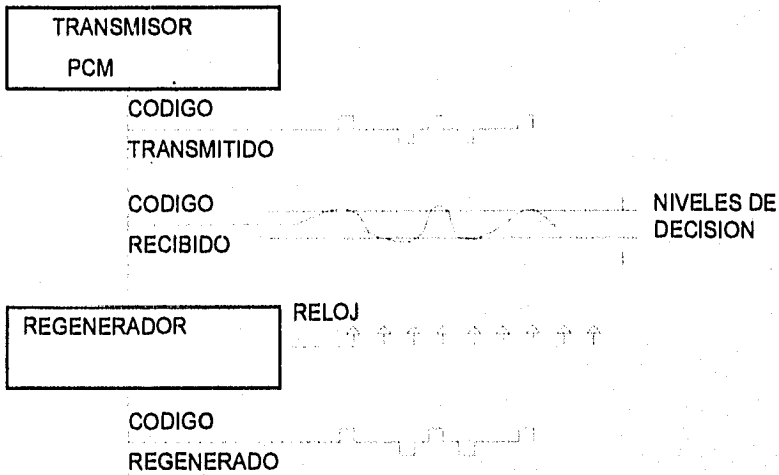


Fig. 2.32 Reconstrucción de la señal analógica

RECEPCION

El proceso en el lado receptor, para convertir la señal de habla analógica, es regenerarla, decodificarla y demodularla.

La señal bipolar es convertida a unipolar por medio de una unidad receptora de código de línea. En el proceso de decodificación las palabras codificadas generan pulsos de amplitud, que corresponden a las muestras cuantificadas, figura 2.33.

La señal analógica se reconstruye en un filtro de paso bajo. Esta señal analógica lleva consigo el ruido de cuantificación fig. 2.34.

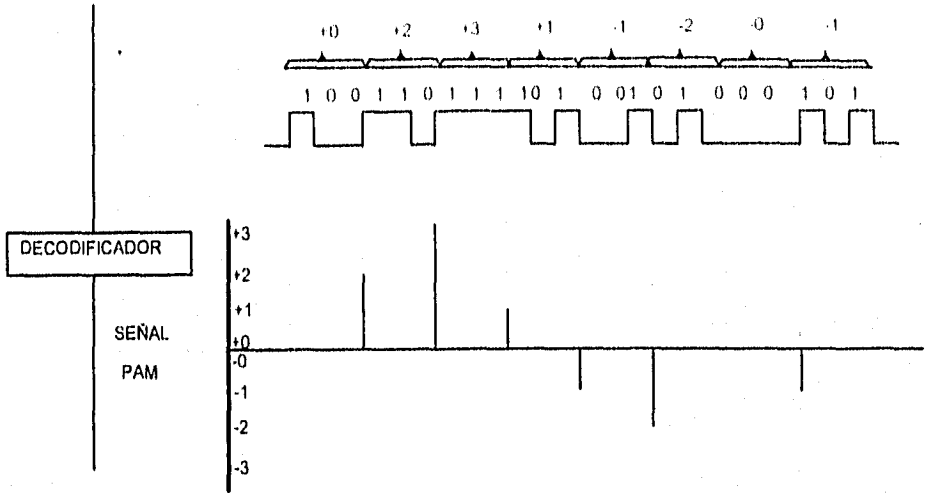


Fig. 2.33 Decodificación

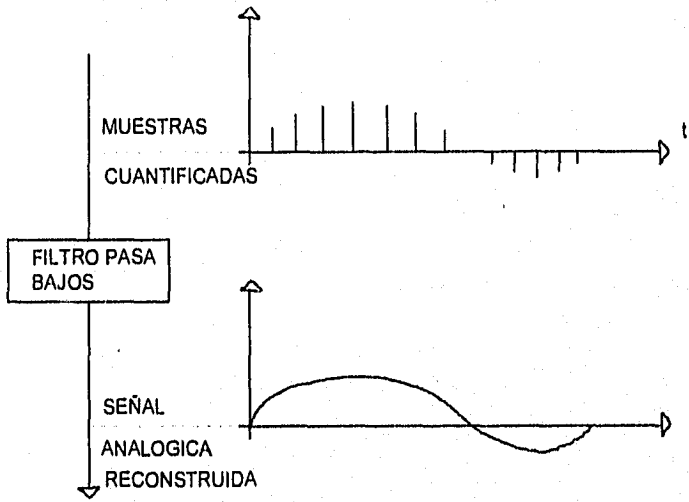


Fig.2.34 Reconstrucción de la señal analógica

JERARQUIA DE SISTEMAS PCM

En la misma forma que los sistemas multiplex por división de frecuencia (FDM) se dividen en "Grupos", "Supergrupos", etc. es necesario definir una jerarquía para los Sistemas Multiplex PCM, es decir, una jerarquía digital, la cual debe tener reconocimiento internacional.

Los dos Sistemas PCM recomendados por el CCITT generan, respectivamente, 2048 kbit/s para la configuración "ley-U". Estos son los sistemas de 1er. orden y con base en ellos se han propuesto dos jerarquías digitales, las cuales se indican a continuación.

| ORDEN | kBIT/S | kBT/S |
|-------|--------|--------|
| 1o | 2048 | 1544 |
| 2o | 8448 | 6312 |
| 3o | 34368 | 44736 |
| 4o | 139264 | 274176 |

2.7 SISTEMAS DE RADIOENLACES

En tecnología de radio existen 3 formas de aplicación : multicanal , monocanal y el multiacceso. El multicanal generalmente se utiliza para transmitir varios canales que se multiplexan o multicanalizan ya sea en frecuencia o en el tiempo utilizando un par de frecuencias de transmisión y recepción en las bandas UHF o SHF que es lo que conocemos como microondas y utilizan la transmisión a 4 hilos más señalización E y M.

Sus equipos son instalados entre terminales o entre terminal y base de tal forma que sus canales llevan información de voz tomando el lugar de las troncales , por lo que no se conectan a ellos aparatos de abonado en forma directa, a menos que, conectados por medio de interfases especiales se asigne cada canal y se de servicio a un teléfono o línea por cada uno de ellos.

El monocanal y el equipo de acceso múltiple se conectan a nivel de abonado, manteniendo entre si muchas semejanzas, diferenciándose en que el monocanal proporciona solo un canal de radio con dos pares de frecuencias que todo el tiempo permanecen enlazados, mientras que el multiacceso maneja varios canales que son utilizados por varios abonados cuando lo requieren ya que cada uno posee en su transmisor/receptor (transceptor) un explorador para buscar un canal libre de los que tienen opción a utilizar.

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema de acceso múltiple o multiacceso a continuación se describe brevemente:

Este tipo de sistema funciona mediante la operación compartida de canales o vías de radio, esto es, con un reducido grupo de pares de frecuencias para que un número relativamente alto de abonados puedan tener servicio.

La primera y más importante parte del sistema es el llamado concentrador, unidad de control y lógica o equipo terminal de interfaz y control , a este equipo se conectan las líneas de una central telefónica asignandoles un número de abonado perteneciente a esta misma central . Este equipo elige busca y asigna un canal de radio (par de frecuencias); y por medio de códigos de tonos u otro método como transmisión de señales FSK (Frequency Shift Keying/ Modulación por desplazamiento de frecuencia) localiza al equipo del abonado que es llamado, de tal manera que pueda contestar su código y a su vez el equipo de lógica establezca el enlace y pase la llamada haciendo timbrar el teléfono del abonado o radiosubscriptor . Cada abonado posee una tarjeta de lógica con capacidad de utilizar todos los canales que existan, cada uno a la vez , para realizar llamadas o recibirlas, buscando canales libres mediante exploración secuencial.

La estación base de radio es el segundo equipo en importancia ya que tiene la misión de comunicar al equipo de lógica con los abonados, mediante un grupo de transmisores y receptores de radio controlados por este. Finalmente los abonados o radiosubscriptores son los equipos de radio que permiten la transmisión y recepción simultánea de una conversación telefónica, incluyendo las características de un teléfono común, como son el timbrado, discado automático, tonos de invitación a marcar o de ocupación, de tal forma que una persona utiliza el servicio no pueda imaginarse que está utilizando un canal de radio. Otra característica es la primacía y secreto de la conversación, puesto que no existe posibilidad de que un subscriptor escuche a otro, teniendo además la ventaja de tener una línea con un número de una central de la red telefónica pública conmutada.

2.8 TECNICAS DE ENLACE CELULAR

En los sistemas celulares debemos diferenciar que aunque actualmente los sistemas analógicos son los preponderantes los fabricantes de sistemas celulares como Ericsson, Motorola, etc. están esforzándose para lograr la introducción de los sistemas digitales.

Los sistemas existentes son AMPS/TACS Y NMT 450/900 los cuales son de funcionamiento analógico y son los que han llevado el liderazgo de las comunicaciones móviles.

AMPS/TACS

El sistema denominado (Total Access Communication System) es una derivación del sistema americano, (American Mobile Phone Service (AMPS)) con solo los cambios necesarios para incrementar la frecuencia de operación de 800 a 900 MHz, reducir la separación de canales de 30 a 25 KHz, y operar en un ambiente nacional, por lo tanto es un estándar analógico de segunda generación ya que incorpora los atributos originales de AMPS con perfeccionamientos que resultan en lo que es sin ninguna duda el estándar analógico más sofisticado del mundo.

El empleo de un sistema FM con gran excursión de frecuencia y con compresión - expansión cuadrática ha resultado en una calidad de voz extremadamente alta y gran resistencia a ruido e interferencias. Ha sido así posible proveer una enorme capacidad pico explotando extensivamente el reemplazo de frecuencias con un número relativamente reducido (300) de canales asignados y pequeñas celdas con la flexibilidad para emplear celdas de gran diámetro para proveer cobertura nacional económica.

NMT 450/900

Este sistema funciona a la frecuencia de operación de 450/900 Mhz ha estado en funcionamiento en los países nórdicos desde 1981-1982 y ha sido modelo para muchos otros sistemas móviles alrededor del mundo.

En 1990 tenían un total de 931 000 teléfonos móviles con este sistema (NMT) lo que daba un total de 41 aparatos por cada 1000 habitantes. Algunas de las razones del éxito de NMT es su amplia cobertura geográfica aun dentro de áreas ubicadas separadamente, otro factor es que son equipos muy ligeros.

A continuación presentamos una tabla de características de estos sistemas.

| Frecuencia | Sistema | Canales celular | Radio subscriptor | Capacidad |
|------------|-----------|-----------------|-------------------|-----------|
| 450 | NMT | 180 | 30 - 5 | 200,000 |
| 900 | NMT | 1000 | 15 - 2 | <1000,000 |
| 800 - 900 | AMPS/TACS | 1000 | | 100,000 |

CAPITULO III

PRINCIPIOS DE TELEFONIA CELULAR

3 UN SISTEMA CELULAR BÁSICO

Un sistema celular básico consiste de 3 partes :

- *Unidad móvil*

Una unidad de teléfono móvil contiene una unidad de control, un transceptor y un sistema de antena.

- *Local celular o Estación base*

El local celular provee interfase entre la oficina de conmutación telefónica móvil y las unidades móviles, tiene una unidad de control, gabinetes de radio, antenas , una planta de fuerza y terminales de datos.

- *Oficina de Conmutación Telefónica Móvil o Centro de Conmutación Móvil (CCM).*

La oficina de conmutación es el elemento coordinador de todos los locales celulares, contiene un procesador celular y el conmutador celular, se interconecta con las oficinas de la compañía telefónica de la zona , controla el procesamiento de llamadas y maneja las actividades de cobros.

La figura 3.1 muestra el sistema con conexiones de enlace entre los tres subsistemas.

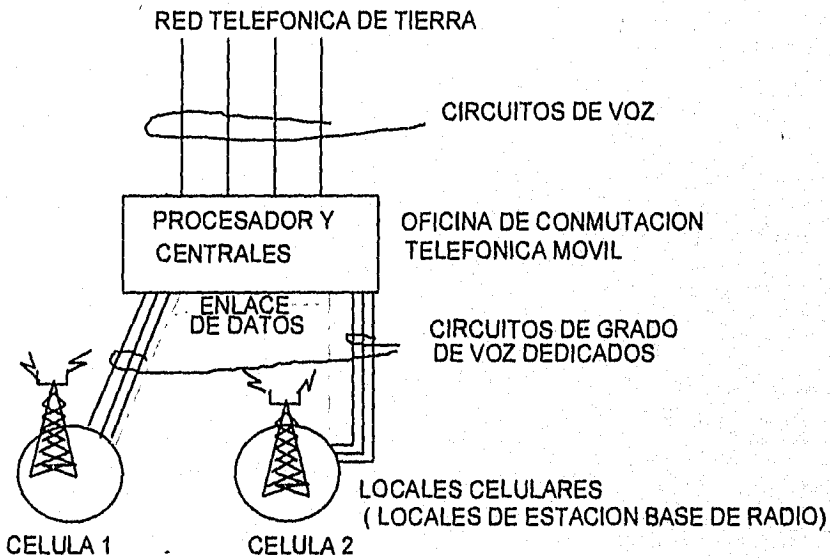


Fig 3.1 sistema celular básico

Conexiones

El radio y enlaces de datos de alta velocidad conectan los tres subsistemas, cada unidad móvil puede usar un solo canal a la vez para su enlace de comunicación, pero este canal no es fijo por lo que puede ser cualquiera en la banda asignada para atender el área, con cada local manejando capacidades multicanal que pueden conectar simultáneamente varias unidades móviles.

La Oficina de Conmutación Telefónica Móvil es el corazón del sistema móvil celular, su procesador proporciona la coordinación central y la administración celular, la central celular que puede ser analógica o digital conmuta las llamadas para conectar a los suscriptores móviles a otros suscriptores móviles y a la red telefónica nacional, utiliza troncales de voz similares a las troncales de voz interoficina de la compañía telefónica, también enlaces de datos que proveen la supervisión entre el procesador y el conmutador y entre los locales celulares y el procesador. Los enlaces de radio llevan la señalización y la voz entre la unidad móvil y el local celular, los enlaces de datos de alta velocidad no pueden ser transmitidos sobre las troncales telefónicas estándar y de tal forma deberán utilizar enlaces de microondas o portadoras E (líneas físicas), los enlaces de microondas o las portadoras E llevan voz y datos entre el local celular y la CCM.

3.1. La Estación Móvil.

El equipo de suscriptor móvil es llamado estación móvil (EM), estas son fabricadas por un número independiente de fabricantes, esto es porque el diseño y las facilidades del suscriptor implementados en ellos puede variar.

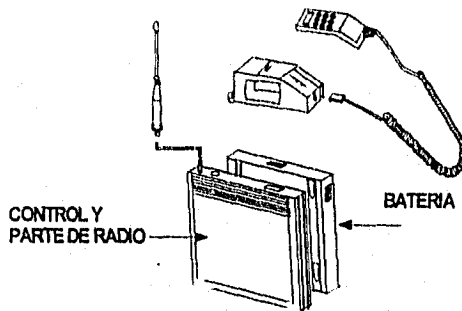


Fig.3.2 Construcción mecánica de una estación móvil

Las estaciones móviles pueden ser utilizadas para diferentes aplicaciones, tales como:

Instalado en un carro.

Transportable, puede ser llevado en la mano, esto es a menudo un doble rol, esto es que puede ser utilizado instalado en un carro pero fácilmente removido e instalado en un bote o simplemente llevado en la mano cuando exista la necesidad.

Llevado en mano - una unidad portátil pequeña de baja potencia de salida. Permanentemente usado como reemplazo para los teléfonos ordinarios (cajas de monedas) en lugares remotos fuera del área de la Red Pública, pero además de la cobertura celular. Usado como teléfono público en trenes, aviones, etc. requiera cargar la información para ser enviada en el canal de voz del radio.

3.1.1 Potencia de salida de la estación móvil.

Comparados con la estación base se utilizan bajos niveles de potencia entre 0 a 3 W, gracias al avanzado sistema de diversidad de receptor en la estación base, las menores señales recibidas de estaciones móviles pueden ser aceptadas.

La máxima salida de potencia es casi 3W para el móvil instalado en el carro y casi 1w para el teléfono de mano, el acceso del móvil al CCM envía la marca de clase de estación el cual indica la máxima salida de potencia válida, todas las estaciones móviles son informadas en el canal de control del cual es el nivel inicial de potencia que deberán usar (ver fig. 3.13 y 3.19), en células pequeñas la potencia deberá ser menor que en células más grandes, esto es muy importante para el reuso de frecuencia porque 2 células usando las mismas frecuencias en una configuración de célula pequeña estarán muy cerca a las otras y la interferencia co-canal puede fácilmente ocurrir.

Durante una llamada en progreso la estación móvil puede ser requerida por la estación base a que eleve o baje su salida de potencia, esto es porque la estación móvil puede estar en un momento lejos de la estación base, lo cual retrasa la conversación y en otro momento se puede mover cerca de la estación base, por esas razones la estación móvil puede automáticamente atenuar su nivel de potencia máximo en ocho pasos:

| PASO | NIVEL DE ATENUACION | |
|------|---------------------|---|
| | NO ATENUADO | P.EJ. 3W Para estación móvil instalada en carro |
| 0 | 4 dB | |
| 1 | 8 dB | |
| 2 | 12 dB | |
| 3 | 16 dB | |
| 4 | 20 dB | p.ej. 30 mW |
| 5 | 24 dB | |
| 6 | 28 dB | p.ej. 5 mW |
| 7 | | |

Diagrama de bloques de las unidades de función

El diagrama de bloques de las unidades de función es presentado en la fig. 3.3

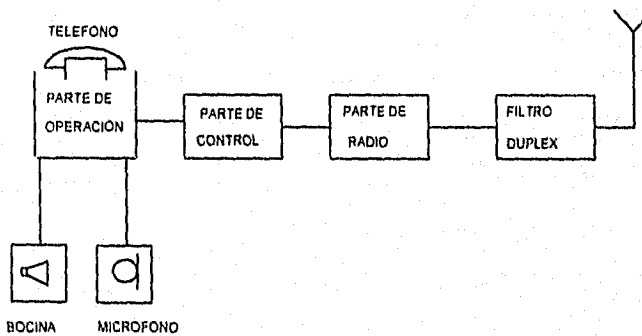


Fig. 3.3 Diagrama de bloques de las unidades de función

La parte de operación.- Es controlada por un microprocesador y esto es por lo que un número de facilidades pueden ser fácilmente implementadas en el , esta parte es hoy en día incorporada al teléfono. Esta parte contiene un teclado de botones y un display, la sensibilidad de los dígitos marcados y la operación del display de cristal liquido es manejado por microprocesador mencionado anteriormente.

La parte de control.- Que también está basada en un microprocesador maneja las siguientes tareas:

- Señalización de datos en el patrón de radio de acuerdo a los protocolos descritos en el capítulo 3.
- Control de la parte de radio tal como la selección de canal, inicio del transmisor, apertura de la ruta del canal, decisión entre que TMS debería ser anillado, etc.
- Comunicación con la parte de operación por ejemplo durante la recepción del número B marcado a ser enviado al patrón de radio, etc.

La parte de radio (transmisor , receptor , y amplificador de potencia) el cual funciona muy similarmente a la parte de radio de las estaciones base.

Filtro duplex .- Es usado para transmisión y recepción simultanea sobre la misma antena en el patrón de radio.

Pueden ser instalados una bocina y un micrófono adicionales para operación manos libres.

Rastreo de canales de control de la estación móvil

En forma de sintonizar el mejor canal de control la estación móvil debería buscar entre los canales de control existentes, esto es llamado rastreo de canales de control, este rastreo puede ser iniciado porque la unidad lógica de la estación móvil automáticamente inserta el primer número de canal de control en el generador de frecuencia.

El receptor sentirá si la calidad de recepción es buena, si no la búsqueda continúa en la forma que el siguiente canal es seleccionado hasta que los 21 canales han sido tratados, por supuesto uno de los canales de control debería tener buena calidad de otra manera la estación móvil está fuera del radio de cobertura.

El tiempo de sintonización de un canal a otro es llamado tiempo de conmutación y toma aproximadamente 20 ms para canales adyacentes el cual es el caso cuando los canales de control son rastreados , el tiempo correspondiente para canales no adyacentes es de 40 ms.

3.1.2 Preprogramación de una estación móvil

Entre las piezas de información que deberán ser preprogramadas antes de la instalación de la estación móvil los más importantes son :

- **Número de estación móvil** : El cual es la identificación del móvil que es usada en el patrón de radio, es dividido en dos partes : 3 dígitos más significativos y 7 dígitos menos significativos.
En algunas aplicaciones solo se requieren los 7 dígitos menos significativos en orden desde el C.C.M., esta repetitiva petición es enviada en SPOM (fig. 3.1.5)
- **Número de serie** : El cual únicamente identifica la estación móvil, este es colocado de fábrica y no es alterable a ningún tiempo, este es enviado por la estación móvil en el canal de control solo cuando el SPOM requiere que los números de serie sean enviados.
- **Identidad del sistema** : Identidad del operador celular (Sistema A o B)
- **Marca de clase de estación**: Indica la máxima potencia de salida de la estación móvil y su tipo, también indica si la estación móvil puede sintonizar las frecuencias en la banda de frecuencias extendidas , si este es el caso el C.C.M. establecerá fase durante la llamada , seleccionando en primer lugar uno de los "canales extendidos" para la conversación, SCM es enviado por la estación móvil.
- Colocación de los canales de control indicando donde el primer canal de control en la banda de frecuencia será encontrado (por ejemplo el canal 23 en un sistema) esta información es usada durante el rastreo de los canales de control .
- **Clase de acceso en sobrecarga**: hace posible detener que ciertos móviles accedan al C.C.M..

3.2 Estación base de radio

La estación base de radio o simplemente estación base (EB) es conectada al (C.C.M.) Centro de Conmutación Móvil en circuitos punto a punto para manejar la comunicación de radio de las estaciones móviles, este funciona como una estación retardada de señales de datos y dialogo, también supervisa la calidad de la transmisión de radio durante una llamada en progreso por medio del tono supervisor de audio (TAS) y al medir la potencia de las señales recibidas desde las estaciones móviles.

La estación base puede ser instalada por ejemplo en una ciudad en edificios de oficinas o en el campo en contenedores lo que muestra su versatilidad. Estas instalaciones deben contener el equipo necesario para atender un cierto número de células, normalmente una cuando se trata de células omnidireccionales o tres cuando se trate de células de sector.

Una de las mayores diferencias entre las versiones actuales y las anteriores de equipo es su tamaño, el cual ha ido disminuyendo hasta aproximadamente 50% de su tamaño original lo que ahorra costos para el operador celular considerando los costos de espacio de piso en algunos países.

Las principales unidades de funcionamiento son:

- Grupo de Canales de Radio (G.C.R.)
- Interfase de Radio de la Central (C.I.R.)
- Alimentación Eléctrica
- Grupo de Canales de Radio (G. C. R.)

La figura. 3.4 representa un diagrama de bloques funcional de un GCR, la configuración del equipo consta de un canal de control, canales de voz y un receptor de potencia de la señal) la cual es la configuración típica para atender una célula.

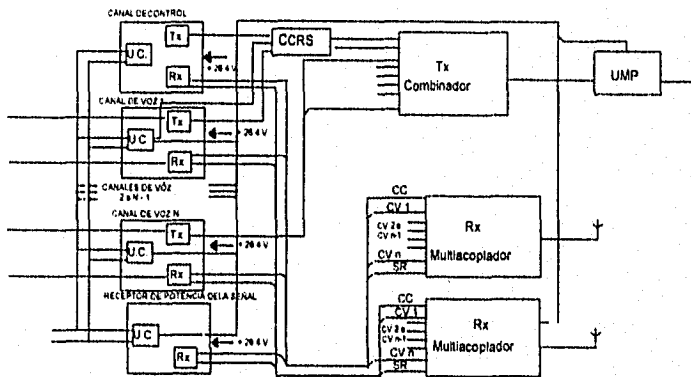


Figura. 3.4 diagrama GCR

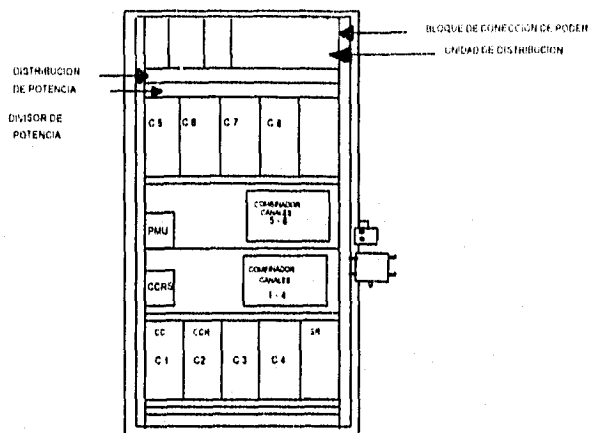


Figura. 3.5 Equipamiento de una estación base

Todo el equipamiento de la estación base esta montado en racks de 19 pulgadas, pudiendo contar con 8 dispositivos de canal por rack. El GCR cuenta con el siguiente equipamiento para manejar las comunicaciones de radio con las estaciones móviles.(figura 3.5)

- Unidades de canal
- Transmisor
- Combinador (Tx)
- Receptor(Rx)
- Multiacoplador (Ma)
- Receptor de potencia de la señal (RPS)
- Interruptor de control de canal de Probador de canal
- Unidad monitora de potencia
- Sistema de antenas

Las unidades de canal para control de canales y para uso como canales de voz son idénticos, consistiendo cada uno de ellos de:

Transmisor (Tx)

Receptor (Rx)

Unidad de control (Uc)

Amplificador de potencia

Existen 3 tipos de amplificadores de potencia (10W,25W,50W) el cual sera seleccionado de acuerdo a las necesidades de nuestra célula, y va conectado a la salida de la transmisión.

La salida de potencia determina el tamaño del área de cobertura del canal en cuestión, lo cual se puede elegir seleccionando alguna de las unidades indicadas pero también se puede realizar un ajuste manual a la unidad con que se cuenta.

Un GCR se pueden tener hasta 96 unidades de canal montadas en diferentes racks y una estación base puede tener uno o varios GCR, las unidades de canal de un mismo GCR pueden ser asignadas por comandos desde el C.C.M. a las diferentes células atendidas por la estación base, también pueden ser asignadas para operar como canal de voz, canal de control o como receptor de potencia de la señal.

Receptor multiacoplador

En este dispositivo se pueden conectar hasta 48 receptores de canal y dos receptores de potencia de la señal a un mismo receptor de antena, la ganancia del amplificador multiacoplador es suficiente para compensar las pérdidas de división de potencia de las redes híbridas por medio de la cual se distribuye la señal a los receptores del sistema.

Este multiacoplador utiliza dos etapas de divisoras de potencia, cada etapa causa una pérdida de 6 dB lo cual es balanceado por la ganancia del amplificador multiacoplador, los divisores de potencia son completamente pasivos y no críticos a la frecuencia ellos proveen >30 dB de aislamiento entre puertos de salida.

Receptor de potencia de la señal

Este receptor se implementa en un bastidor de unidad de canal, consiste de un receptor y una unidad de control, mide la potencia de la señal recibida (de las estaciones móviles) en cualquier canal colocado en células vecinas, los números de canales relevantes son especificados en el C. C. M. (FOR COMANDO) y los canales son continuamente analizados uno a uno y las muestras de las mediciones son almacenadas en la unidad de control, estos resultados son utilizados en el C. C. M. durante la entrega (handoff) para determinar que la llamada es entregada a la célula en cuestión.

Transmisor combinador

Por medio de este transmisor combinador pueden conectarse hasta 16 transmisores a una antena común, esto es de gran valor porque normalmente hay carencia de espacio en los mástiles y torres usados para soportar el sistema de antena, en casos extremos un mástil puede algunas veces ser utilizado sobre de 100 canales, logra su función utilizando los siguientes elementos:

- Circulador de baja pérdida en la dirección de adelanto y baja pérdida en dirección reversa
- Resonadores de cavidad de alta eficiencia filtrando otras frecuencias
- Red estrella de líneas de transmisión.

El filtro combinador provee el efecto de tener solo un transmisor conectado a la antena a cualquier frecuencia de operación dada, a frecuencias lejanas de la frecuencia de resonancia del circuito de filtro los transmisores se aíslan eléctricamente, la eficiencia y aislamiento obtenidos de las cavidades resonantes se incrementan a medida que la separación de la frecuencia es mayor.

Cuando 21 canales son conectados a un punto común, buena ejecución eléctrica con razonable tamaño y precisión son alcanzados. El circuito combinador de transmisor es configurado como sigue:

Cada transmisor es conectado a una unión común después de que la potencia de radio frecuencia a pasado a través de 3 circuladores y un filtro de cavidad high-Q. El propósito de los circuladores es suprimir la transmisión de potencia de los canales cercanos (normalmente múltiplos de 21 canales) dentro del amplificador de potencia del transmisor.

Las cavidades también suprimen las señales de canal- fuera con mayor supresión a mayor frecuencia de separación, esos circuladores y cavidades minimizan la producción de productos de intermodulación los cuales pueden causar interferencia o falsas señales a la estación móvil que opera cerca a la estación base.

Esos productos de intermodulación son generados por el amplificador de potencia de otro canal, el amplificador de potencia actuara como un mezclador de gran nivel con una perdida de potencia de solo 6 dB fuera de la suma y diferencia de las frecuencias de las dos señales, cada regulador reduce este nivel por mas de 25 dB, este arreglo junto con el circulador en el transmisor reduce los productos de intermodulación por más de 80 dB.

La " unión estrella" es la conexión paralela de algunas cavidades, la longitud de la línea de transmisión de conexión es ajustada a un par múltiple de un cuarto de la longitud de onda, tal que el circuito corto de la cavidad de resonancia se transforma en un circuito abierto de la unión común, en el pasabanda del filtro conectado la sección del transformador de la "unión estrella " aparece como una simple pieza de la línea de transmisión.

Probador de canal (PC)

El operador del C.C.M. ejecutara pruebas controladas de el equipo , los resultados son enviados al operador en un enlace de datos, puede ser hecha una conexión a 9 transmisores y tres pares de antenas receptoras, las unidades de canal y receptores de la potencia también pueden ser probados.

Unidad monitora de potencia (UMP)

Esta unidad se encuentra conectada al combinador de salida, se encarga de supervisar la potencia enviada y reflejada, cuando sea necesario activa la alarma por ejemplo cuando la potencia reflejada es alta .

3.2.1 El sistema de antena

Algunas alternativas de configuraciones de antena pueden ser usadas dependiendo de las formas celulares requeridas, las antenas estándar pueden ser omnidireccionales para células circulares o direccionales para células de sector.

Para contar con diversidad en el sistema, se arreglan 2 antenas receptoras con separación de 3 - 5 m, como se muestra en la figura . 3.6

$$\lambda = 900 \text{ Khz} = 0.3 \text{ mts.}$$

$$20 \cdot 0.3 = 6 \text{ mts.}$$

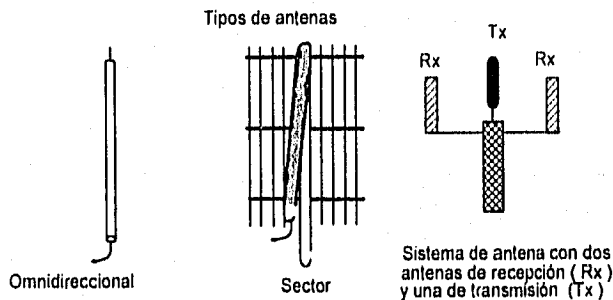


Figura. 3.6 sistema de antena

Los receptores están equipados con diversidad rápida para reducir la degradación de la calidad del dialogo por atenuación, que es debida a la propagación múltiple, como se muestra en la figura. 3.7, en la cual se muestra como las señales de radio son mejoradas por la diversidad del sistema.

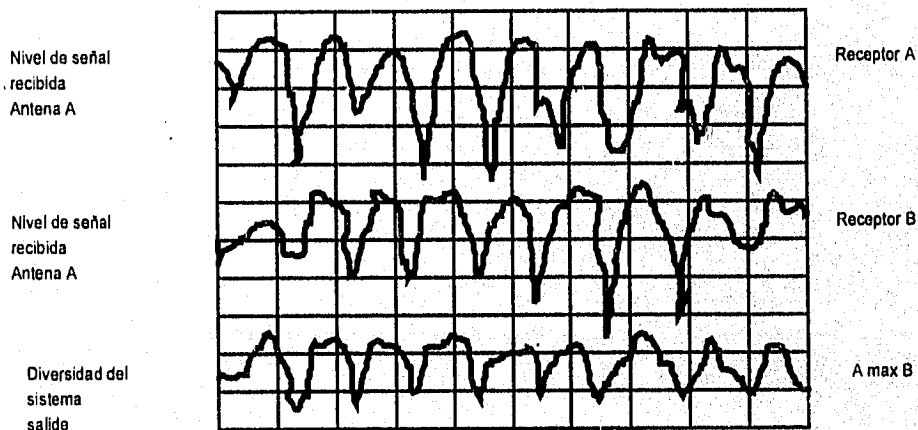


Figura. 3.7 Variaciones de la potencia de campo como resultado de la atenuación en la antena A y en la B y el resultado de la diversidad del sistema

La propagación múltiple es el resultado de reflexiones a lo largo del patrón de transmisión (la misma señal viaja en diferentes patrones) la atenuación se manifiesta ha si misma como grandes variaciones de potencia de campo a menudo de entre 20 - 30 dB con caídas mínimas de algunos milisegundos (dependiendo de la velocidad del vehículo), de acuerdo a la transmisión de datos eso significa que ocurren interrupciones por bits de error. Existen dos entradas de antena para diversificar el sistema en cada receptor, la combinación de las señales es hecha con una ganancia de combinador igual, la ganancia recibida con el sistema de diversidad de ganancia igual dependerá de la distancia entre las antenas del receptor, con la distancia recomendada de entre 3 -5 metros se alcanzara una ganancia de aproximadamente 10 dB.

Unidad de control (U C)

Esta basada en un microprocesador, constituye la inteligencia de la unidad de canal, algunas de las funciones que desarrolla son :

Intercambio de mensajes de datos entre el C. C. M. y las estaciones móviles, los datos para la estación móvil están formateados con bits de sincronización y patrón de corrección de error (codificado en BCH) y es insertado en el transmisor, los dato desde la estación móvil vía el receptor es detectada y decodificada y los posibles errores corregidos antes de enviar al C. C. M..

Enviando autónomamente algunos mensajes de datos a la estación móvil.

Monitoreo de fallas del transmisor y el receptor tanto como de otras unidades como por ejemplo, el transmisor combinador, etc. la información de alarma es enviada al C. C. M. para emitir la impresión de alarma.

Colocación del canal- el número de canal el cual es recibido originalmente desde el C. C. M. (enviado por comando) es usado como una entrada al generador de frecuencia.

Controlando al transmisor, la función ON/OFF del transmisor es controlada por la U. C., esto es realizado frecuentemente en el caso de canales de voz.

Controlando el silenciamiento

Detectando el tono de señalización (T S)

Generación/Detección del tono supervisor de audio (TSA), cuando se encuentra transmitiendo voz, el TSA es añadido a la voz procesada en el transmisor, el TSA recibido desde la estación móvil es detectado y la frecuencia comparada con la frecuencia del tono transmitido, la información de cual frecuencia TSA es generada, es originalmente recibida desde el C. C. M. (INICIADA POR COMANDO).

Medición de ruido

El valor principal del ruido recibido es medido en orden para calcular la relación señal a ruido del TSA recibido. Medición de la potencia de la señal

La potencia de la señal recibida es medida en el receptor y evaluada en la unidad de control.

Anillando la línea

Un interruptor para el anillamiento de la línea de voz entrante o saliente es implementado y controlado en la Unidad de control.

Una terminal externa puede ser conectada para pruebas, tales como petición de desplegar el número, estado del canal, estado de las alarmas, etc., además de activamente controlar operaciones tales como apagado y encendido de del transmisor, reubicación o cambio de número de canal, etc.

Cargando la unidad de control

La unidad de control consiste entre otras cosas de un microprocesador con programas almacenados implementados en las memorias de lectura/escritura, por esa razón cada unidad de control tiene que ser cargada con programa de datos desde el banco de memoria del C. C. M., antes de esto puede ser tomado en operación, normalmente esto se realizara durante la instalación inicial o después de una reparación.

El cargado de la unidad de control desde el banco de memoria es ordenado manualmente (por comando), el cargado de nuevas revisiones del programa de la unidad de control desde cinta al banco de memoria es también iniciado por comando.

Unidad de control de respaldo (redundancia de canal de control)

La célula no es capaz de proveer algún servicio cuando este canal de control no esta en operación (aparte de las llamadas ya establecidas), cuando quiera que el canal de control falla un canal de voz predefinido (canal de respaldo) automáticamente toma posesión asumiendo los deberes del canal de control, de la siguiente manera:

El dispositivo de canal de respaldo es ordenado por el C. C. M. a detener su operación como canal de voz.

El dispositivo de canal de respaldo recibe del C. C. M. el número para operar como canal de control, asume el modo de programa almacenado del canal de control o es automáticamente recargado con el programa de datos del canal de control desde el banco de memoria. La salida del transmisor es cambiada por el interruptor de redundancia del canal de control asumiendo la posición de canal de control de no operación dentro del transmisor combinador.

Otro canal de voz puede también ser definido como respaldo para el receptor de potencia de la señal, algunas estaciones base anteriormente requerían 2 canales de control idénticos y receptores de potencia de la señal uno en operación y uno de respaldo es espera, pero normalmente no utilizado, pero listo para entrar en operación cuando fuera necesario, cambio entre esos 2 canales es ejecutado para propósitos de control cada 24 horas. Interfases de Radio de la Central (I. R. C.)

La función del IRC es ser el medio de enlace entre el C. C. M. y la estación base, recibir los datos de las unidades de canal y enviarlos al C. C. M. en un enlace dedicado entre ellos y en la dirección inversa el equipo recibe los datos del C. C. M. y los envía a las unidades del canal de destino, dependiendo del modo de transmisión la velocidad de la señalización del enlace de dato C. C. M. - E.B. puede ser 2.4, 4.8 ó 9.6 Kbits/s (para enlaces análogos) o 64 Kbits/s (para enlaces digitales).

Fuente de potencia

El voltaje distribuido en la estación base es de 26.4 volts el cual es provisto por medio de convertidores AC/DC, para el caso de que una caída de la alimentación principal cayera un respaldo de baterías proveerá a la estación base de energía durante un cierto tiempo.

3.3 Criterio de ejecución

Existen tres categorías para especificar el criterio de ejecución

3.3.1 Calidad de voz

La calidad de voz es muy difícil de juzgar sin pruebas subjetivas tomándolas de las opiniones de los usuarios, en esta área técnica los ingenieros no pueden decidir como construir un sistema sin conocimiento de la calidad de voz que satisficiera a los usuarios, en las comunicaciones militares la situación difiere puesto que el personal de las fuerzas armadas debe utilizar el equiplo asignado.

Para cualquier sistema de comunicación la calidad de voz estará basada en el siguiente criterio, a un valor al cual un porcentaje de usuarios califica la calidad del sistema de voz de buena a excelente, el más alto de los dos circuitos de mérito de los cinco listado a continuación.

- Excelente (Dialogo perfectamente entendible)
- Bueno (Dialogo fácilmente entendible , algún ruido)
- Regular (Dialogo entendible con un pequeño esfuerzo, repeticiones ocasionales necesarias)
- Pobre (Dialogo entendible solo con un esfuerzo considerable, repeticiones frecuentes necesarias)
- No utilizable (Dialogo no entendible)

A medida que el porcentaje de usuarios que escogen excelente y bueno , el costo de la construcción del sistema crece.

3.3.2 Calidad de Servicio

Tres puntos se requieren para tener calidad de servicio

1 - Cobertura

El sistema debe tener una cobertura de radio para servir a un área tan grande como sea posible, del tal manera porque debido a la configuración irregular de los terrenos usualmente no es practico cubrir el 100 por ciento del área por dos razones :

a.) La potencia transmitida debe de ser muy grande para iluminar con suficiente recepción lugares débiles , aumentando significativamente el factor de costos.

b.) A una mayor potencia transmitida el control de la interferencia se vuelve mas dificil

De tal forma, los sistemas tratan de cubrir el 90 % de un área en terreno plano y 75 % en terreno con colinas . La calidad de voz y el criterio cobertura combinados en un sistema celular AMPS indican que el 75 % de los usuarios colocan la calidad de voz entre buena y excelente en 90 % de el área atendida, la cual es normalmente terreno plano. La calidad de voz y el criterio de cobertura deben ser ajustados debido a las condiciones del terreno, en terreno de colinas 90 % de los usuarios debe contar con una calidad de voz entre bueno o excelente en el 75 % del área atendida, un operador del sistema puede bajar los valores de porcentaje colocados por abajo para una menor ejecución y menor costo del sistema.

2. - Grado de servicio requerido

Para un servicio normal del sistema, el grado de servicio se especifica a una probabilidad de bloqueo de 0.02 para las llamadas que inician en hora pico, siendo este un valor promedio, de tal forma que la probabilidad de bloqueo en cada local celular sera diferente, en la hora pico el tráfico de automóviles en las carreteras cercanas es usualmente cargado, de tal forma que la probabilidad de bloqueo en ciertos locales celulares puede ser mayor que 2 % , especialmente cuando ocurren accidentes de tráfico, entonces para decrecer la probabilidad de bloqueo se requiere de un buen plan del sistema y un número suficiente de canales de radio.

3.- Número de llamadas caídas

Durante Q llamadas en una hora , se maneja que si una llamada es caída y $Q - 1$ llamadas son completadas, entonces la proporción de llamadas caídas es $1/Q$, esta proporción debe mantenerse baja, una proporción alta puede ser causada por problemas de cobertura o problemas de entrega relacionados a una inadecuada disponibilidad de canales.

3.4 Singularidad del medio ambiente de radio móvil.

3.4.1 Descripción del medio de transmisión de radio móvil

En general el patrón de pérdida de propagación se incrementa no solo con la frecuencia sino también con la distancia, si la altura de la antena es de 30 a 100 m y la unidad móvil se encuentra a 3 m, si la distancia entre el local celular y la unidad móvil es 2 Km. o más, entonces los ángulos incidentes de las ondas directa y reflejada son muy pequeños, como muestra la figura 3.8. El ángulo incidente de la onda directa es θ_1 y el ángulo incidente de la onda reflejada es θ_2 , θ_1 es también llamado ángulo de elevación, el patrón de pérdida por propagación debe ser de 40 dB/dec⁴ donde dec es la abreviatura de década, esto significa que una pérdida -40 dB en el receptor de señal será observada por la unidad móvil como si se moviera de 1 a 10 Km. de tal forma C es inversamente proporcional a R⁴.

$$C \propto R^{-4} = \alpha R^4 \quad 3.4.1$$

donde C = Potencia recibida
 R = Distancia medida del transmisor al receptor
 α = Constante

La diferencia de dos diferentes distancias R1 y R2 resultara en

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^4 \quad (3.4.2a)$$

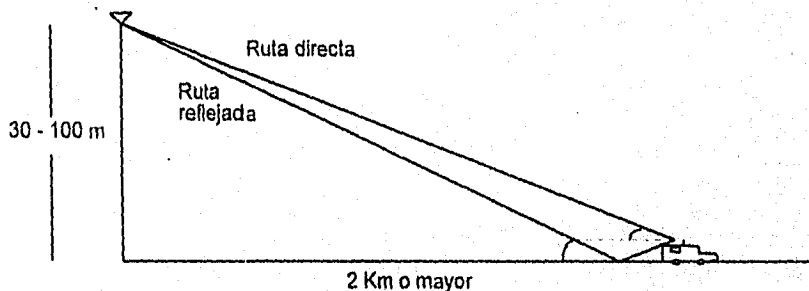


Fig. 3.8 Ángulos incidentes y reflejados

y la expresión en decibels de la ecuación. es :

$$\begin{aligned} \Delta C \text{ (dB)} &= C_2 - C_1 \text{ (dB)} \\ &= 10 \log C_2/C_1 \end{aligned}$$

Cuando : $R_2 = 2R_1$, $\Delta C = -12 \text{ dB}$

$R_2 = 10R_1$, $\Delta C = -40 \text{ dB}$

Estos 40 dB / dec es la regla general para el medio ambiente de radio móvil y es fácil de recordar, también fácil de comparar con la regla de propagación de 20 dB / dec., las expresiones lineal y de escala en decibels son:

$$C \propto R^{-2} \quad \text{espacio libre} \quad 3.4.3a$$

y

$$\Delta C = C_2 - C_1 \quad (\text{en dB})$$

$$= 20 \log R_1 / R_2 \quad \text{Espacio libre} \quad 3.4.3b$$

En un medio ambiente de radio móvil real, la pendiente del patrón de pérdida por propagación varía como

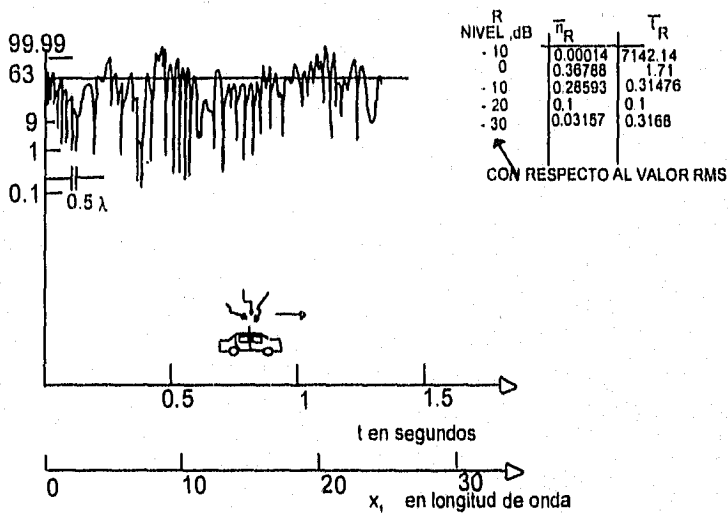
$$C \propto R^{-\gamma} = R^{-\gamma} \quad 3.4.4$$

γ normalmente tiende entre 2 y 5 dependiendo de las condiciones actuales, por supuesto γ no puede ser menor de 2, lo cual es la condición del espacio libre, la expresión en escala de decibels de la ecuación 3.4.4 es:

$$C = 10 \log \alpha - 10 \gamma \log R \quad \text{dB} \quad (3.4.5)$$

3.4.2 Atenuación Severa

Cuando la altura de la antena de la unidad móvil es menor que los alrededores y la frecuencia de la longitud de onda de la portadora es mucho menor que el tamaño de las estructuras circundantes, son generadas ondas multirrayectoria en la unidad móvil, donde la suma de las ondas multirrayectoria causa el fenómeno de atenuación de la señal, esta señal fluctúa en un rango de 40 dB (10 dB arriba y 30 dB abajo de la señal promedio). Nosotros podemos visualizar los (nulls) de la fluctuación de la bandabase en cada media longitud de onda en el espacio, pero todas las no ocurren al mismo nivel como muestra la figura. 3.9. Si la unidad móvil se mueve rápido la razón de fluctuación es rápida, por ejemplo. a 850 Mhz la longitud de onda es aproximadamente 0.35 m (1 ft) si la velocidad de la unidad móvil es de 24 Km/h o 6.7 m/s la razón de fluctuación de la señal de recepción a un nivel de 10 dB abajo del promedio de potencia de una señal de atenuación es 15 nulls por segundo .



$$p(R) = Re^{-R^2} \quad \text{DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD ACUMULATIVA}$$

$$\bar{n}(R) = \frac{\beta v}{\sqrt{2\pi}} \times n_R \quad \text{RAZÓN DE NIVEL DE CRUCE}$$

$$\bar{t}(R) = \frac{\sqrt{2\pi}}{\beta v} \times \bar{t}_R \quad \text{DURACION PROMEDIO DE ATENUACION}$$

Figura 3.9 Una señal de atenuación típica recibida mientras la unidad móvil se esta moviendo

3.4.3 Modelo del medio de transmisión

Una señal de radio móvil $r(t)$ como ilustra la figura 3.10 puede ser artificialmente caracterizada por 2 componentes $m(t)$ y $r_0(t)$ basados en un fenómeno físico natural.

$$r(t) = m(t) \cdot r_0(t)$$

El componente $m(t)$ es llamado componente local, atenuación de largo termino o atenuación normal logarítmica y esta es debida al contorno terrestre entre la estación base y la unidad móvil, el factor r_0 es llamado atenuación multirayectoria, atenuación de corto termino o atenuación de Rayleigh y esta variación es debida a las ondas reflejadas de los edificios circundantes y otras estructuras, la atenuación de largo termino puede ser obtenida de la ecuación 3.4.7a

$$m(t) = \frac{1}{2T} \int_{t-T}^{t+T} r(t) dt \quad 3.4.7 a$$

donde $2T$ es el intervalo de tiempo para promediar $r(t)$. T puede ser determinado basado en la razón de atenuación $r(t)$ usualmente de 40 a 80 desapariciones, de tal manera que $m(t)$ es la envolvente de $r(t)$ como muestra la figura 3.10a de la ecuación 3.4.7 a, la cual también puede ser expresada en escala espacial como:

$$m(x) = \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r(x) dx \quad 3.4.7 b$$

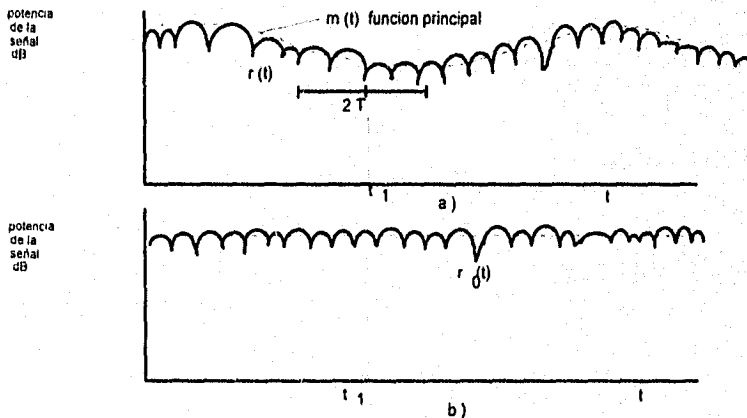


Fig. 3.10 Señal de radio móvil caracterizada por 2 componentes $m(t)$ y $r_0(t)$ basados en un fenómeno físico natural.

La longitud de 2l. ha sido determinada que sea de 20 a 40 longitudes de onda usando desde 36 hasta 50 muestras en un intervalo de 40 longitudes de onda es un proceso promedio adecuado para obtener los medios locales.

El factor $m(t)$ o $m(x)$ es también encontrado que sea la distribución logarítmica normal basada en las características causadas por el contorno terrestre, entonces la atenuación de corto termino r_0 es obtenida por :

$$r_0 \text{ (en dB)} = r(t) - m(t) \text{ dB} \quad 3.4.8$$

Como se muestra en la figura 3.10.b el factor $r_0(t)$ sigue una distribución de Rayleigh, asumiendo que solo las ondas reflejadas de los alrededores locales es lo que recibio (situación normal del medio ambiente de radio móvil) entonces el termino atenuación de Rayleigh es a menudo usado.

3.4.4 Características de atenuación móvil

La atenuación de Rayleigh es también llamada atenuación de multirayectoria en el medio ambiente de radio móvil, cuando esas ondas de multirayectoria rebotan atrás y adelante debido a edificios y casas, ellas forman muchos pares de onda permanentes en el espacio como se muestra en la figura. 3.11. Esos pares de onda permanentes son sumados conjuntamente y se convierten en una estructura irregular de atenuación de ondas. Cuando una unidad móvil permanece activa su receptor solo recibe una potencia de la señal en ese lugar, de tal forma que una señal constante es observada, cuando la unidad móvil se esta moviendo la estructura de atenuación de la onda en el espacio es recibida, esto es el patrón de atenuación de multirayectoria la atenuación grabada se vuelve más rápida a medida que el vehículo se mueve más rápido.

El radio de la región activa .

La atenuación de multirayectoria de radio móvil mostrada en la figura. 3.11 explica el mecanismo de atenuación, el radio de la región activa a 850 Mhz puede ser obtenido indirectamente como se muestra en la referencia 12, el radio es aproximadamente 100 longitudes de onda, la región activa siempre se mueve con la unidad móvil en su centro, esto significa que algunas casas fueron inactivas y se convirtieron en activas cuando la unidad móvil se acerco a ellas, algunas casas fueron activas y se volvieron inactivas a medida que la unidad se separo de ellas.

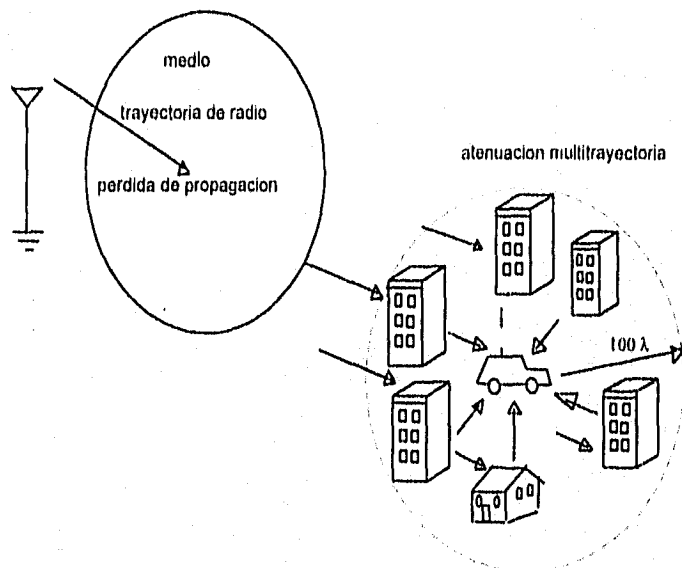


FIGURA 3.11 MEDIO AMBIENTE DE RADIO MÓVIL EN DOS PARTES

- 1) pérdida de propagación
- 2) Atenuación multirayectoria

Ondas permanentes expresadas en escala lineal y en escala logarítmica.

Si primero introducimos una onda senoidal en una escala logarítmica

$$y = 10 \cos \beta x \text{ dB} \quad 3.4.9$$

el lugar logarítmico de la onda senoidal de la ecuación 3.4.9 se muestra en la figura 3.12a, entonces la expresión lineal de la ecuación 3.4.9 es mostrada en la figura 3.12.b la forma de onda simétrica en el se vuelve una forma de onda asimétrica cuando la escala lineal. Esto muestra que la forma de onda senoidal en escala logarítmica se convierte en una forma de onda completamente diferente cuando se expresa en forma logarítmica y viceversa. dos ondas senoidales, la onda incidente viajando por el eje x (viajando a la izquierda) y la onda reflejada viajando en la dirección opuesta, puede ser expresada como sigue:

$$e_0 = E_0 e^{j(\omega t + \beta x)} \quad 3.4.10$$

$$e_1 = E_1 e^{j(\omega t + \beta x + \delta)} \quad 3.4.11$$

donde:

ω = frecuencia angular

β = Número de onda ($= 2\pi / \lambda$)

δ = adelanto de tiempo de fase de e_1 con respecto a e_0 en $x = 0$

las dos ondas forman un patrón de onda permanente

$$e = e_0 + e_1 = R \cos(\omega t - \delta)$$

donde la amplitud R se convierte:

$$R = \sqrt{(E_0 + E_1)^2 \cos^2 \beta x + (E_0 - E_1)^2 \sin^2 \beta x} \quad 3.4.12$$

donde se están trazando dos casos.

caso 1.: $E_0 = 1$, $E_1 = 1$ esto es un coeficiente de reflexión igual a 1

$$\text{la relación de onda permanente (SWR)} = \frac{E_0 + E_1}{E_0 - E_1} = \infty \quad 3.4.13$$

y

$$R = 2 \cos \beta x \quad 3.4.14$$

caso 2.: $E_0 = 1$, $E_1 = 0.5$ esto es un coeficiente de reflexión igual a 0.5 y $\text{SWR} = 3$ y

$$R = \sqrt{(1.5)^2 \cos^2 \beta x + (0.5)^2 \sin^2 \beta x} \quad 3.4.15$$

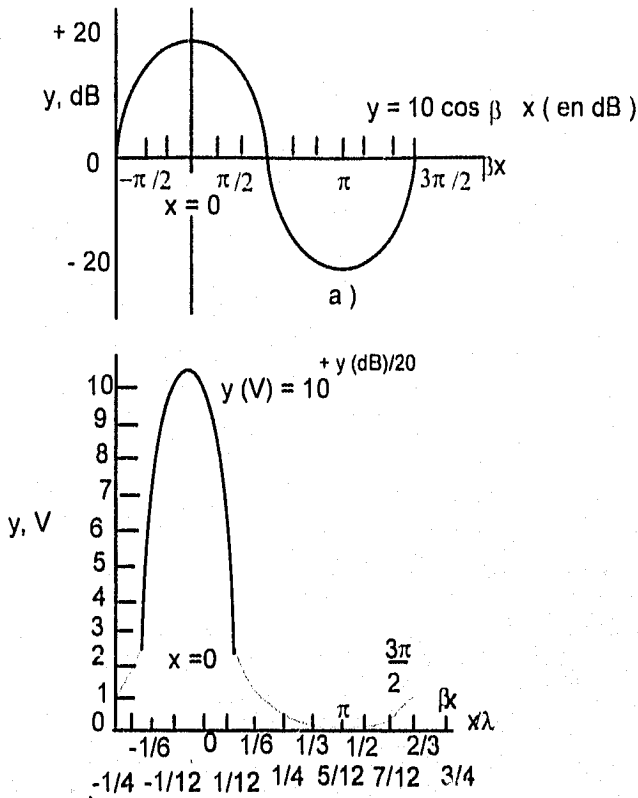


Figura. 3.12 El Trazo Lineal Y El Trazo Logarítmico De Una Onda Senoidal
 A) Escala Lineal
 B) Escala Logarítmica

La expresión lineal de las ecuaciones 3.4.14 y 3.4.15 son mostrados en la figura. 3.13a, la expresión de escala logarítmica de las ecuaciones 3.4.14 y 3.4.15 son mostrados en la figura. 3.13b, la forma de onda de la figura. 3.13b es el signo de la señal de atenuación el cual se parece a la señal de atenuación real mostrada en la figura. 3.9

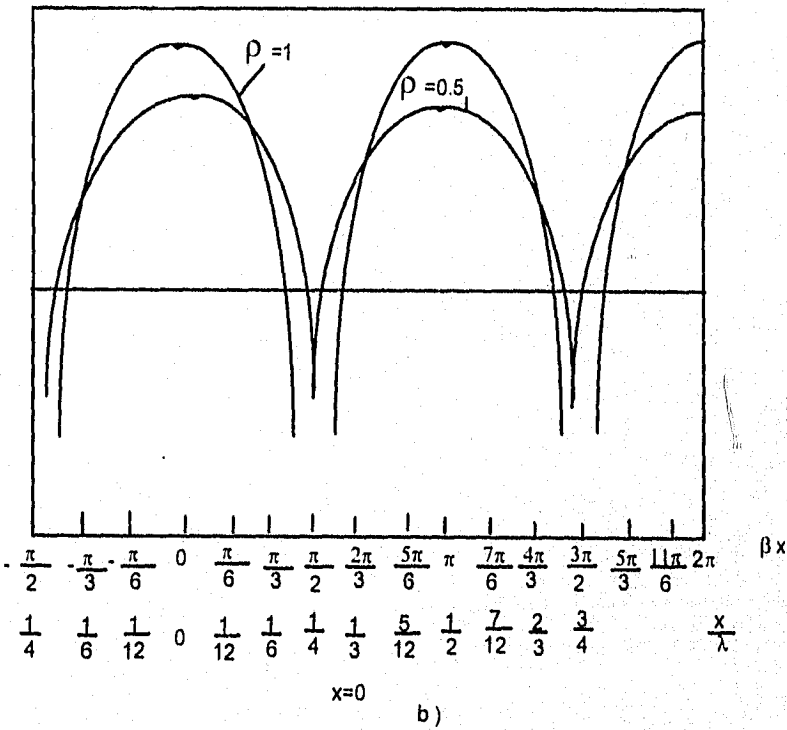
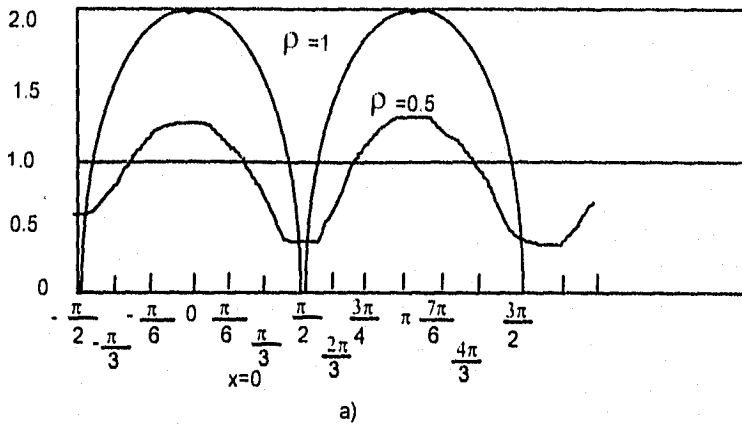


Figura 3.13 El Trazo Lineal Y El Trazo Logarítmico De La Onda Permanente A) Escala Lineal B) Escala Logarítmica

3.4.5 Estadísticas de atenuación de primer y segundo orden

La atenuación ocurre en la recepción de la señal cuando la unidad móvil se está moviendo, las estadísticas de primer orden tales como la probabilidad de potencia promedio de la función de distribución acumulativa (CDF, Cumulative Distribution Function) y la razón del bit de error son independientes del tiempo. Las estadísticas de segundo orden tales como el razón de nivel de cruce, el promedio de duración de las atenuaciones y la razón de error de palabra son funciones del tiempo o funciones relacionadas a la velocidad. El formato de señalización de datos está basado en esas características.

Algunos datos pueden ser encontrados en la figura. 3.13a, la función de distribución acumulativa (CDF) y en la figura. 3.13b la razón del nivel de cruce., en la FIGURA. 3.13A la ecuación de CDF para la atenuación de Rayleigh es utilizada como sigue :

$$P(x \leq A) = 1 - e^{-A^2/\bar{A}^2} \quad 3.4.16$$

y

$$P(y \leq A) = 1 - e^{-A/\bar{A}} \quad 3.4.17$$

Donde \bar{A}^2 y \bar{A} son el valor cuadrado principal y el promedio de potencia respectivamente en la figura 1.10 a , aproximadamente el 9% de la señal total está abajo un nivel de -10 dB con respecto a la potencia promedio, en la figura. 1.10 b el nivel de proporción de cruce (n) en un nivel A es :

$$n(A) = \frac{\beta v}{\sqrt{2\pi}} n_0 R$$

donde $n_0 R$ es el lcr dependiente de la longitud de onda y de la velocidad del carro, en un nivel de -10 dB , $n_0 = 0.3$ puede ser encontrado en la figura 1.10b si asumimos que la señal de 850 Mhz es recibida en una unidad móvil con una velocidad de 24 Km/h , entonces

$$n_0 = \frac{\beta v}{\sqrt{2\pi}} \approx 50$$

y

$$n = 50 * 0.3 = 15$$

De tal forma que a una frecuencia celular de 800 Mhz y a una velocidad de 24 Km/h el nivel de proporción de cruce es de 15 por segundo.

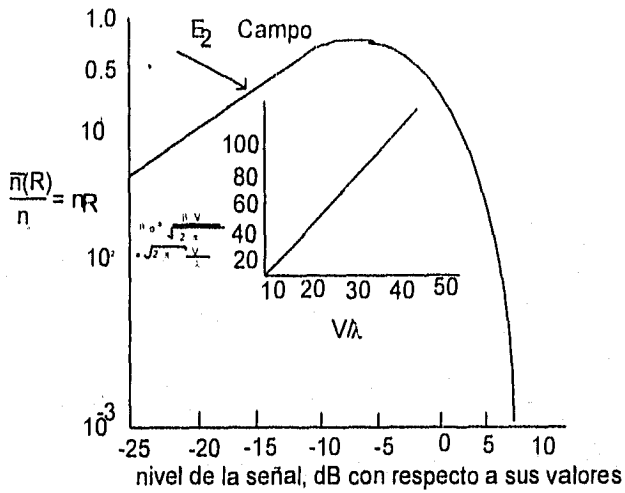


Fig. 3.14 Nivel de la señal, Db con respecto de sus valores

La duración promedio de la atenuación es :

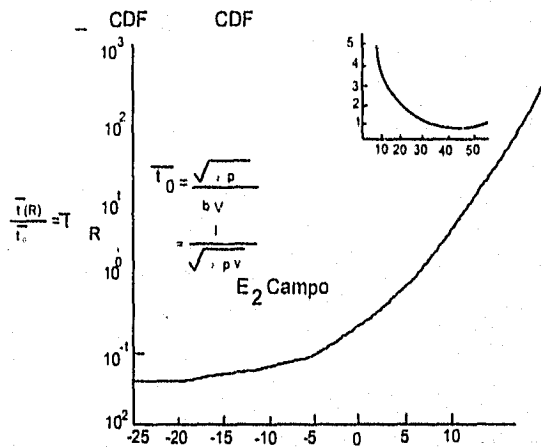


Fig. 3.15 Nivel de la señal dB con respecto a sus valores de RMS

La ecuación 3.4.19 es mostrada en la figura 3.15c donde t_0 y tR son también mostrados.

a -10 dB la duración promedio de la atenuación es

$$\bar{t} = \frac{CDF}{n} = 0.0066 \text{ s} = 6.6 \text{ ms}$$

Ahora el nivel de potencia promedio juega un importante papel para determinar las estadísticas de tal

3.4.6 Retardo de despliegue y coherencia de ancho de banda

En el medio ambiente de radio móvil como un resultado del fenómeno de la reflexión multidesestino, la señal transmitida desde un local celular y que arriba a una unidad móvil lo hará desde diferentes rutas, además de que cada una tiene una diferente longitud de ruta por lo que el tiempo de arribo de cada ruta es diferente. Para un impulso transmitido desde un local celular y tiempo después este impulso es recibido por la unidad móvil esto no es mayor a un impulso pero en vez de un pulso con un despliegue ancho lo llamamos el retardo de despliegue, los datos medidos indican que el retardo de despliegue principal es diferente en diferentes clases de medio ambientes.

tipo de medio ambiente

| | |
|----------------|-------|
| Area abierta | < 0.2 |
| Area suburbana | 0.5 |
| Area urbana | 3 |

Coherencia de ancho de banda

Es definida cuando las amplitudes de las fases de dos señales recibidas tiene un alto grado de similaridad, el retardo de despliegue es un fenómeno natural y el ancho de banda coherente es una creación definida relacionada con el retardo de despliegue.

Una coherencia de ancho de banda para dos amplitudes de atenuación de dos señales recibidas es :

$$B_c = \frac{1}{2\pi\Delta}$$

Una coherencia de ancho de banda para dos fases aleatorias de dos señales recibidas es :

$$B'_c = \frac{1}{4\pi\Delta}$$

3.4.7 Ruta de onda directa, ruta de línea de vista y ruta obstruida

Una ruta de onda directa es una ruta limpia de contornos terrestres, limpia de edificios, en el medio ambiente de radio móvil, no siempre tenemos una condición de línea de vista. Cuando esto ocurre el promedio de señal recibida en la unidad móvil interceptada a 1.64 Km es mayor aunque la inclinación del patrón de pérdida de 40 dB/dec es el mismo, en el caso de atenuación de corto término se observa que es una rica atenuación, esto resulta de una potente ruta de línea de vista y una onda de tierra reflejada combinadas mas varias señales de onda débiles reflejadas de edificios.

Cuando una condición fuera de vista es alcanzada la inclinación de patrón de pérdida permanece, de tal forma todas las ondas reflejadas, incluyendo todas las ondas reflejadas de edificios y de tierra se vuelven dominantes. La señal recibida de corto término en una unidad móvil atenuación de Rayleigh, la cual es la atenuación más severa.

Cuando el contorno terrestre bloquea la ruta de onda directa la llamamos ruta obstruida en esta situación la sombra de pérdida de la recepción de la señal puede ser encontrada utilizando las curvas de difracción de filo de cuchillo.

3.4.8 Nivel de ruido en la banda de frecuencia celular

El ruido térmico kTB a una temperatura T de 290 K (17 ° C) y un ancho de banda B de 30 KHz es -129 dBm, entonces asumimos que el ruido terminal frontal recibido es 9 dB, entonces el nivel de ruido es 120 dBm. Ahora existen dos clases de ruido hechos por el hombre, el ruido de ignición generado por los vehículos y el ruido generado por las emisiones de 800 Mhz.

* k Constante de Boltzman

$$kT \approx -174 \text{ dBm/Hz} \quad T = 290 \text{ K}$$

El ruido de ignición

En el pasado 800 Mhz no eran ampliamente usados de tal forma que el ruido hecho por el hombre a 800 Mhz es meramente generado por el ruido de ignición del vehículo, el ruido del automóvil introducido a 800 Mhz con un ancho de banda de 30 KHz puede ser deducido como muestra la figura . 1.11

La emisión de ruido a 800 Mhz.

Como un resultado de la operación de sistemas móviles celulares operando en las mayores ciudades en los estados Unidos y la energía *spurious* generada fuera de cada ancho de banda, las mediciones de datos de ruido primario son posteriormente válidos. La emisión de ruido a 800 Mhz puede ser medida en un canal ocioso (un canal de adelanto de voz) en la región es 870 a 890 Mhz mientras el receptor móvil está operando en la batería de un carro en un punto de no tráfico de la ciudad. En este caso ningún ruido de ignición automotriz está involucrada y ninguna operación co-canal está en la proximidad del canal libre del receptor, encontramos que en algunas áreas el nivel de ruido es de 2 a 3 dB mayores de -120 dBm en los locales celulares y de 3 a 4 dB mayores de -120 dBm en las estaciones móviles.

Amplificador de ruido

Una señal de radio recibida por la antena entre un local celular o una unidad móvil será amplificada, para explicar como la señal es afectada por el amplificador de ruido, asumimos que el amplificador tiene una ganancia de potencia g y la potencia de ruido válido a la salida es N_o . La relación entrante señal a ruido (S/N) es P_s/N_i , la relación saliente señal a ruido es P_o/N_o y el amplificador de ruido interno es N_a , entonces P_o/N_o se convierte en:

$$\frac{P_o}{N_o} = \frac{g P_s}{g(N_i) + N_a} = \frac{P_s}{N_i + (N_a/g)} \quad 3.4.20$$

la figura de ruido F es definida como

$$F = \frac{\text{máxima relación S/N posible}}{\text{actual relación S/N a la salida}} \quad 3.4.21$$

Donde la relación S/N máxima posible es medida cuando la carga esta en circuito abierto. la ecuación 1.6.21 puede ser usada para obtener la figura de ruido del amplificador.

$$F = \frac{P_s / i \text{ TB}}{P_o / N_o} = \frac{N_o}{(P_o / P_s) i \text{ TB}} = \frac{N_o}{g (i \text{ TB})} \quad 3.4.22$$

también sustituyendo la ecuación 1.6.20 en 1.6.22

$$F = \frac{P_s / i \text{ TB}}{P_s / [N_o + (N_o / g)]} = \frac{N_o + (N_o / g)}{i \text{ TB}}$$

3.5 Tamaño de célula.

La extensión de el(las) área(s) de cobertura de una estación base es principalmente dependiente de los siguientes factores:

- Potencia de salida del transmisor de radio.
- Banda de frecuencia usada.
- Altura y localización de la torre de la antena.
- Tipo de antena.
- Topografía del área.
- Sensibilidad del receptor de radio.

La sensibilidad del receptor y la banda de frecuencia son fijados con el CMS 88 y por eso sus limitaciones son conocidas.

En sistemas convencionales la cobertura más eficiente es obtenida desde un local alto combinado con una gran potencia de salida. Esto como se vera después no puede ser usado en sistemas celulares, excepto en áreas donde es requerida baja densidad de trafico

Comúnmente dos tipos de antenas son usadas, determinando el tipo y tamaño de la célula:

Antena omnidireccional.- Esta antena transmite igualmente en todas direcciones y cubriendo típicamente un área con radios de alrededor de 15 km.

Antena direccional.- Esta antena concentra la potencia radiado en sectores de 120°, para cada cobertura y cubriendo una distancia de 2-4 km.

Ajustando la potencia de salida en los transmisores en la estación base, la cobertura puede ser ajustada como se requiera, en la actualidad existen las más pequeñas células del mundo con un radio de 500 mts., y se encuentran en el centro de Londres en la red celular Racal Vodafone.

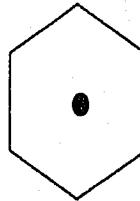
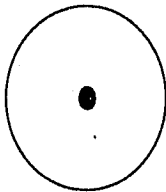
Las ondas de radio transmitidas desde la estación base tienden a propagarse en dirección hacia adelante en "línea de vista" a través del aire, por esto si un móvil esta ubicado tras un gran obstáculo como montañas, en un túnel se encontrará temporalmente en "sombra de radio", los grandes edificios en las ciudades no son críticos gracias a las propiedades de reflexión de las ondas de radio en la banda de 900 Mhz, así como el gran número de células pequeñas usualmente empleadas en áreas de alta densidad de tráfico los cuales también dan buen llenado de hoyos y sombras.

3.5.1 Células omnidireccionales y de sector

Célula omnidireccional

En el caso que la célula este equipada con una antena omnidireccional que transmite de igual forma en todas direcciones, un área de forma circular podrá ser cubierta colocando la estación base ubicada en el centro de dicha área fig. 3.16 a.

Una estación móvil cubierta por este tipo de célula normalmente tendrá un " buen radio de conexión " con la estación base, pero su representación gráfica normalmente es la de un hexágono fig. 3.16 b.



Cobertura de radio , celula omnidireccional

Representación Gráfica , celula omnidireccional

● Estacion Base

Figura 3.16 Célula omnidireccional

Célula de sector

Este tipo de célula esta equipada en su estación base con 3 antenas direccionales, cada una cubriendo un sector de célula de 120 fig. 42 a, en este tipo de configuración algunas unidades de canal deberán estar conectadas a una antena que cubra un sector de célula, otras unidades deberán estar conectadas a la segunda antena y el resto a la tercer antena , este tipo de célula puede ser utilizada no siempre con las tres antenas conectadas, en ocasiones solo se puede necesitar utilizar una de ellas como ejemplo en la cobertura de una carretera.

Para representar este tipo de células son dibujados 3 hexágonos uno por cada célula, con la estación base colocada en la esquina de unión de los hexágonos fig. 42 b, aquí también podemos ver en la fig. 42a. que para obtener una cobertura total, se deberán traslapar las células con sus células vecinas.

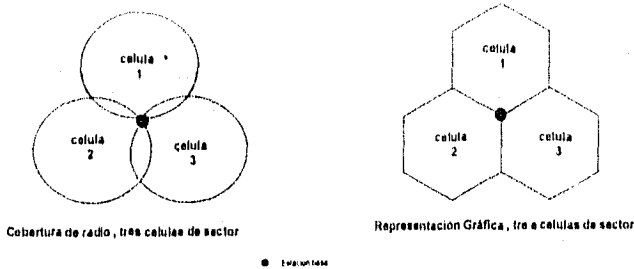


fig. 3.17 Célula de sector

3.5.2 Radio celular máximo y radio celular mínimo

Colocar el radio celular máximo en el inicio de algún sistema es parte del problema general de obtener un bajo costo y buena calidad de transmisión puesto que el radio celular máximo solo tiene un efecto indirecto en el objetivo del sistema de tener una gran capacidad inicial. Otro elemento que afecta el objetivo de tener bajo costo y buena calidad es la potencia del transmisor.

Quando se establece algún sistema normalmente debe haber poco reuso de frecuencias, porque si la célula inicial es relativamente grande, el número total de células necesarias para alcanzar el área de cobertura deseada no excede el número de grupos de canales en los cuales el área fue dividida.

Así, aunque a dos o más locales celulares se haya asignado el mismo grupo de canal, mutuamente subgrupos exclusivos pueden ser utilizados en los locales cocanal hasta que exista crecimiento del tráfico, de tal forma que el deterioro del canal principal compita con el ruido ambiental.

Al inicio de un sistema bastara incrementar la potencia de los transmisores de tierra y el móvil, ya que los otros parámetros del sistema permanecen constantes y se podría mejorar la calidad de transmisión al elevar la relación señal a RT (S/N) ruido, pero esto también elevaria el costo del sistema. Observando las cosas en forma amplia se ve que al aumentar la potencia del transmisor se pueden reducir costos del sistema además de mejorar la calidad de la transmisión, esta potencia deberá permitir el uso de radios celulares grandes, para el mismo nivel de la calidad de transmisión, lo cual permitira cubrir el área con un menor número de locales celulares, lo cual produce un gran ahorro en el costo de construcción de locales celulares, por lo que vemos que aunque se aumenta en costo al incrementar la potencia del transmisor este gasto es deseable ya que se ahorra al instalarse menos locales celulares.

El alto nivel de la potencia relativa del transmisor que es benéfico en las fases iniciales de los sistemas celulares es grandemente superfluo en fases posteriores, puesto que cada etapa de división celular esencialmente media la distancia principal entre las unidades móviles y sus locales celulares a los que sirven.

El valor seleccionado de 10 Watts entregados a las antenas de transmisión esta basado en una evaluación de costo, confiabilidad y potencia de disipación de los transmisores da hoy en día en el rango de 800 a 900 Mhz, para proporcionar aproximadamente 10 Watts de potencia en las antenas terminales. El diseño del sistema requiere de 12 Watts desde los transmisores móviles y 10 Watts desde el local celular para compensar las pérdidas por cable y combinadas.

La elevación de la antena del local celular y la ganancia (en cualquier plano vertical), influyen la negociación entre el costo y la calidad de transmisión tal como la potencia del transmisor, el rango esperado de la ganancia de la antena es de 6 a 8 dB relativo a un dipolo, el rango esperado de elevación sobre la tierra es de 33 a 66 metros.

Asumiendo que la potencia del transmisor y la ganancia de la antena del local celular y la elevación están establecidos, la negociación entre costo y calidad en las etapas iniciales del desarrollo de AMPS esta gobernado por el valor seleccionado para el radio celular, puesto que el incrementar radios decrece el costo y se degrada la calidad de transmisión, el objetivo de la calidad de transmisión permite un nivel controlado de imperfección para mejorar la economía.

La calidad de sonido en llamadas en AMPS se ha intentado que sea comparable en aceptabilidad a la calidad del sonido en llamadas sobre la red telefónica, pero la asignación de parámetros del sistema requiere que esta sea reducida a términos más concretos.

El máximo radio celular depende de los factores subjetivos y estadísticos para obtener la calidad de sonido deseada, los diseñadores obtuvieron opinión de usuarios de canales telefónicos móviles en el rango de 800 a 900 Mhz y de la propagación de la energía a esas frecuencias. Como resultado de algunas pruebas fue encontrado que la relación S/N fue de 18 dB la mayoría de los que escuchaban consideraron los canales buenos o excelentes por lo que se concluyo que la relación S/N debería exceder los 18 dB.

Considerando algunas investigaciones se muestra que para una distancia r entre el receptor y el transmisor la probabilidad de distribución de el patrón de perdida (atenuación) en decibeles es aproximadamente gaussiana, lo cual es aproximadamente una función de la forma

$$K + 10 n \log$$

en la cual k es constante para un par transmisor - receptor dado y n es conocida como el exponente del patrón de perdida. Las cantidades de desviación estandard para varios decibeles, los cuerpos de datos asociados con diferentes locales transmisores produce diferentes resultados numéricos para todos esos parámetros, los valores numéricos de las pruebas son un exponente del patrón de perdida n en el orden de 4 y de una desviación estandard aproximadamente de 8 dB.

3.5.3 Radio celular mínimo

En el sistema AMPS los locales celulares adicionales necesarios para aliviar la demanda de tráfico telefónico sobre los locales existentes serán posicionados en medio de locales viejos adyacentes. Este simple procedimiento reduce la distancia entre locales adyacentes a la mitad por lo tanto reduce el radio celular en un factor de 2 y el área celular en un factor de 4.

El radio celular mínimo es el que se obtiene después de la etapa final de división celular, tiene un pequeño efecto en el costo del sistema para el usuario, o en la calidad de transmisión pero esto juega una parte vital en la colocación de la capacidad final del sistema. Cada etapa de división celular multiplica el número de locales celulares en el área de cobertura deseada por un factor de 4, la capacidad total del tráfico llevado por el sistema es también incrementado esencialmente por el mismo factor, en principio el proceso puede ser repetido un número indefinido de veces, pero considerando el valor límite práctico de una milla como radio celular mínimo.

Si al principio de un sistema se consideran con un radio celular máximo de 8 millas, permitira 3 etapas, no hay barrera física insuperable para tener células más pequeñas, pero los más grandes obstáculos prácticos son la tolerancia de la posición del local celular y la carga de frecuentes entregas.

Como previamente se indico los locales celulares deberán estar posicionados en un cuarto de el radio celular de sus ubicaciones ideales, una tolerancia de un cuarto de milla (401 mts..) es probablemente el requerimiento más estricto que puede ser contemplado, la distancia principal viajada entre entregas esta delineada para decrecer tanto como el radio celular. Decrece. En un sistema compuesto de varias células con radios menores a una milla las entregas deberán consumir una considerable fracción de la capacidad del procesador central del MTSO.

3.5.4 Asignación de canal.

Un grupo de células vecinas usando todos los 333 canales validos en la banda de frecuencia del sistema es llamado un enjambre de células, en otras palabras no hay reuso de frecuencia en un enjambre, pero otras células fuera del enjambre deberán reusar frecuencias.

El número de células pertenecientes a un enjambre pueden ser diferentes, de tal forma, las dos siguientes configuraciones son las comunes:

Patrón celular 7 (7 células omnidireccionales en un enjambre)

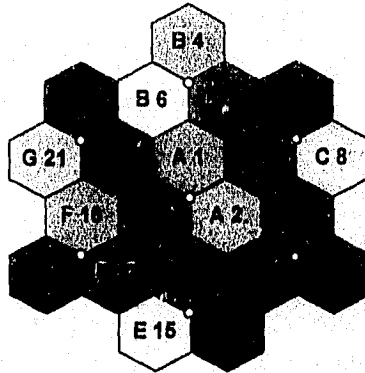
Patrón celular 21 (7 locales de estación base, cada una con 3 células de sector en un enjambre).

En un enjambre con 7 células hay 7 grupos de frecuencias (uno por célula) esos grupos de canales pueden ser denominados por letras como por ejemplo:

A, B, C, D, E, F Y G

En el enjambre CPM 21 células las denominaciones pueden ser:

- A1, A2, A3
- B4, B5, B6
- C7, C8, C9
- D10, D11, D12
- E13, E14, E15
- F16, F17, F18
- G19, G20, G21



(FIGURA. 3.19) Patrón celular (enjambre de 21 células)

La forma apropiada de colocar canales es como sigue:

CANAL 1 a A1, CANAL 2 a B4, CANAL 3 a C7, CANAL 4 a D10y CANAL 21 a G21 y entonces CANAL 22 a A1, canal 23 a B4, etc. FIG 3.20

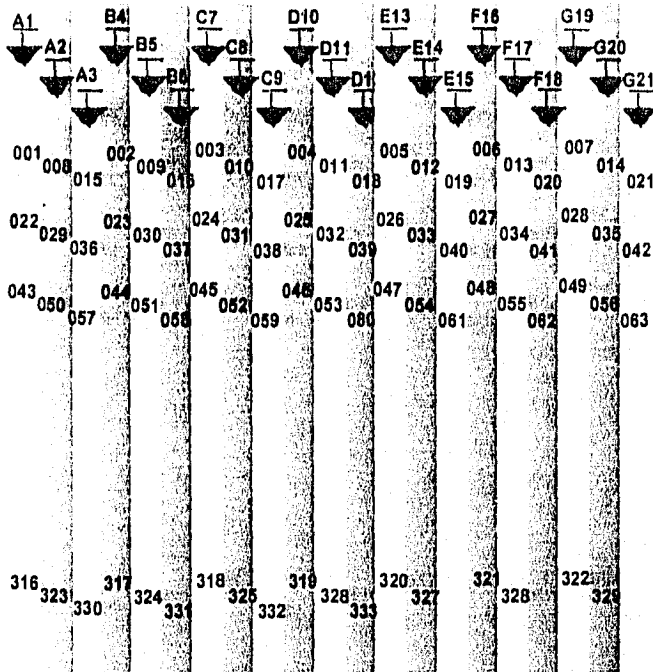


FIGURA. 3. 20

Aquí podemos ver que el número de canales usado en la misma célula son siempre 21 canales, esto es beneficioso de acuerdo a las propiedades del transmisor combinador, esto también elimina el riesgo de una posible interferencia entre canales adyacentes en la misma célula, en la cual podría de otra manera tenerse.

Si conocemos que la densidad de tráfico va a ser diseminada igualmente con esas células, los canales (frecuencias) pueden ser colocadas igualmente a través de la banda de frecuencia entera, como se ve en la figura. 3.20

3.6. Centro de conmutación de servicios móviles.

Ericsson escogió su central telefónica de conmutación digital SPC AXE 10 para ser el corazón de su sistema celular, un amplio diseño modular hace al AXE 10 flexible para las adaptaciones a diferentes aplicaciones, las centrales AXE 10 para tránsito local, nacional e internacional y el sistema telefónico móvil celular nórdico fueron los que operaron primero en el mundo. La selección del AXE 10 da entre otras características, las del suscriptor móvil que son válidas en la RPTC y también da la posibilidad de incorporar nuevas características de acuerdo a como se vayan desarrollando, resultando un extensivo avance general de desarrollo del AXE 10.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Estructura Del Sistema.

Consiste de un número de subsistemas cada uno ejecutando un rol específico en la central telefónica, cada subsistema está diseñado con un gran grado de autonomía y está conectado a otros subsistemas por interfaces estándar, esta arquitectura de sistema significa que varios subsistemas pueden ser combinados en diferentes formas para reunir los requerimientos de los diferentes tipos y tamaños de las centrales en las redes.

El AXE 10 consiste de 2 sistemas:

- Sistema de conmutación APT
- Sistema de procesamiento de datos APZ

cada uno formado de varios subsistemas.

3.6.1 Sistema de conmutación APT

El sistema de conmutación normalmente implementado en el CCM es el sistema APT 210 08, sus subsistemas son presentados en la fig. 3.21, algunos de esos subsistemas son implementados en hardware y en software y algunos solo en software.

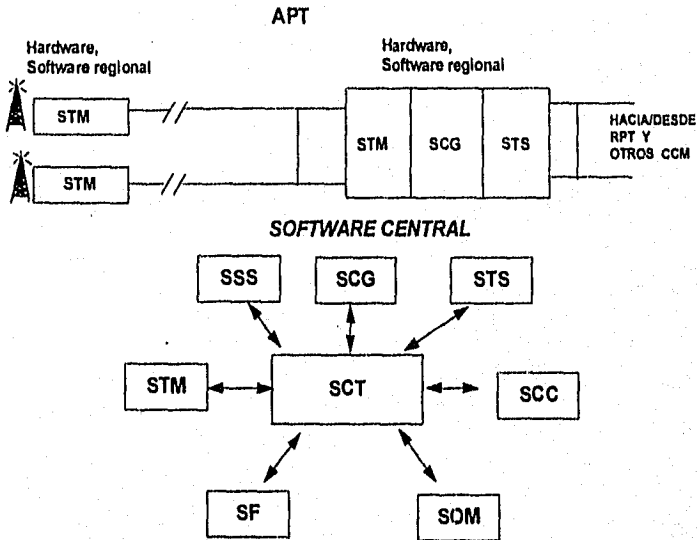


FIG. 3.21 Subsistemas en el APT

Subsistema de señalización y troncal (SST) TSS

Este subsistema supervisa el estado de las líneas de troncal de la RP y para otro CCM, la señalización entre el CCM y esos dos es también manejada por el SST de acuerdo al CCITT NO. 7 de tal forma la información de la señalización es buscada y enviada al subsistema de señalización de canal común.

Subsistema de señalización de canal común (SCC) CCS

Este subsistema contiene funciones de señalización, enrutamiento, supervisión y corrección de mensajes enviados de acuerdo con CCITT no. 7 el CCM requiere el uso de señalización de canal común, la señalización CCITT no. 7 es usada, este tipo de señalización es en estos días a menudo utilizada por las centrales RP y en tal caso también será usado por el CCM para señalización a la RP.

Subsistema de conmutación de grupo (SCG) GSS

Este subsistema es controlado por el SCT, el SCG establece, supervisa y limpia las conexiones a través de el grupo de conmutación esto también acuerda conexiones de 3 partes tales como conferencias de llamadas, etc. la selección del patrón a través del cual la conmutación toma lugar en el software.

Subsistema de telefonía móvil (STM) MTS.

Cuando este se implementa el AXE 10 se vuelve una CCM, todas las funciones específicas de suscriptor móvil, funciones de red celular tanto como la señalización con estaciones móviles son manejadas por el STM, este también provee al (SCC) con los datos necesarios para la señalización del CCM, la operación y funciones específicas de mantenimiento para el sistema de telefonía celular también son implementadas en el STM.

Subsistema de servicios de suscriptor (SSS)

Todas las funciones de servicios de suscriptor son implementados en este subsistema.

Subsistema de operación y mantenimiento (SOM) OMS

La operación general de AXE 10 y las funciones de mantenimiento del sistema de conmutación son incorporadas en el som, este toma medidas aceptables si ocurre falla, colecta estadísticas de tráfico, maneja los datos administrativos iniciados por ejemplo por comandos.

Subsistema de control de tráfico (SCT) TCS

Este subsistema controla el establecimiento y liberación de conexiones de dialogo, este almacena y analiza los dígitos recibidos del STM y el SST en las bases de la información almacenada del suscriptor, categoría, rutas, clases de tarifas, etc., decide como la llamada va a ser manejada, números de serie internos al CCM y el código de troncal del CCM son entre otras cosas almacenadas en este subsistema, en el CCM la mayoría de los controles de tráfico es desarrollado en cercana cooperación con STM.

Subsistema de cobro (SC) CHS

Las llamadas son normalmente cobradas por medio de toll ticketing, esto es que los datos de cada llamada tales como llamando a número, número llamado, fecha, tiempo, duración de la llamada, etc. es grabado y almacenado por ejemplo en cinta magnética.

Si el sistema celular tiene más de un CCM deberán ser procesados juntos desde que el suscriptor móvil puede hacer llamadas hasta varias de ellas, el SC también proporciona facilidades de conteo entre el operador celular y el operador de la RPTC.

3.6.2 Sistema de procesamiento de datos APZ

Los requerimientos de capacidad del procesador del CCM han tendido a crecer más rápidamente de lo esperado, hasta ahora la mayoría de predicciones acordando el número de nuevas suscripciones móviles en redes celulares han sido excedido algunas veces. por ejemplo en Estocolmo existen 50000 suscriptores contra los 20000 predichos años atrás, esto significa que el operador celular deberá ser muy cuidadoso al escoger al fabricante, asegurándose de todos modos que el sistema puede crecer mucho más rápido de lo esperado el CCM puede continuar haciendo frente con los requerimientos de capacidad de procesamiento.

Dos diferentes procesadores centrales pueden ser ofrecidos por Ericsson.

APZ 211: Procesador central utilizado para necesidades de central media.

APZ 212: Procesador central utilizado para centrales de uso extremo.

Un hecho importante es que los procesadores son totalmente compatibles en hecho, un conmutador de APZ 211 a APZ 212 en una aplicación de crecimiento puede ser hecho sin tomar el sistema fuera de servicio.

El sistema APZ puede ser dividido en los siguientes subsistemas:

- Subsistema de procesador central (SPC) CPS
- Subsistema de procesador regional (SPR) RPS
- Subsistema de mantenimiento (SM) MAS

Subsistema de Entrada/Salida o los siguientes subsistemas como alternativas:

- Subsistema de comunicación hombre-máquina SHM
- Subsistema de soporte del procesador SSP
- Subsistema de comunicación de datos SCD
- Subsistema de manejo de archivos SMA

Subsistema de procesador central (SPC)

Consiste del hardware y el software, el hardware consiste de un par de procesadores centrales (pc) estos almacenan y ejecutan el software del procesador central del sistema de conmutación, manejando las más complejas funciones, esto desarrolla las funciones como un trabajo de administración, manejando almacén, cargando y cambiando programas, etc.

Subsistema de procesador regional SPR

Consiste de hardware y software, el hardware localizado en el CCM esta en forma de procesadores regionales y terminales de señalización TSC. el hardware localizado en las estaciones base esta en la forma de procesadores regionales de extensión modular (PREM) y terminales de señalización TSR.

El PR y el PREM almacenan y ejecutan el software del sistema de conmutación, manejando simples rutinas y tareas de gran capacidad.

TSC y TSR manejan comunicación de datos entre el CCM y la estación base.

Subsistema de mantenimiento SM

Este supervisa la correcta operación del sistema de procesamiento de datos, localiza fallas de hardware y errores software y toma acciones validas para minimizar los efectos de esas fallas/errores.

Subsistema de entrada/salida SE/S, ALT 1.

Este subsistema maneja la comunicación hombre/máquina, ambos comandos y salida de impresor tanto como entrada salida de datos en cinta magnética, enlaces de datos, cintas de casetes y distribución de alarmas a paneles de alarma visual.

3.7 Concesiones y áreas de servicio en México.

3.7.1 Concesiones.

De acuerdo a la concesión establecida por la SCT, se consideran a dos (2) concesionarias máximo por Región de Concesión para instalar, operar y explotar sistemas de Telefonía Celular.

3.7.2 Región de concesión.

Para la cobertura geográfica de las concesiones se han establecido por parte de la SCT las regiones de concesión, en las cuales cada concesionario podrá ofrecer el servicio (ver Fig. 3.22). Dicha región podrá incluir varias zonas de servicio (una por cada una de sus centrales celulares) que se podrán agrupar en la forma que se decida por las concesionarias, lo cual es función de la demanda prevista.

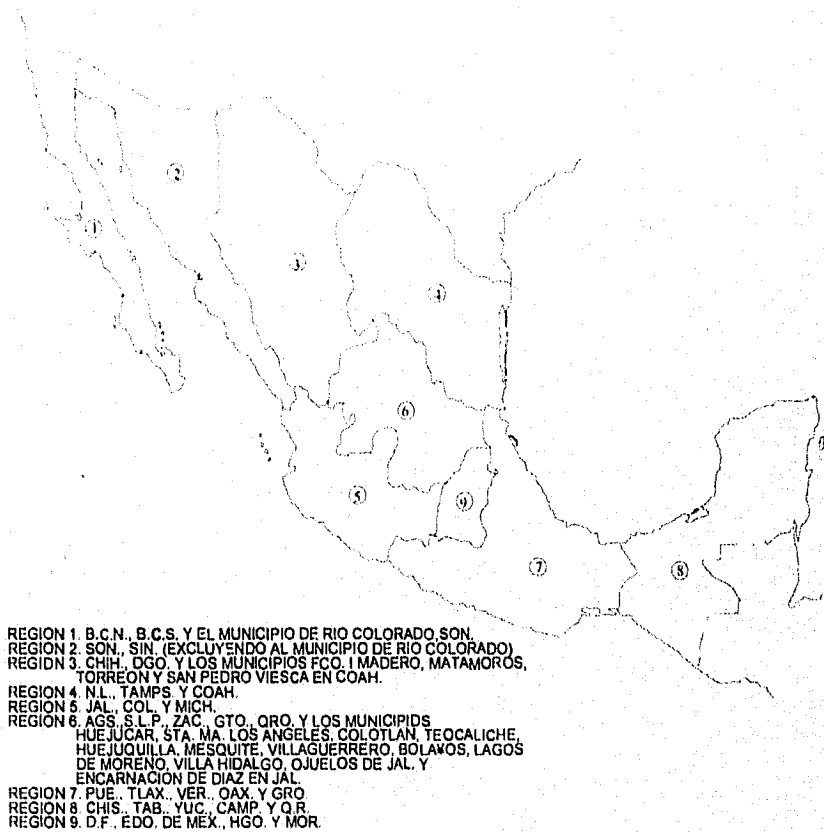


FIG. 3.22 Regiones de concesión del servicio de telefonía celular

El tener dos concesiones (A y B) por región de concesión, está en función de la capacidad diseñada y uso del espectro radioeléctrico en el sistema AMPS, así como de un enfoque competitivo que promueva un buen servicio de Telefonía Celular.

La distribución del espectro en la banda de 800 MHz para los concesionarios A y B se muestra en la siguiente tabla:

| COMUNICACION | A | B |
|----------------------------------|---------|---------|
| ESTACION BASE ● TERMINAL CELULAR | 870-880 | 880-890 |
| TERMINAL CELULAR ● ESTACION BASE | 825-835 | 835-845 |

Las compañías concesionadas por la SCT para cada una de las regiones mencionadas se indican en el Anexo 4.

3.7.3 Area de servicio.

Se define como el área cubierta por el conjunto de centrales celulares, que pertenecen a un mismo concesionario y a una misma región de concesión. Cada central celular define una zona de servicio por el conjunto de las zonas de sus estaciones base.

3.8 Plan de numeración.

3.8.1 General.

En el Plan Fundamental de Numeración (Ago/1988), se consideran los aspectos de numeración y marcación para la identificación y acceso a un usuario, servicio o facilidad de la RTPC.

Dada la estructura y funcionamiento del sistema de Telefonía Celular, se requiere el uso de dos tipos de numeración para las terminales celulares:

- ⊗ Número de Directorio (ND).
- ⊗ Número de Identificación (NI).

3.8.2 Asignación de numeración.

El conectar la OTTC como una Central Local de la RTPC, permitirá a los usuarios celulares que puedan ser accedados desde cualquier aparato telefónico de la RTPC (u otras redes) y que estos a su vez, puedan hacer llamadas hacia la RTPC (u otras redes) como cualquier usuario telefónico convencional.

3.8.2.1 Número de Directorio.

Se establece que la numeración asignada a la OTTC debe presentar las siguientes características:

- ⊗ Ser integrada a la numeración nacional de la RTPC, lo cual facilita tanto su asignación como el acceso desde otras redes (Internacionales/Mundiales).
- ⊗ Ser cerrada a 8 dígitos, como la numeración nacional de la RTPC.

El número de directorio es el que deberá marcar cualquier usuario fijo o usuario celular para acceder a un usuario celular, y se utiliza para fines de identificación y de enrutamiento a través de la RTPC.; es decir:

| NUMERO NACIONAL | |
|-----------------|--------------|
| C. LADA | NUMERO LOCAL |
| A | bcd efgh |
| A B | cd efgh |
| A B C | d efgh |

FIG. 3.23 Número de directorio celular.

La numeración de la OTTC la asignará y administrará la concesionaria de la RTPC.

La asignación de numeración para OTTC's en el Plan de Numeración, está en función de la demanda esperada y de la cobertura por Centros de Zona del servicio de Telefonía Celular, y debe considerar que todo usuario celular (no importando a que concesionario pertenezca) deberá tener un número nacional único que lo identifique.

Dado que una OTTC podrá conformar una área de servicio cuya cobertura geográfica incluya varias OTA's y OTU's pertenecientes a diferentes Centros de Zona de la RTPC (ver Figuras 3.45 y 3.46), se asignará numeración por cada Centro de Zona que tenga servicio celular; es decir, una OTTC podrá tener asignadas diferentes C. LADA-Serie (una por cada Centro de Zona con servicio celular), siendo responsabilidad de la compañía concesionaria el distribuir cada numeración de acuerdo al punto de contratación de sus usuarios.

Cada una de las C. LADA-Serie asignadas a la OTTC, identificará y asociará a cada usuario celular como perteneciente a un Centro de Zona, lo que permitirá en el proceso de facturación discriminar y procesar las llamadas como locales, locales zonales, zonales, intraregionales o interregionales.

Se utilizará numeración urbana si la C.LADA asignada a la RU del Centro de Zona en la que se encuentra la OTTC, no está saturada, a punto de cambiar o comprometida para otros servicios, ampliaciones o pruebas piloto; en caso contrario se utilizará numeración zonal.

3.8.2.2 Número de Identificación.

Este número lo asignará y administrará la entidad regulatoria (SCT) y se utiliza para la identificación entre la Terminal Celular y el Sistema de Telefonía Celular. Consta de dos partes:

A) Número Identificador del Móvil (NIM).

Este número consta de 10 dígitos e incluye la Clave Internacional de México y el número de directorio mencionado en el punto 3.8.2.1

| NIM | |
|---------------------|-----------------|
| CLAVE INTERNACIONAL | ND |
| 52 | A b c d e f g h |
| 52 | A B c d e f g h |
| 52 | A B C d e f g h |

FIG. 3.24 Número identificador del móvil.

Dada la utilización del NIM, cada país podrá asignar el NIM en forma independiente, siempre y cuando se cumpla con la longitud de 10 dígitos que establece la norma AMPS.

B) Identificación del Sistema Base (ISB).

La longitud del ISB es de 15 bits en representación binaria y comprende tres campos:

| I S B | | |
|----------------|-------------|-----------------------|
| CODIGO DE PAIS | NO. SISTEMA | BANDA DE COMUNICACION |
| 8 BITS | 6 BITS | 1 BIT |

FIG. 3.25 Identificación del sistema base.

- El código de País asignado a México es: 11 000 000.
- El número de Sistema se asignará de acuerdo al Plan de Identificación de la SCT y conforme se vayan introduciendo nuevos sistemas de Telefonía Celular.
- Se asignará una banda de comunicación por región para cada concesionario (máximo dos concesionarios por región).

3.8.3. Proceso de marcación.

3.8.3.1 Servicio automático (Servicio básico).

El proceso de marcación de un usuario fijo de la RTPC para acceder a un usuario celular será de la forma

- '90 + No. Directorio (8 D)' para llamadas locales y locales zonales.
- '91 + No. Directorio (8 D)' para llamadas zonales, intraregionales e interregionales.

El proceso de marcación de un usuario celular, para acceder a un usuario fijo de la RTPC o a un usuario celular; es decisión de la compañía concesionaria. Sin embargo, TELMEX recomienda alguno de los siguientes procesos:

- a) '90 + No. Nacional (8 D)'
- b) 'No. Nacional (8 D)'

Para llamadas locales, locales zonales, zonales, intraregionales e interregionales.

El proceso de marcación de un usuario celular, para acceder a la red internacional o mundial, deberá ser de acuerdo a lo establecido en el Plan Fundamental de Numeración (uso de los prefijos 95 y 98).

3.8.3.2 Servicio semiautomático y manual.

El proceso de marcación de un usuario fijo de la RTPC, para acceder a un usuario celular a través de los servicios semiautomáticos o manuales, deberá ser de acuerdo a lo establecido en el Plan Fundamental de Numeración (uso de los prefijos 92 y 02).

El proceso de marcación de un usuario celular, para acceder los servicios semiautomáticos o manuales como servicio opcional, deberá ser de acuerdo a lo establecido en el Plan Fundamental de Numeración (uso de los prefijos 02, 96 y 90, y de los códigos 02 y 09)

3.8.3.3 Servicios especiales (Servicio básico)

El proceso de marcación de un usuario celular, para acceder los servicios especiales de la RTPC, deberá ser de acuerdo a lo establecido en el Plan Fundamental de Numeración (uso de los códigos 0X, X = 2, 9)

3.8.3.4 Evolución de los códigos de acceso

Los códigos de acceso "0X" y "0I" evolucionarán a tres dígitos de la forma "0XX" a nivel nacional, conforme a la disponibilidad de recursos técnico-administrativos de TELMEX y TELNOR, a la evolución tecnológica de la planta y a la estrategia en la diversificación de los servicios especiales.

3.9. Señalización.

3.9.1 General.

La introducción del Servicio de Telefonía Celular requiere del empleo de señales susceptibles de ser entendidas por los equipos que forman la RTPC, para lograr el establecimiento de las comunicaciones

La señalización establecida es aquella que se efectúa entre:

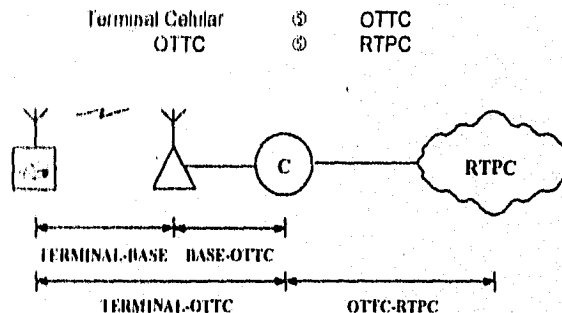


FIG. 3.26 Estructura del sistema de telefonía celular

3.9.2 Señalización terminal celular-OTTC.

Considerando que en la estructura del sistema de Telefonía Celular, la señalización Terminal Celular-Base Celular y Base Celular-OTTC utiliza el sistema de señalización basado en la especificación EIA-IS-3 a través de canales dedicados. Se establece que en la medida de lo posible, la interfaz hacia el usuario celular deberá ser tal que éste pueda establecer una comunicación en forma similar a la de un usuario telefónico convencional, no importando la realización física de ésta, por encontrarse en las instalaciones del concesionario.

3.9.2.1 Señales acústicas.

⊗ Tonos.

La generación de tonos por parte del sistema de Telefonía Celular (OTTC, base celular o terminal celular), deberá cumplir con el punto 5.2.1 del Plan Fundamental de Señalización de TELMEX, a excepción del tono Triplex (no aplicable).

⊗ Repique.

Señal generada por la Terminal Celular y se utiliza para informar al usuario celular que tiene una llamada entrante.

La señal emitida deberá tener la siguiente cadencia:

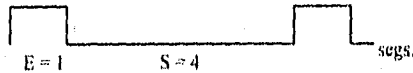


FIG. 3.27 Cadencia del repique.

⊗ Mensajes grabados.

El envío de mensajes grabados por parte de la OTTC deberá cumplir con el punto 5.2.3 del Plan Fundamental de Señalización de TELMEX y adicionalmente a los mensajes indicados en el Anexo 6, deberá proporcionar el siguiente mensaje:

.. Terminal celular apagada o fuera del área de servicio.

-Este mensaje lo escuchará el usuario 'A' (fijo o celular) cuando el usuario celular llamado tenga apagada su terminal o este fuera del área de servicio.

-Mensaje sin cargo.

-Texto. "El número celular que usted llamó no fue localizado en la área de servicio, favor de llamar más tarde".

3.9.3 Señalización OTTC-RTPC.

Para lograr una conectividad total a la RTPC, la OTTC deberá cumplir con los aspectos de señales de línea y señales de registro establecidas en el Plan Fundamental de Señalización de TELMEX.

3.9.3.1 Señales de línea.

La OTTC deberá cumplir con el punto 6.2.5 para señales de línea en sistema MIC (R2-Digital) del Plan Fundamental de Señalización de TELMEX.

Para las llamadas con función de visita, la OTTC base deberá retransmitir hacia adelante o hacia atrás y en forma inmediata, las siguientes señales de línea:

.. Desconexión

.. Contestación

.. Reposición

3.9.3.2 Señales de registro.

La OTTC deberá cumplir con el punto 7 del Plan Fundamental de Señalización de TELMEX para señales MFC.

Para llamadas originadas por la OTTC, ésta deberá enviar el número nacional (8D) como identificación del usuario celular.

Para llamadas terminadas en la OTTC, ésta deberá enviar la señal B1 (Abonado Libre) inmediatamente después de la recepción de la categoría de llamada '2' (Abonado Normal).

A fin de evitar interferencias operativas y limitar el acceso del sistema de Telefonía Celular a funciones de uso exclusivo de la RTPC; para llamadas originadas por la OTTC, el nodo de interconexión (TANDEM o CALD) deberá validar la llamada mediante los siguientes parámetros:

I) Categoría de llamada.- Todas las categorías diferentes de la categoría '2' (Usuario normal con tasación) serán restringidas por el nodo de interconexión (NIX) y la utilización de cualquier otra (por ejemplo: llamada de prueba) queda sujeta a la autorización de TELMEX.

II) Identificación de numeración.- Todas las llamadas cuya identificación de usuario "A" (usuario celular) contenga una C.LADA-Serie diferente a la(s) autorizada(s) para su utilización dentro de la región de concesión, serán restringidas por el nodo de interconexión. Este procedimiento se aplicará a los usuarios celulares de visita (Roaming).

Si la validación es positiva, el NIX tratará la llamada e iniciará el arranque de señalización hacia adelante.

Si la validación es negativa, el NIX deberá rechazar la llamada y aplicar el procedimiento de liberación de la llamada hacia atrás.

3.9.3.2.1 Tráfico terminado en la OTTC.

Se tienen los siguientes casos de señalización para el tráfico terminado en la OTTC:

i) El caso de señalización para el tráfico terminado en la OTTC, deberá ser tal y como se muestra en la siguiente figura:

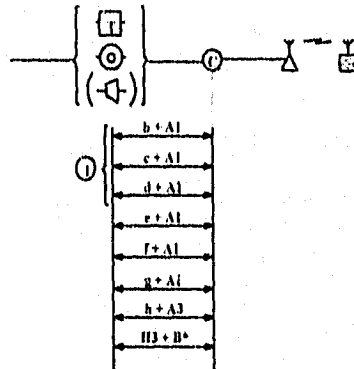


FIG. 3.28 Tráfico terminado en la OTTC

⊗ El número de dígitos enviados depende el esquema de envío de dígitos de cada red en particular y es función de la longitud del número local asignado (5, 6 ó 7D).

Para entender cual es el proceso de señalización que se utiliza , referirse al apéndice número 2.

ii) Considerando que una OTTC podrá tener asignada más de una C. LADA; para el tráfico terminado en la OTTC y que por razones no consideradas en esta norma, utiliza una combinación de lescenarios de enrutamiento ; esto es, que por un mismo enlace dedicado se envle señalización relacionada a usuarios celulares pertenecientes a diferentes Centros de Zona, deberán enviarse 8 dígitos tal y como se muestra en la siguiente figura:

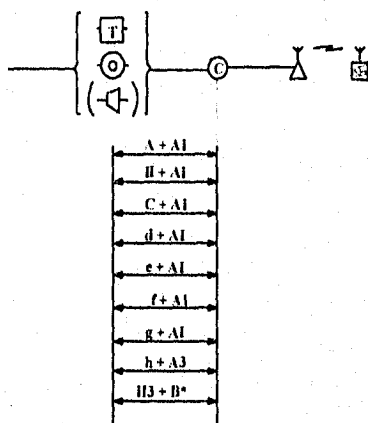


FIG. 3.29 Tráfico terminado en la OTTC

La categoría de llamada (extradígito) 'II3' podrá ser:

- 1 = Operadora nacional con posibilidad de ofrecimiento
- 2 = Usuario normal sin posibilidad de ofrecimiento

El estado de la línea 'B*' puede tomar los siguientes valores:

- B1 = Usuario libre con tasación
- B2 = Usuario ocupado
- B4 = Bloqueo

Si la categoría de llamada (extradígito) recibida es la '2', la OTTC deberá enviar la señal 'B1' independientemente del estado real del usuario celular.

.. Cuando el usuario celular esté ocupado, la OTTC también deberá enviar el tono de ocupado hacia la RTPC (ver punto 5.2.1 del Plan Fundamental de Señalización de TELMEX).

.. Cuando el usuario celular esté indisponible (p. ej. terminal apagada o fuera de servicio), la OTTC también deberá enviar el mensaje correspondiente sin señal de contestación hacia la RTPC.

Si la categoría de llamada recibida es la '1', la OTTC deberá enviar la señal 'B1' o 'B2' dependiendo del estado real del usuario celular.

3.9.3.2 Tráfico originado en la OTTC.

De acuerdo al tipo de tráfico y a las posibilidades de interconexión indicadas en el punto 3.11, se muestran a continuación los casos de tráfico que deberán considerarse:

i) Tráfico Local.

a) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (a, b y c) y 3.11.3.4 (a y b), deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

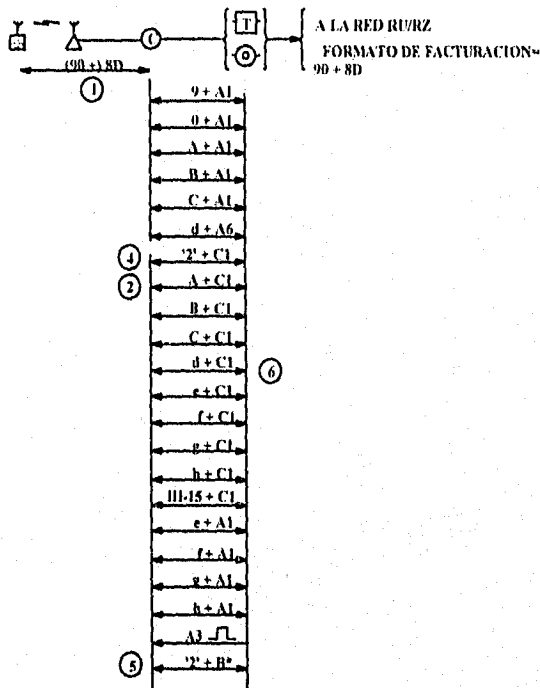


FIG. 3.30 Tráfico originado en la OTTC.

ii) Tráfico L.D

a) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (d, e y f) y 3.11.3.4 (c, d y e) con enlace tipo 1a, deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

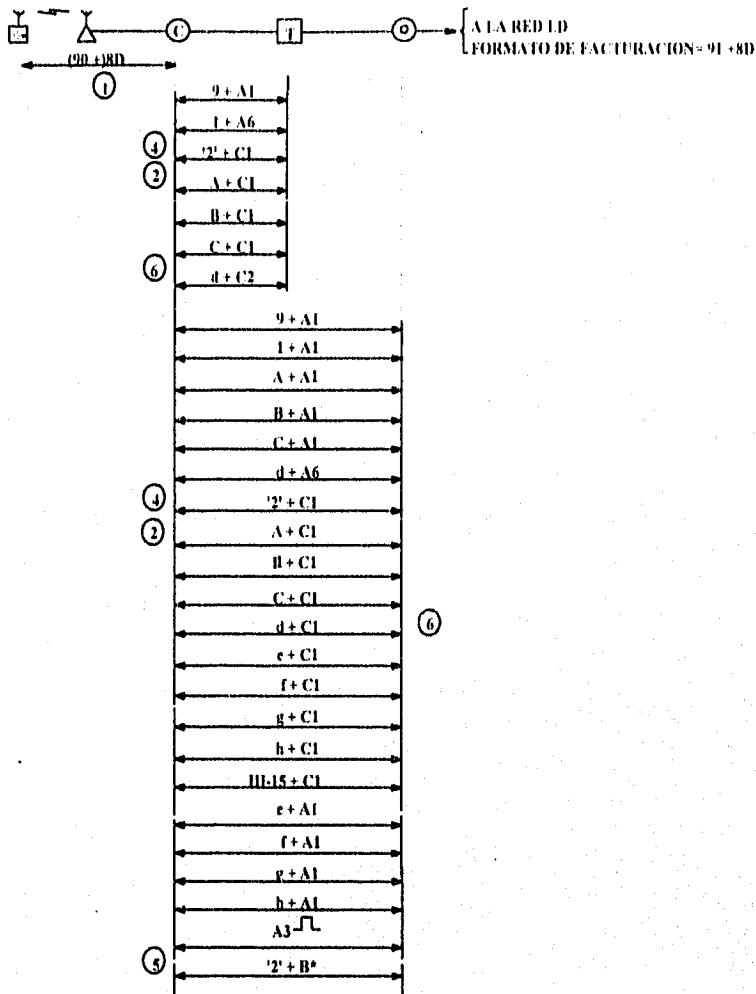


FIG. 3.31 Tráfico originado en la OTTC.

b) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (d, e y f) y 3.11.3.4 (c, d y e) con enlace tipo 2, deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

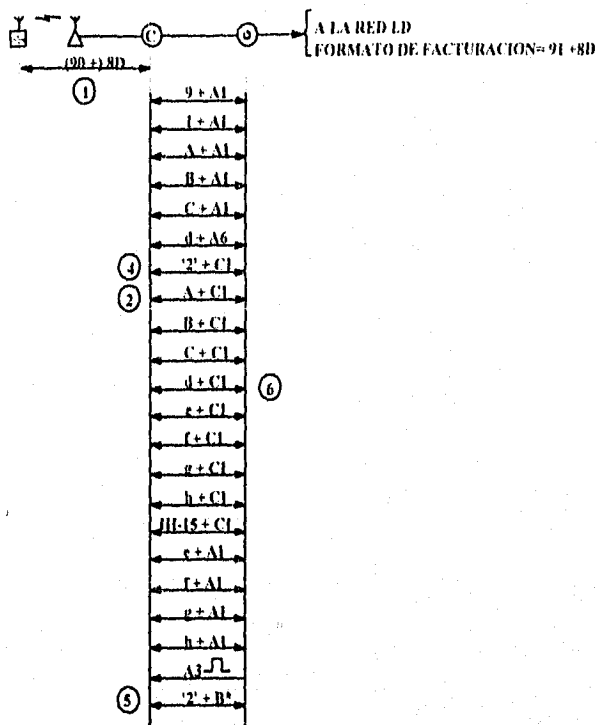


FIG. 3.32 Tráfico originado en la OTTC.

iii) Tráfico Internacional.

a) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (g) con enlace tipo 1a, deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

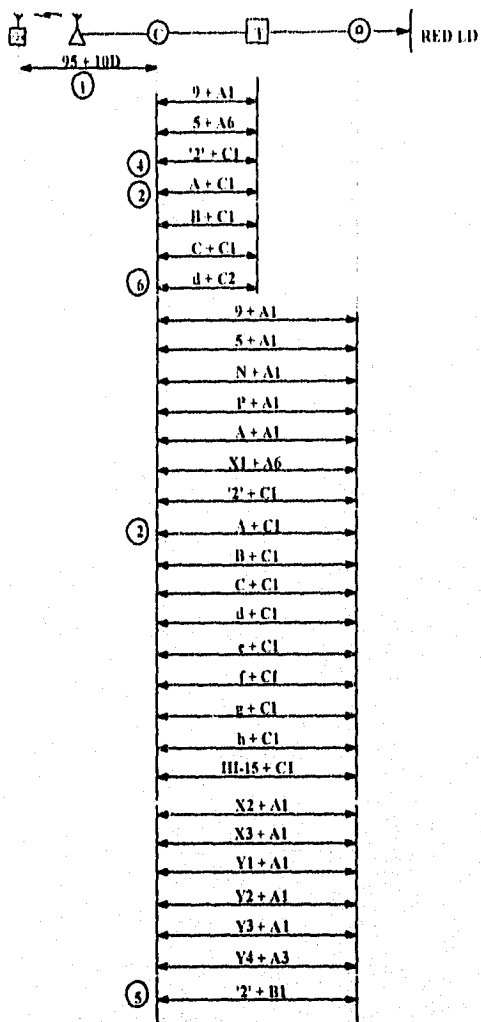


FIG. 3.33 Tráfico internacional originado en la OTTC (POR TANDEM).

b) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (g) con enlace tipo 2, deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

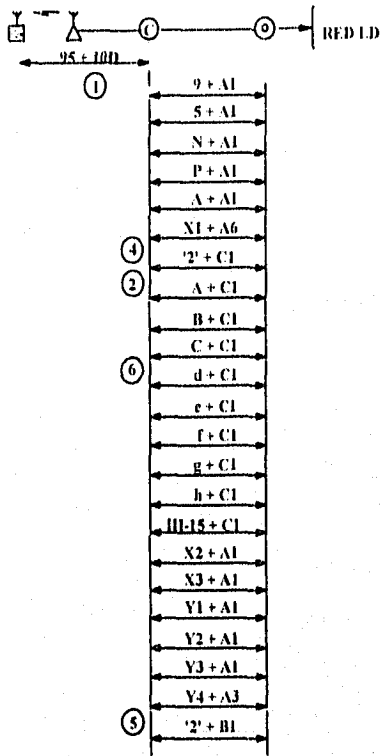


FIG. 3.34 Tráfico originado en la OTTC (POR CALD).

iv) Tráfico Mundial.

a) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (g) con enlace tipo 1a, deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

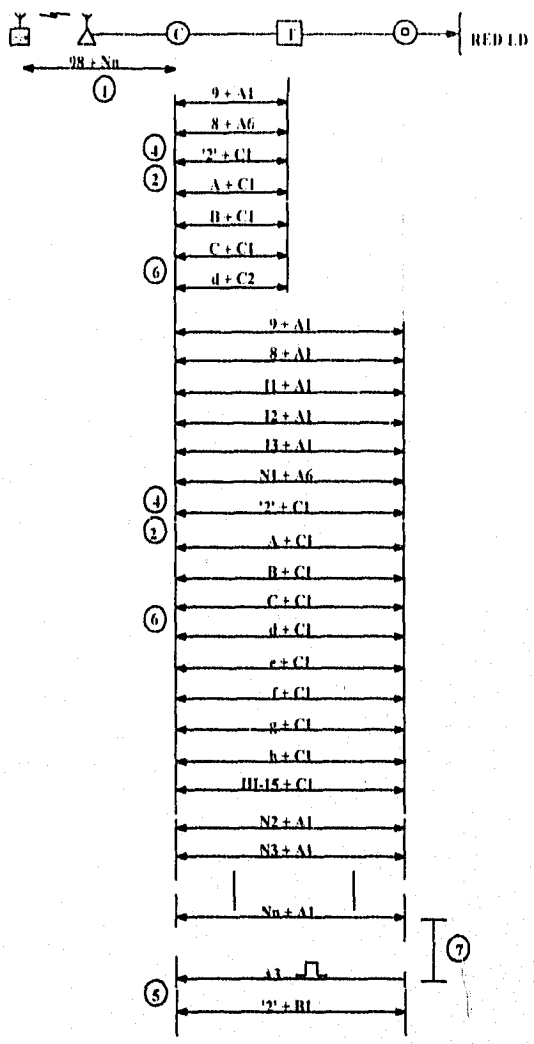


FIG. 3.35 Tráfico originado en la OTTC (POR TANDEM).

b) El caso de señalización para el tráfico originado en la OTTC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.3 (g) con enlace tipo 2, deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

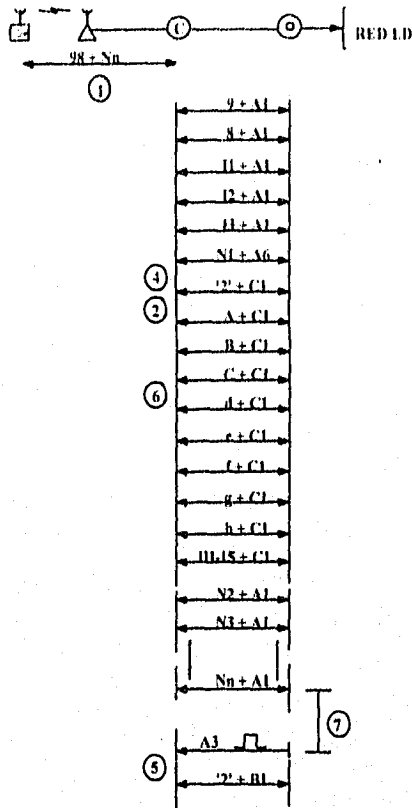


FIG. 3.36 Tráfico originado por la OTTC (POR CALD).

v) DESTINO = Servicios Especiales 0X (X=1, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Este caso es aplicable cuando la interconexión es a través del TANDEM o CALD o ambos:

- TANDEM.** Todo el tráfico de servicios especiales se enruta a la central de interconexión TANDEM
- CALD** Todo el tráfico de servicios especiales se enruta al CENTRO AUTOMATICO DE LARGA DISTANCIA.
- AMBOS** Todo el tráfico de servicios especiales se enruta al TANDEM o CALD, dependiendo de la configuración particular de cada red urbana para proporcionar los servicios especiales.

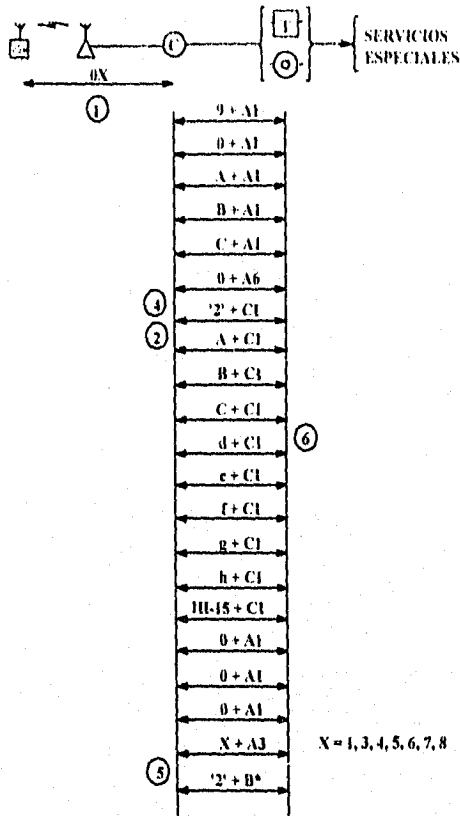


FIG. 3.37 Tráfico originado por la OTTC.

Para este caso se deberán enviar ocho dígitos como número de servicios especiales, de acuerdo al siguiente formato:

| C. LADA | NUMERO ESPECIAL |
|---------|-----------------|
| A | 000 000X |
| A B | 00 000X |
| A B C | 0 000X |

Donde la C. LADA será la de la población en la cual se localiza el usuario celular origen, a fin de recibir los servicios especiales de la Zona correspondiente.

vi) DESTINO = Servicios de Operadora 02 y 09.

Este caso es aplicable cuando la Interconexión es a través de TANDEM o CALD o ambos:

TANDEM Todo el tráfico 02 y 09 se enruta al TANDEM.
El TANDEM deberá validar la llamada (categoría e identificación de serie).

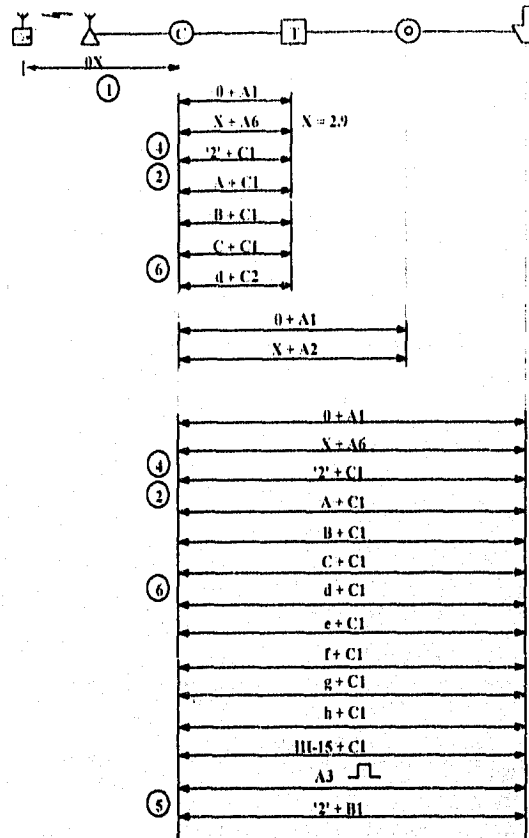


FIG. 3.38 Tráfico originado en la OTTC (POR TANDEM).

CALD
AMBOS

Todo el tráfico 02 y 09 se enruta al CALD.
La OTTC discriminará y enrutará el tráfico 02 y 09 al CALD.

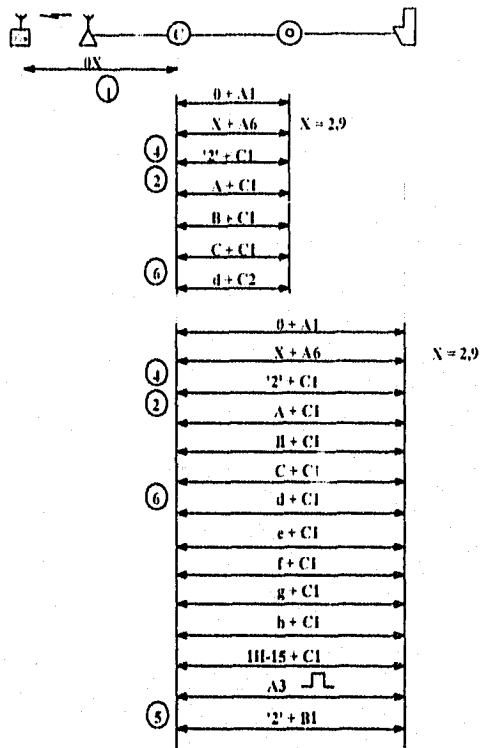
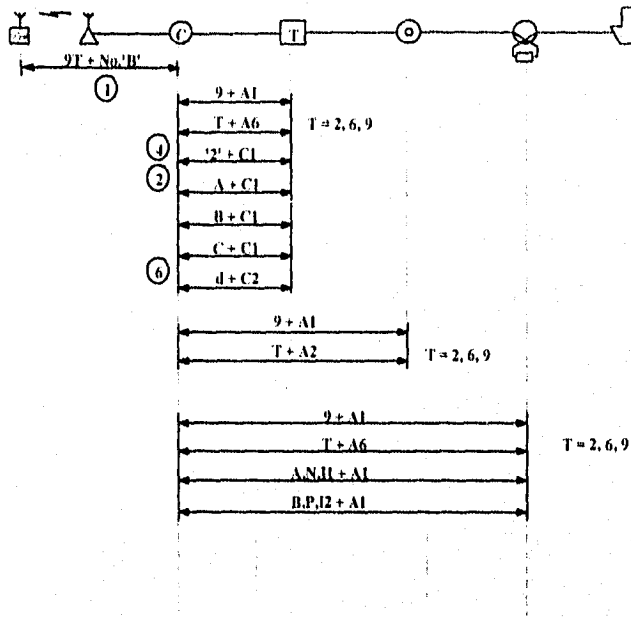


FIG. 3.39 Tráfico originado por la OTTC (POR CALD).

vii) DESTINO = Servicios de Operadora TSP (92, 96 y 99)

Este caso es aplicable cuando la interconexión es a través de TANDEM o CALD o ambos:

TANDEM Todo el tráfico Tsp (92, 96 y 99) se enruta al TANDEM.
 El TANDEM deberá validar la llamada (categoría e identificación de serie).



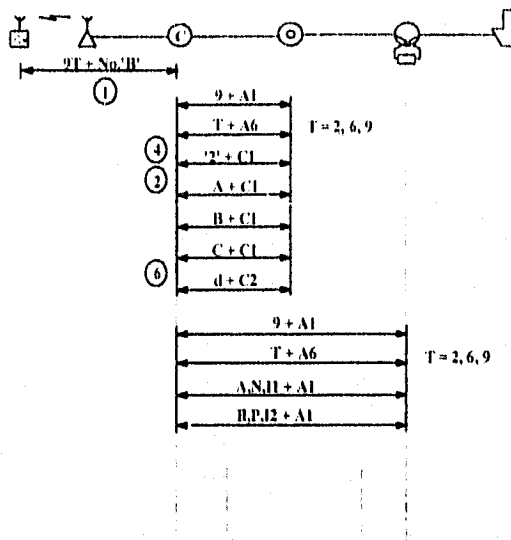
CONTINUA COMO EL CASO '91', '95' o '98' RESPECTIVAMENTE

| | | | |
|-----------|---|-----------------------|-------------|
| No. 'B' = | { | ABCde fgh | : PARA '92' |
| | | NPA Y Y X X X X | : PARA '96' |
| | | I1 I2 I3 N1 N2 ... Nn | : PARA '99' |

FIG. 3.40 Tráfico originado en la OTTC (POR TANDEM).

CALD
AMBOS

Todo el tráfico TSP (92, 96 y 99) se enruta al CALD.
La OTTC discriminará y enrutará el tráfico 92, 96 y 99 CALD.



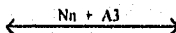
CONTINUA COMO EL CASO '91', '95' o '98' RESPECTIVAMENTE

| | | | |
|-----------|---|----------------------|-------------|
| No. 'B' = | { | A B C d e f g h | : PARA '92' |
| | | N P A Y Y V X X X X | : PARA '96' |
| | | H 12 13 N1 N2 ... Nn | : PARA '99' |

FIG. 3.41 Tráfico originado por la OTTC (POR CALD).

Notas relativas a los casos de tráfico originado en la OTTC

- 1) Marcación del usuario celular.
- 2) El número de dígitos enviados como identificación de 'A' (usuario celular) deberá ser de 8 dígitos.
- 3) No aplicable.
- 4) Categoría de tasación autorizada: "2" = usuario normal con tasación y acceso a todos los servicios excepto códigos de operadora.
- 5) Categoría de llamada (extradígito) autorizadas "2" = usuario normal sin posibilidad de ofrecimiento.
- 6) El arranque de señalización hacia adelante, deberá realizarse a partir de que la llamada ha sido validada (categoría e identificación de serie) por el TANDEM o CALD.
- 7) Si la longitud del número de país de destino es desconocida, el Centro Mundial aplica supervisión $t = 5$ seg. después del décimo dígito recibido.
Si la longitud es conocida, al recibir el último dígito N_n se cierra el ciclo con la señal A3.



(§ 8.5.2.2. P. F. Señalización.

Generales.

B*= Estado de la línea y puede tomar los siguientes valores:
B1= Usuario libre con tasación.
B2= Usuario ocupado.
B4= Bloqueo.

(§ 7.2.3 P. F. Señalización).

A3  Señal impulsada de 160 ±40 mseg.

(§ 7.4 P.F. Señalización).

Durante el proceso de señalización de registro y dependiendo del ciclo de señalización; el uso de las señales de mando A4 y B4 se aplicará de acuerdo a lo especificado en el § 7.2.4 del P. F. de Señalización.

3.9.3.2.3 Tráfico originado en la RTPC.

De acuerdo al tráfico y a las posibilidades de interconexión indicados en el punto 3.11 , se muestran a continuación los casos de tráfico que deberán considerarse:

i) Tráfico Local

El caso de señalización para el tráfico originado en la RTPC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.2 (a, b y c) deberá ser tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

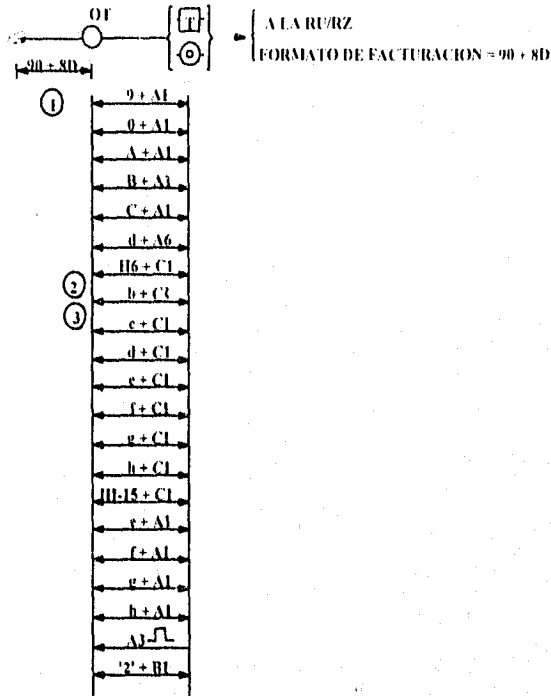


FIG. 3.42 Tráfico originado por la RTPC (GENERAL).

☒ Marcación del usuario fijo.

☒ y <

El número de dígitos enviados como identificación de 'A' (usuario fijo), depende del esquema de identificación de cada red en particular, siendo el mínimo establecido de 6 dígitos.

ii) Tráfico L.D.

El caso de señalización para el tráfico originado en la RTPC y que utiliza los escenarios de enrutamiento 3.11.3.2 (d, e y f) deberá tratarse como una llamada LD '91' normal, donde el tráfico siempre es enrutado al CALD correspondiente y transportado por la red LD.

3.9.3.3 Señalización por Canal Común

La OTTC que desee interconectarse mediante Señalización por Canal Común cuando ésta sea introducida a la red TELMEX, deberá estar preparada para operar con el sistema de Señalización por Canal Común CCITT # 7 (SCC7). Para el establecimiento de las llamadas se deberá cumplir con la especificación de la Parte de Usuario de servicios integrados (PUSI) y de la Parte de Transferencia de Mensajes (PTM) establecidas en el Plan Fundamental de la Red de Señalización SCC7 (Agosto, 1990) y en la especificación E.211. Para la función de "Visita", se deberá cumplir con la especificación de Parte de Usuario Móvil (PUM), la cual se encuentra en desarrollo.

3.10. Transmisión.

3.10.1 General.

Todos los enlaces que se establezcan entre las Redes de Telefonía Celular y la RTPC, deben ser de alta calidad de transmisión, para ello se deben considerar los parámetros de transmisión listados en los siguientes puntos.

3.10.2. Interconexión de las compañías celulares con TELMEX.

La interconexión de la Oficina Terminal Celular (OTTC) se realizará a través de un CALD digital o un Tandem digital, tal como se muestra en las Figuras 3.43 y 3.44.

① ENLACE PCM A 2.048 Mbit/s, DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS DE LA REC. G. 704 Y A LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS RECS. G. 704 Y G. 732 DEL CCITT.

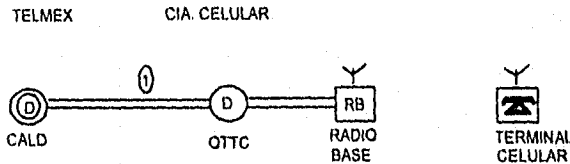


FIG. 3.43 Interconexión de la compañía celular a un CALD de TELMEX.

① ENLACE PCM A 2.048 Mbit/s, DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS DE LA REC. G. 703 Y A LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS RECS. G. 704 Y G. 732 DEL CCITT.

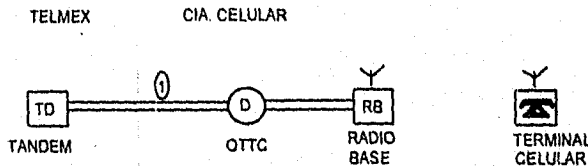


FIG. 3.44 Interconexión de la compañía celular a un TANDEM de TELMEX.

3.10.3 Equivalente de referencia

El Equivalente de Referencia que debe cumplir una conexión desde el teléfono hasta la terminal celular puede ir desde 7 dB hasta 23 dB máximo, incluyendo los equivalentes de referencia del teléfono y la terminal celular, tal como se muestra en la Figura 3.45 La conexión de la Figura 3.45 es el enlace que se tomó como referencia para obtener los ajustes requeridos por parte de la Compañía Celular.

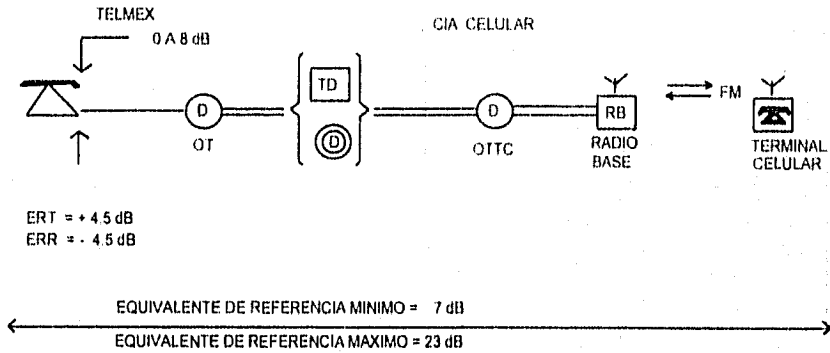


FIG. 3.45 Equivalente de referencia de una comunicación de teléfono fijo a terminal celular.

3.10.4 Ajustes requeridos por parte de la Compañía Celular.

El ajuste que se requiere en el sistema celular se muestra por separado para ambos sentidos de transmisión en las Figuras 3.46 y 3.47, tomando como modelo de referencia una conexión de la OTTC a un CALD y una OT digital. Este ajuste es el mismo tanto para el caso en que la OTTC esté conectada a un Tandem digital, como para cualquier caso de tráfico en TELMEX.

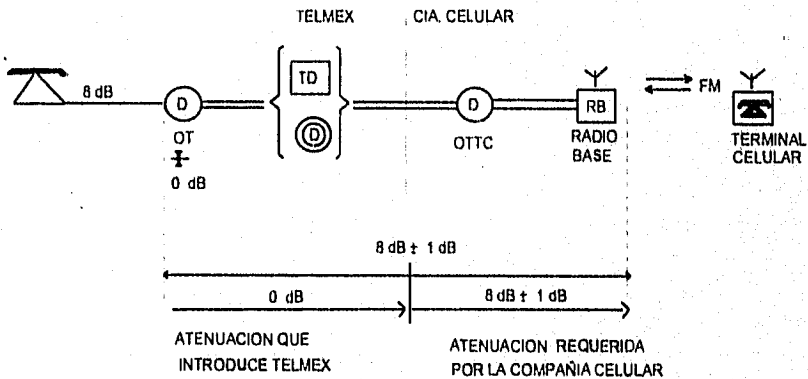


FIG. 3.46 Valores de atenuación requeridos en el sentido de transmisión TELMEX a compañía Celular.

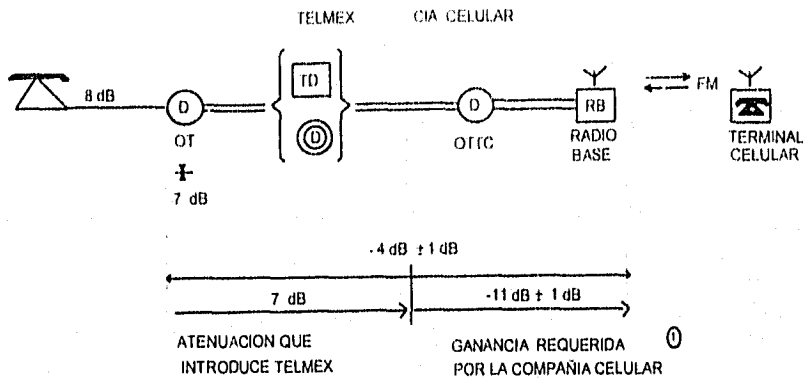


FIG. 3.47 Valores de atenuación requeridos en el sentido de transmisión compañía celular a TELMEX.

① EL SIGNO MENOS SIGNIFICA GANANCIA.

3.10.5 Niveles de operación.

En las Figuras 3.48 y 3.49, se muestran los niveles de operación de la interconexión entre TELMEX y la Compañía Celular, para dos niveles diferentes de presión sonora (97 dBspl y 115 dBspl).

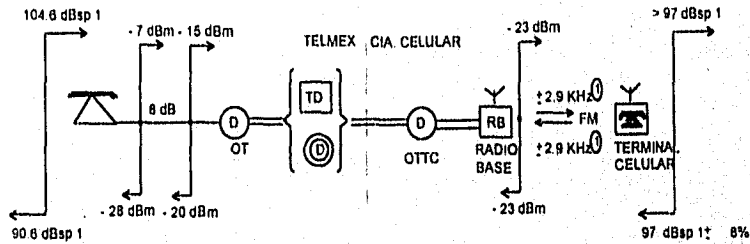


FIG. 3.48 Niveles de operación para una presión sonora de 97 dBspl en el teléfono celular.

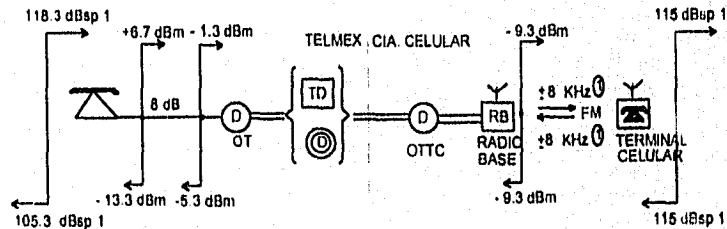


FIG. 3.49 Niveles de operación para una presión sonora de 115 dBspl en el teléfono celular.

① DESVIACION DE FRECUENCIA SIN TONO DE AUDIO DE SUPERVISIÓN (SAT)

Para la obtención de los valores mostrados en las Figuras 3.48 y 3.49 , se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

La relación entre los decibeles de presión y los decibeles eléctricos, para el caso de los teléfonos fijos, se obtuvo del libro Quality Measures and the Design of Telecommunications Systems.

La relación entre los decibeles de presión y la desviación de frecuencia, para el caso de la Figura 3.48 , se obtuvo de la especificación IS-19-A Recommended Minimum Standards for 800 MHz Cellular Subscriber Units, de la EIA.

La relación entre los decibeles de presión y la desviación de frecuencia, para el caso de la Figura 3.49 , se obtuvo del documento BT/SU 81422 Recommended Line Levels in the CMS 88, de Ericsson.

3.10.6 Estabilidad y eco.

Para cumplir con el requisito de estabilidad y eco en el enlace PCM, éste debe tener 18 dB o más de atenuación, tal y como se muestra en la Figura 3.50 .

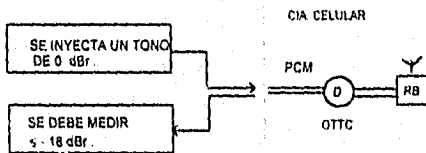


FIG. 3.50 Valores de niveles relativos que se deben medir en el enlace PCM de la OTTC y el CALD.

3.10.7 Ruido.

La potencia máxima de ruido debido a la línea de usuario celular será de 500 pWOp.

La relación telediafónica o paradiafónica (correspondiente sólo a la diafonía inteligible) medida en audiodisfrecuencia, no debe de ser inferior a 58 dB.

3.11. Conmutación.

3.11.1 General.

En el Plan Fundamental de Conmutación (Nov/1989) se consideran los aspectos de jerarquía, enrutamientos y congestión para los elementos de conmutación de la RTPC.

3.11.2 Jerarquía.

La central de Telefonía Celular se denomina Oficina Terminal de Telefonía Celular (OTTC) y tendrá una jerarquía de central local, la que se denomina Oficina Terminal, conforme al punto 4.7 del Plan Fundamental de Conmutación. La simbología es la que se muestra a continuación:

| SÍMBOLO | NOMENCLATURA |
|---------|--|
| ⓐ | OTTC (OFICINA TERMINAL DE TELEFONIA CELULAR) |

FIG. 3.51 Nomenclatura.

La interconexión entre la RTPC y el sistema de Telefonía Celular será a través de un Nodo de Interconexión (NIX).

El NIX deberá ser un nodo de conmutación digital perteneciente a la RTPC, el cual realizará:

- ⓐ. Funciones de validación, enrutamiento y tasación de tráfico originado por un usuario celular a través de su OTTC.
- ⓑ. Funciones de entrega de tráfico terminal para las llamadas destinadas a un usuario celular a través de su OTTC (estas funciones podrán ser desempeñadas por un PADIS).

La disponibilidad del NIX estará en función de la dinámica del tráfico entre redes, de las capacidades técnico-administrativas y de la evolución tecnológica de la RTPC, por lo cual este podrá ser:

- A) CALD (Requerido con Prioridad 1)
- B) TANDEM (Requerido con Prioridad 2)
- C) Ambos.

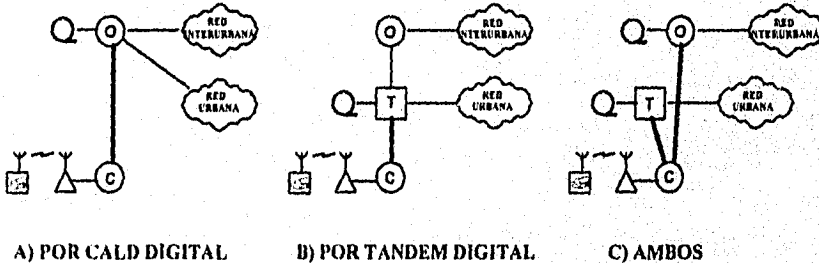


FIG. 3.52 Interconexión básica a la RTPC.

Dado que una OTTC podrá conformar una área de servicio cuya cobertura geográfica incluya varias OTA's y OTU's pertenecientes a diferentes Centros de Zona de la RTPC, y que se asignará numeración por cada Centro de Zona que tenga servicio celular (ver sección 3.8 Numeración); la OTTC se deberá interconectar a cada Centro de Zona en el que proporcione servicio celular, de forma tal que la OTTC se comporte como una OT de cada Centro de Zona.

La interconexión al TANDEM solamente deberá ser proporcionada al TANDEM o TANDEM's correspondientes a la misma localidad en la cual se localiza la OTTC.

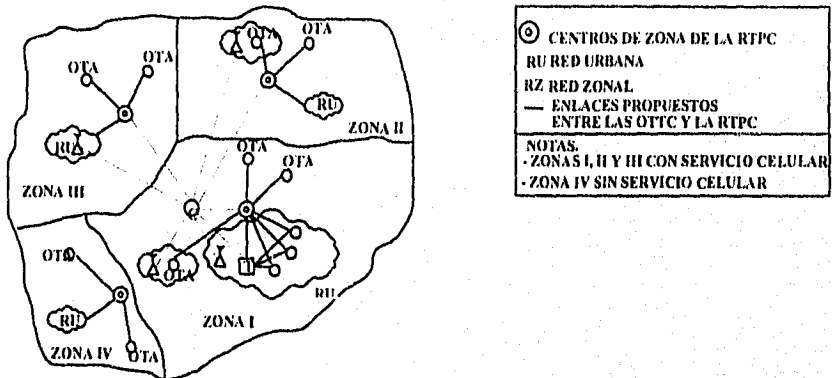


FIG. 3.53 Interconexión en una región de concesión, de una central celular con diferentes centros de zona de la RTPC (vía CALD's y/o TANDEM).

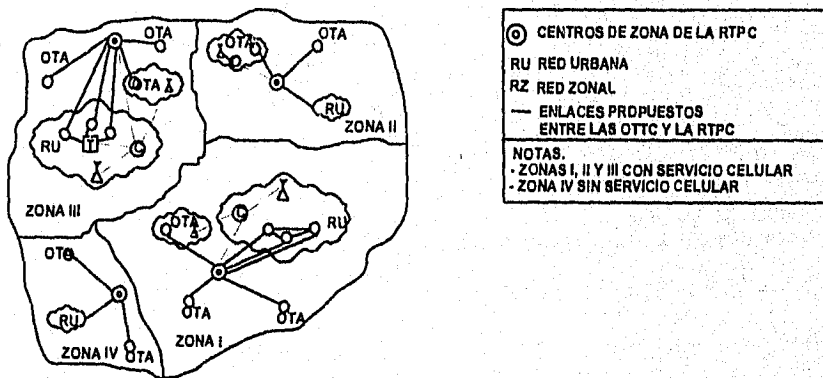


FIG. 3.54 Interconexión en una región de concesión, de varias centrales celulares con diferentes centros de zona de la RTPC (VIA CALD'S Y/O TANDEM).

3.11.3 Enrutamiento.

El enrutamiento del tráfico se hará mediante enlaces dedicados entre la RTPC y la OTTC a través del NIX o NIX's especificados (TANDEM, CALD o ambos). Los escenarios generales de enrutamiento para tráfico originado y terminado, de acuerdo a las Figuras 3.53 y 3.54, deberán ser como se muestra en los puntos 3.11.3.2, 3.11.3.3 y 3.11.3.4.

3.11.3.1 Tipos de enlaces.

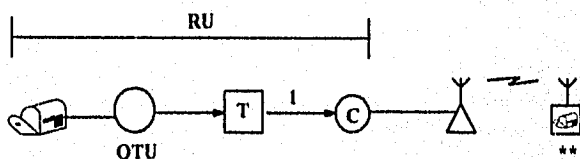
Los enlaces deberán ser digitales de acuerdo a lo establecido en la sección 3.10 transmisión ; y para las llamadas originadas en la OTTC hacia la RTPC o hacia otras redes vía la RTPC, deberá estar disponible la identificación del usuario celular.

Se consideran cuatro tipos de enlaces:

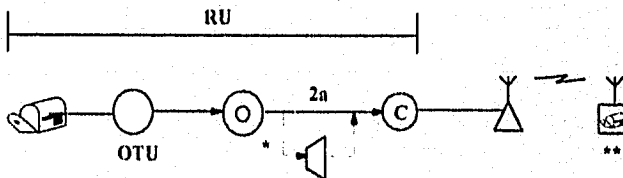
- ⊕ Tipo 1. Enlace entre la OTTC y TANDEM para manejar el tráfico local urbano en ambos sentidos (hacia/desde la RTPC).
- ⊕ Tipo 1a. Si en la R.U. donde se localiza la OTTC no se cuenta con un CALD digital; por el enlace Tipo 1a se deberá poder manejar el tráfico zonal, intraregional, interregional, internacional y mundial.
- ⊕ Tipo 2. Enlace entre la OTTC y el CALD para manejar el tráfico local zonal, zonal, intraregional, interregional, internacional y mundial. Para tráfico terminado en la OTTC, este enlace podrá ser entre OTTC y PADIS.
- ⊕ Tipo 2a. Si en la R.U. donde se localiza la OTTC no se cuenta con un TANDEM digital habilitado como NIX; por el enlace Tipo 2a se deberá poder manejar el tráfico local urbano correspondiente, en ambos sentidos (hacia/desde la RTPC).

3.11.3.2 Tráfico terminado en la OTTC.

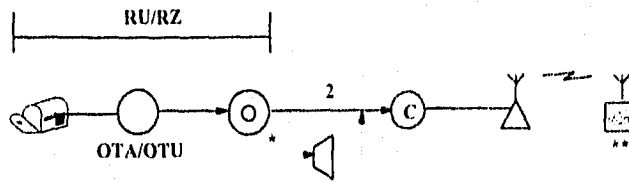
a) Local urbano vía TANDEM.- Cuando la OTTC se localiza en la misma localidad del usuario fijo.



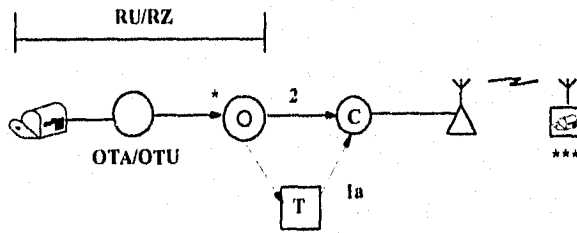
b) Local urbano vía CALD.- Cuando la OTTC se localiza en la misma localidad del usuario fijo.



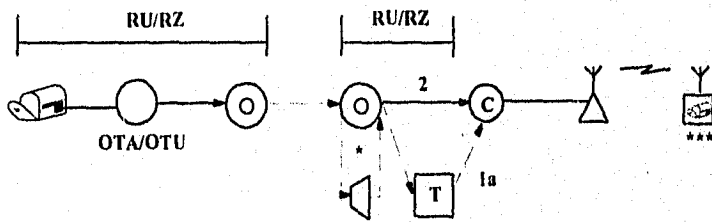
c) Local zonal (vía CALD).- Cuando la OTTC se localiza en diferente localidad a la del usuario fijo.



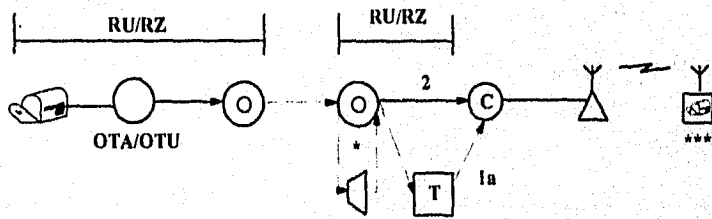
d) Zonal



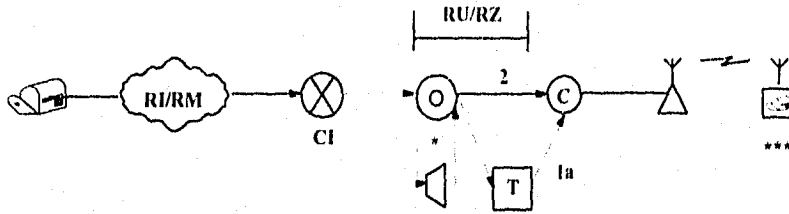
e) Intraregional



f) Interregional



g) Internacional / Mundial

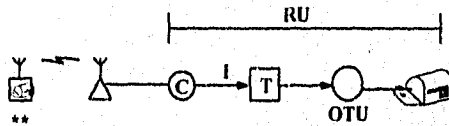


NOTAS:

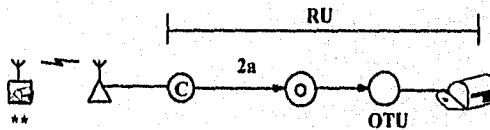
- CZ (o PADIS) correspondiente a la numeración del usuario celular.
- ** Usuario celular con numeración correspondiente a la red donde se encuentra el usuario fijo.
- *** Usuario celular con numeración diferente a la red donde se encuentra el usuario fijo.

3.11.3.3 Tráfico originado en la OTTC.

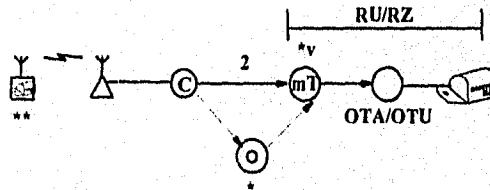
a) Local urbano vía TANDEM.- Cuando la OTTC se localiza en la misma localidad del usuario fijo.



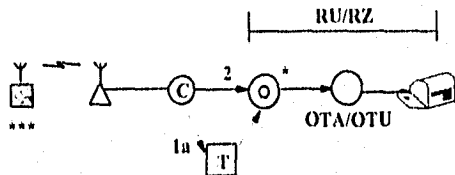
b) Local urbano vía CALD.- Cuando la OTTC se encuentra en la misma localidad del usuario fijo y no se cuenta con facilidades de TANDEM.



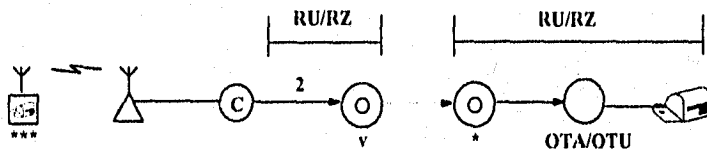
c) Local zonal.- Cuando la OTTC se encuentra en diferente localidad a la del usuario fijo.



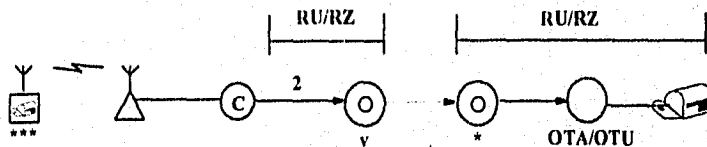
d) Zonal



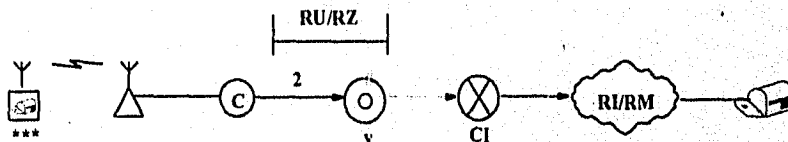
e) Intraregional



f) Interregional



g) Internacional / Mundial

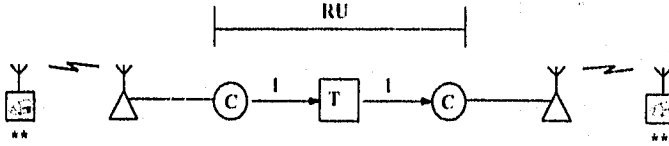


NOTAS:

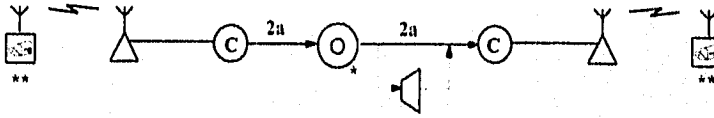
- * CZ (o PADIS) correspondiente a la numeración del usuario fijo.
- ** Usuario celular con numeración (propiá para los que pertenecen a la red y temporal para los visitantes) correspondiente a la red donde se encuentra el usuario fijo.
- *** Usuario celular con numeración (propiá para los que pertenecen a la red y temporal para los visitantes) diferente a la red donde se encuentra el usuario fijo.
- *v El NIX es una OT digital con funciones de minitandem (mT) y capacidad de facturación.
- v CZ correspondiente a la numeración de la localidad en donde se origina la llamada

3.11.3.4 Tráfico entre usuarios celulares pertenecientes a diferentes concesionarios.

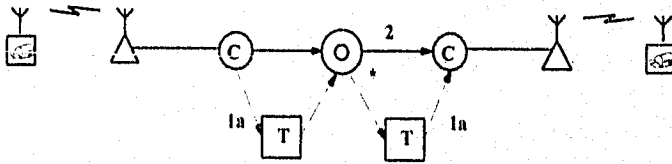
a) Local urbano via TANDEM.- Cuando ambas OTTC's se localizan en la misma localidad.



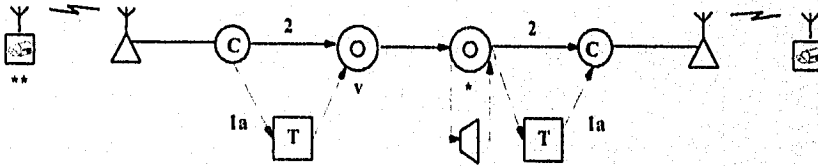
b) Local urbano via CALD.



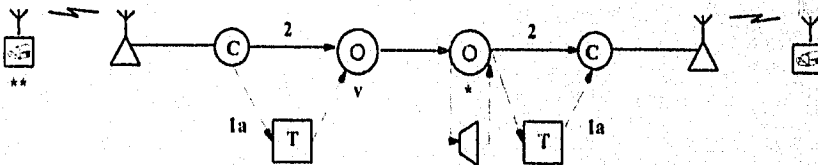
c) Zonal



d) Intraregional.



e) Interregional.



NOTAS:

- CZ (o PADIS) correspondiente a la numeración del usuario celular de destino.
- v CZ en donde se localiza la OTTC de origen.

3.11.3.5 Enrutamiento del tráfico para el servicio de visita (ROAMING).

La función de visita interregional implica una llamada de larga distancia, por lo que se utilizará la infraestructura de L.D. para tramitar estas llamadas.

La función de visita intraregional para diferentes concesionarios utilizará la infraestructura de LD o local, dependiendo de la configuración de interconexión de cada concesionario.

Tanto en la función de visita interregional como intraregional (diferente o mismo concesionario), el usuario con servicio de visita tendrá asignado (durante el tiempo que se le proporcione el servicio) un número temporal correspondiente a la localidad en donde se le presta el servicio de visita.

Para todas las llamadas que origine el usuario celular, mientras tenga el servicio de visita, el número temporal se tomará como base para la identificación de abonado que llama (Id. A) y que ha de señalizarse hacia el NIX de la RTPC.

Para llamadas destinadas a un usuario celular, la función de visita soportada con señalización R2 requiere del establecimiento de dos llamadas en serie (Fig. 4.5).

- ⊗ La primera llamada será hacia la OTTC de destino (OTTC base) de acuerdo al número celular base.
- ⊗ La segunda llamada será desde la OTTC base, hacia la OTTC visitada.

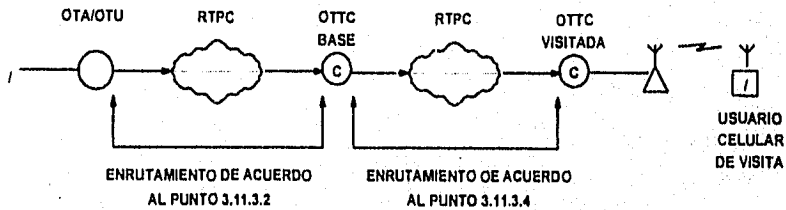


FIG. 3.55 Función de visita, soportada con señalización R2

Cada llamada deberá ser tratada como una llamada individual en los aspectos de señalización, enrutamiento, transmisión y tasación.

La Función de visita soportada con señalización por Canal Común SCC7 en la RTPC/RTC, requiere de ulterior estudio.

3.11.4 Congestión.

Los enlaces entre la RTPC y la OTTC serán del tipo vía final y el proceso de dimensionamiento (congestión) se establecerá conforme los requerimientos del concesionario de Telefonía Celular, de TELMEX y la disponibilidad de equipo telefónico en la localidad específica en donde se vaya a instalar o ampliar el Sistema de Telefonía Celular concesionado, aplicando los criterios de dimensionamiento (de acuerdo al Plan Fundamental de Conmutación) e Ingeniería utilizados por TELMEX.

3.12. Sincronización.

3.12.1 General.

El objetivo de sincronizar la RTC es el de mantener una alta calidad en el transporte de información en enlaces digitales OTTC - RTPC.

3.12.2 Sincronización de redes de telefonía celular.

Al incorporar la Red de Telefonía Celular a la red de sincronización de la RTPC, conforme a lo establecido en el Plan Fundamental de Sincronización, se debe tomar a la OTTC como una OT de tipo digital y deberá tener un enlace digital con la RTPC o con otra OTTC digital.

3.12.2.1 Método de sincronización. (ver Plan Fundamental de Sincronización, punto 3.13).

La OTTC obtendrá la sincronía del TANDEM o CALD al que esté conectado, utilizando el método maestro - esclavo jerárquico.

La OTTC quedará en el nivel jerárquico NE (ver Figura 3.56), requiriendo un reloj de tipo III, cuyas características son:

- Exactitud = $1 \cdot 10^{-6}$
- Estabilidad = $1 \cdot 10^{-6}$ /día

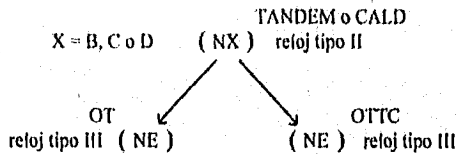


FIG.3.56 1 Tipo de reloj y jerarquía de la OTTC.

Para entender los conceptos de exactitud y estabilidad a continuación presentamos su definición.

Exactitud.

La exactitud es la magnitud máxima de la desviación fraccional de frecuencia desde un valor nominal especificado.

Donde la diferencia entre la frecuencia actual de una señal y una frecuencia nominal especificada, dividida por la frecuencia nominal:

Matemáticamente, la desviación fraccional de frecuencia de una fuente de frecuencia f_0 , desde su valor deseado (nominal), f_D es:

$$\Delta f/f = (f_0 - f_D) / f_D = f_0 / f_D - 1$$

Estabilidad.

Es el grado con que un reloj produce una misma frecuencia durante un periodo de tiempo una vez establecida la operación continua. Variación sistemática de la frecuencia con respecto al tiempo.

Deslizamientos (ver Plan Fundamental de Sincronización de TELMEX , punto 4.4).

La tasa media global de deslizamientos para una conexión efectuada a través del número máximo de centrales establecidas por el Plan Fundamental de Conmutación, no deberá ser mayor a cinco deslizamientos en 24 horas, de extremo a extremo, considerando que uno de los extremos sea una OTTC.

Considerando los deslizamientos como la repetición o supresión de un bloque de bits en una cadena de bits asincronos o plesióncronos debido a discrepancias en las tasas de lectura y escritura en las memorias elasticas de los equipos.

CAPITULO IV

ELEMENTOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIO MOVIL CELULAR

4.1 Descripción del problema

Basado en el concepto de una utilización eficiente del espectro radioeléctrico, el diseño de un sistema de radio móvil celular puede ser dividido en varios elementos y cada elemento puede ser analizado y relacionado con los otros, los elementos principales son:

1. Concepto de reuso de frecuencia
2. Factor de reducción de interferencia co-canal
3. Relación de interferencia
4. Mecanismo de entrega
5. División celular

Considerando que la frecuencia es la limitación en los sistemas y el reto es atender al mayor número de usuarios con la calidad del sistema especificada, nos debemos preguntar lo siguiente:

1. Cuantos suscriptores pueden ser atendidos en la hora pico
2. Cuantos suscriptores podemos tener en nuestro sistema
3. Cuantos canales de frecuencia necesitamos

4.1.1 Número máximo de llamadas en hora pico.

Para calcular el número de llamadas en hora pico por célula Q_i , tenemos que conocer el tamaño de la célula y las condiciones de tráfico, las llamadas por hora por célula están basadas en cuan pequeño el tamaño de la célula puede ser ya que el control de la cobertura de las células pequeñas esta basado en el desarrollo tecnológico.

Si asumimos que la célula puede ser reducida a un radio de 2 Km., área que en algunos casos podrá cubrir varias autopistas y en otras solo unas cuantas, entonces si consideramos que un área de tráfico activo de 12 Kms. cubre 7 células de 2 Km. y la célula de mayor tráfico puede cubrir 4 autopistas y 10 calles de alto tráfico donde 2 autopistas de 8 carriles cubren una longitud total de 64 Km. y 2 autopistas de seis carriles cubren una longitud de 48 Km mientras que 43 caminos de 4 carriles, incluyendo los 10 caminos de mayor circulación cubriendo 588 Km., esto lo observamos en la figura. 4.1, donde asumimos que el espaciamiento promedio entre carros es de 10 m, en horas pico, por lo que podemos determinar que el número total de carros es aproximadamente. 70 000, si la mitad de ellos tienen teléfono y 8 de cada 10 realizan alguna llamada durante la hora pico ($N_c = 0.8$), generando 28 000 llamadas por hora basados en un promedio de una llamada por vehículo.

El número máximo de llamadas por hora Q_i previsto en una célula de 2 Km. es derivado del escenario anterior aunque puede no ser real, de cualquier manera demuestra como puede ser calculado Q_i en diferentes escenarios y así mismo que se puede aplicar este método para encontrar Q_i en diferentes áreas geográficas.

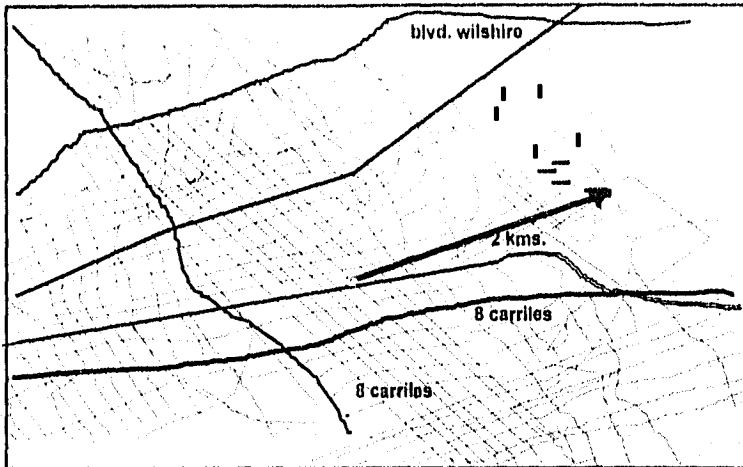


Fig 4.1 Area de atención de una célula

4.1.2 Número máximo de canales de frecuencia por célula

El número máximo de canales de frecuencia por célula N está relacionado al porcentaje de tiempo ocupado en el sistema, el cual puede variar si los hábitos de llamada de los usuarios cambian como resultado de modificaciones de la tarifa de cobro del sistema y del perfil general de ingresos de los usuarios.

Si el porcentaje de duración de la llamada T es de 1.76 minutos y conocemos el número máximo de llamadas por hora Q_i , entonces la carga ofrecida puede ser obtenida de la ecuación:

$$A = \frac{Q_i T}{60} \text{ Erlangs} \quad 4.11$$

Si asumimos que la probabilidad de bloqueo (B) está dada en el apéndice 1.1, entonces podemos fácilmente encontrar el número de radios requeridos en cada célula.

Ejemplo: 1.- Si el número máximo de llamadas por hora es $Q_i = 3000$, el porcentaje de tiempo de llamada es $T = 1.76$ minutos y la probabilidad de bloqueo es $B = 2\%$, entonces podemos usar la fórmula 4.11 para encontrar la carga ofrecida:

$$A = \frac{Q_i T}{60} \quad \therefore \quad A = \frac{3000 \times 1.76}{60} = 88 \text{ Erlangs}$$

El número máximo de canales para $B = 2\%$, se encuentra en el apéndice 1.1 como $N = 100$ Canales

Ejemplo 2.- si $Q_i = 28,000$ llamadas por célula por hora, $B = 2\%$ y $T = 1.76$ minutos.

$$A = \frac{28,000 \cdot 1.76}{60} = 821 \text{ Erlangs}$$

de el apéndice 1.1

$$N = 810 \text{ Canales}$$

Ejemplo 3.- Si hay 50 canales en una célula para manejar todas las llamadas y el porcentaje es 100 seg. por llamada, ¿Cuántas llamadas pueden ser manejadas en ésta célula con un posibilidad de bloqueo de 2%?

Si $N = 50$ $B = 2\%$ la carga ofrecida puede ser encontrada en el apéndice 1.1 como:

$$A = 40.3$$

entonces, el número de llamadas por hora en una célula es:

$$Q_i = \frac{A \cdot 60}{T} \qquad Q_i = \frac{40.3 \cdot 3600}{100 \text{ seg.}} = 1451 \text{ llamadas por hora}$$

Ejemplo 4.- Si el número máximo de llamadas por hora por célula es 1451 con un patrón de reuso de frecuencias igual a 7 células ($K = 7$), asumiendo que $B = 2\%$ y $T = 100$ entonces :

$$A = \frac{Q_i \cdot T}{3600} = \frac{1451 \cdot (100)}{3600} = \frac{14510}{3600}$$

$$A = 40.3 \text{ Erlangs} \quad \text{del apéndice 1.1} \quad N = 50$$

Entonces el número total de canales requeridos en un sistema con reuso de frecuencia $K = 7$ es:

$$N_t = 50 \cdot 7 = 350 \text{ canales de radio.}$$

Si un gran área es cubierta por 28 células ($K_f = 28$); El número total de usuarios $M_t = \sum_{i=1}^{K_f} M_i$ en el sistema incrementa, de tal forma, que podemos asumir que el número de subscriptores por célula M_i está de alguna manera relacionado al porcentaje de Teléfonos de vehículos ocupados en las horas pico (η_c) y al número de llamadas por hora por célula como :

$$M_i = f(Q_i, \eta_c) \qquad (4.1.2)$$

Donde el valor de Q_i es una función de la probabilidad de bloqueo B , el tiempo promedio de llamadas T y el número de canales N :

$$Q_i = f(B, T, N) \qquad (4.1.3)$$

Si el patrón de reuso de frecuencia $K = 7$ es utilizado, el número total de canales requerido en el sistema es $N_t = 7 \cdot N$, donde debemos notar que el número máximo de llamadas por célula Q_i es el que determina el total de canales requeridos N_t y no el no total de subscriptores M_i en este caso ($K_f = 30$ y $K = 7$), el número total de canales N_t ha sido utilizado 4 veces en el sistema.

4.2 Concepto de reuso de canales de frecuencia:

Un canal de radio consiste de un par de frecuencias, uno en cada dirección de transmisión, esto es usado para una operación full dúplex. Un canal de radio particular llamado F_1 usado en una zona geográfica para llamar a una célula, C_1 , con un radio de cobertura R puede ser usado en otra célula con el mismo radio de cobertura que se encuentre a una distancia D .

El concepto reuso de frecuencia es esencial para el sistema de radio móvil celular, en este los usuarios de diferentes zonas geográficas (células diferentes) pueden simultáneamente usar el mismo canal de frecuencia (figura. 4.2). El sistema de reuso de frecuencia puede incrementar drásticamente la eficiencia del espectro, pero si el sistema no es diseñado adecuadamente pueden ocurrir serias interferencias, tal como la causada por el uso común de un mismo canal que es llamada interferencia co - canal y este es nuestro mayor interés en el concepto de reuso de frecuencia

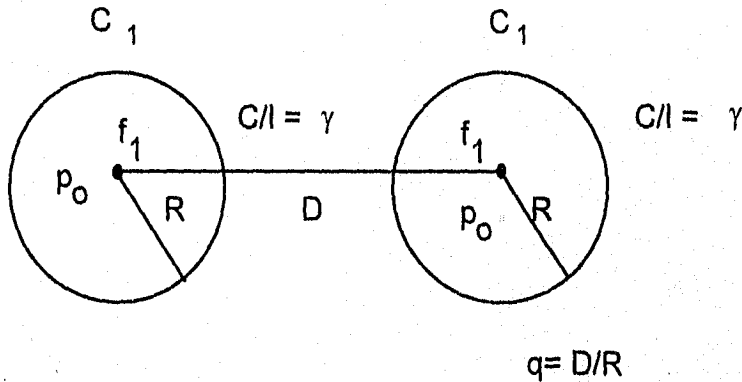


Fig 4.2 Concepto de reuso de frecuencia

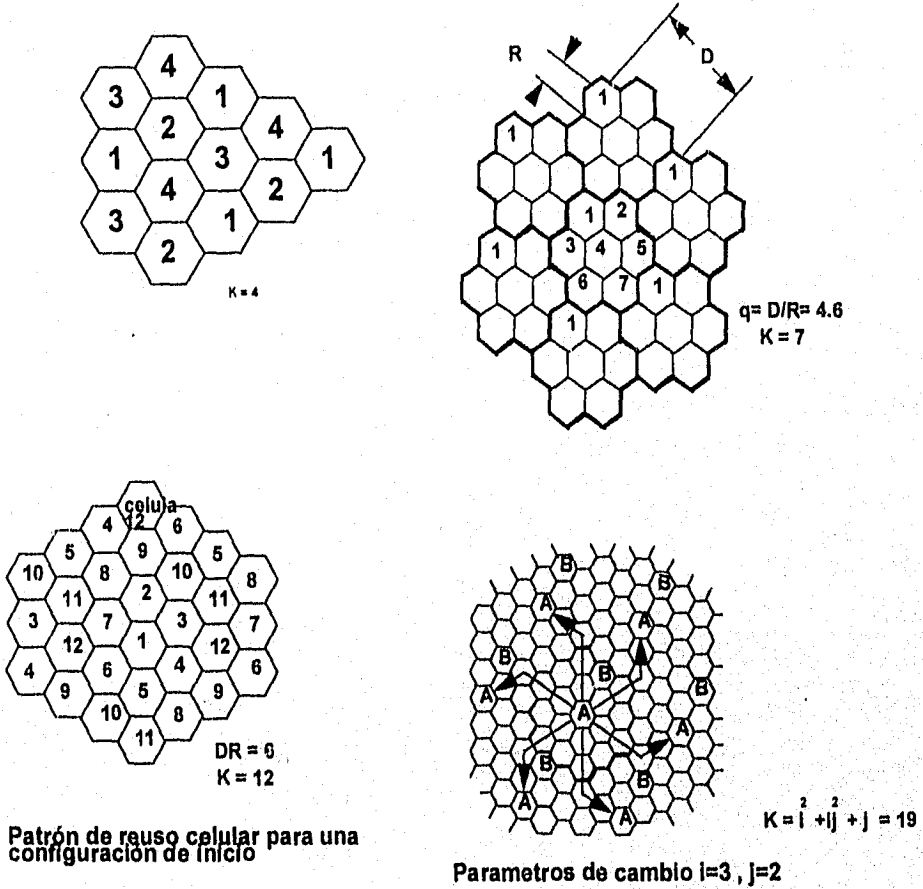
4.2.1 Esquema de reuso de frecuencia.

El concepto de reuso de frecuencia puede ser usado en el dominio del tiempo y en el dominio del espacio. En el dominio del tiempo resulta en la ocupación de la misma frecuencia en diferentes lapsos de tiempo. Esto es llamado multiplexación por división del tiempo (TDM). El reuso de frecuencia en el dominio del espacio puede ser dividido en dos categorías.

- 1.- La misma frecuencia asignada en diferentes áreas geográficas, tales como las estaciones de radio de AM ó FM utilizan la misma frecuencia en diferentes ciudades.
- 2.- La misma frecuencia utilizada repetidamente en una misma área general en un sistema, el esquema es utilizado en sistemas celulares, existen muchas células co - canal en el sistema. La colocación total de frecuencia de espectro es dividida en K patrones de reuso de frecuencia, como se ilustra en la figura. 4.3 para $K = 4, 7, 12$ y 19 .

4.2.2 Distancia de reuso de frecuencia.

La distancia mínima a la cual se permite que la misma frecuencia sea usada dependerá de varios factores, tales como el número de células co - canal cercanas a la célula central , el tipo de contorno del terreno geográfico, la altura de la antena y la potencia transmitida en cada local celular.



Patrón de reuso celular para una configuración de inicio

Parametros de cambio i=3, j=2

Fig.4.3 Reuso celular

La distancia de reuso de frecuencia D puede ser determinada de:

$$D = \sqrt{3K} R \quad 4.2.1$$

donde K es el patrón de reuso de frecuencia mostrado en la fig. 4.2, entonces:

$$D = \begin{cases} 3.46 R & K = 4 \\ 4.6 R & K = 7 \\ 6 R & K = 12 \\ 7.55 R & K = 19 \end{cases}$$

Si todos los locales celulares transmiten la misma potencia, entonces K incrementa y la distancia de reuso de frecuencia D también incrementa, esta D incrementada reduce la oportunidad de que pueda ocurrir una interferencia co - canal .

Teóricamente, se desea un K grande , de tal forma que el número total de canales asignados es fijo , cuando K es muy grande el número de canales asignado a cada uno de los K células se vuelve pequeña. Esto es verdad siempre que el número total de canales en K células es dividida en la misma forma como K incrementa, da como resultado mala eficiencia de dimensionamiento de troncales. El mismo principio se aplica a la eficiencia del espectro; si el número total de canales es dividido en dos sistemas de red que atiendan la misma área, la mala eficiencia del espectro incrementa .

Ahora el reto es obtener el número K más pequeño con el cual se pueda continuar con nuestros requerimientos de operación del sistema. Esto envuelve estimar una interferencia co - canal y la selección de una distancia de reuso de frecuencia mínima D para reducir la interferencia co - canal. El valor más pequeño de K es K = 3, obtenido al colocar i = 1, j = 1 en la siguiente ecuación :

$$k = i^2 + ij + j^2 \quad (\text{fig 4.3})$$

4.2.3 Número de usuarios en el sistema.

Las condiciones de tráfico en el área durante una hora pico son algunos de los parámetros que ayudarán a determinar el tamaño de diferentes células y el número de canales en ellas cuando diseñamos un sistema .

El número máximo de llamadas por hora por célula es tomado por las condiciones de tráfico para cada célula en particular. Después de que el número máximo de canales de frecuencia por célula ha sido establecido en cada célula, puede entonces tomarse en consideración el número máximo de llamadas por hora para cada célula, ahora tomemos el número máximo de llamadas por hora en cada célula Q_i y sumemoslo sobre todas las células. Si asumimos que el 60% de los teléfonos de carro serán usados durante la hora pico , con un promedio de una llamada por teléfono ($\eta_c = 0.6$) si ese teléfono es usado, el tráfico total de subscriptor permitido M_t puede ser obtenido.

Ejemplos: 2.5 Durante una hora pico, el número de llamadas por hora Q_i por cada 10 células es 2000, 1500, 3000, 500, 1000, 1200, 1800, 2500, 2800, 900, si asumimos que el 60% de los teléfonos de vehiculo serán usados durante ese periodo ($\eta_c = 0.6$) y que cada uno realizara una llamada , sumando todos los Q_i obtenemos el total Q_t .

$$Q_t = \sum_{i=1}^{10} Q_i = 17,200 \text{ llamadas por hora.}$$

Considerando que $\eta_c = 0.6$, entonces el número de usuarios en el sistema es:

$$M_t = \frac{17,200}{0.6} = 28,667$$

4.3 Reducción del factor de interferencia co - canal.

Utilizar un canal de frecuencia idéntico en diferentes células está limitado por la interferencia co - canal entre células y esta puede convertirse en un problema mayor. Aquí buscaremos encontrar la distancia de reuso de frecuencia mínima de manera que se reduzca esta interferencia. Si asumimos que el tamaño de todas las células es aproximadamente el mismo, y que esta determinado por el área de cobertura de la potencia de la señal en cada célula, En la medida como el tamaño de la célula es fijada la interferencia co - canal se vuelve independiente del la potencia transmitida en cada célula, esto significa que el nivel de umbral recibido en la unidad móvil es ajustado al tamaño de la célula, de tal manera que actualmente la interferencia co - canal es una función del parámetro q definida como:

$$q = \frac{D}{R} \quad 4.3.1$$

El parámetro q es el factor de reducción de interferencia co - canal, cuando el radio q se incrementa, la interferencia co - canal decrece, además de eso la separación D en la ecuación 4.3.1 es función de K_1 y C/I .

$$D = f(K_1, C/I) \quad 4.3.2$$

Donde K_1 es el número de células con interferencia co - canal en la primer hilera y C/I es la relación de la interferencia del portador recibido en el receptor móvil deseado.

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{K_1} I_k} \quad 4.3.3$$

En un sistema celular totalmente equipado de forma hexagonal, siempre hay seis células co - canal que interfieren en la primer hilera como se muestra en la figura 4.4; esto es que con un $K_1 = 6$ el número máximo de K_1 en la primer hilera puede ser mostrado como seis (Por ejem. $2\pi D / D \approx 6$). La interferencia co - canal puede ser experimentada en ambas unidades en el local celular y en las unidades móviles en la célula central. Si la interferencia es mucho mayor, entonces la relación de interferencia de portadora C/I en las unidades móviles causada por los seis sitios interfiriendo simultáneamente (en promedio) es el mismo que el C/I recibido en el local celular central causado por las unidades móviles interfiriendo en las seis células, de acuerdo al teorema de reciprocidad y la suma estadística de la propagación de radio, los dos valores C/I pueden ser muy cercanos. Si asumimos que el ruido local es mucho menor al nivel de interferencia y puede ser despreciado entonces C/I puede ser expresado como:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_1} D_k^{-\gamma}} \quad 4.3.4$$

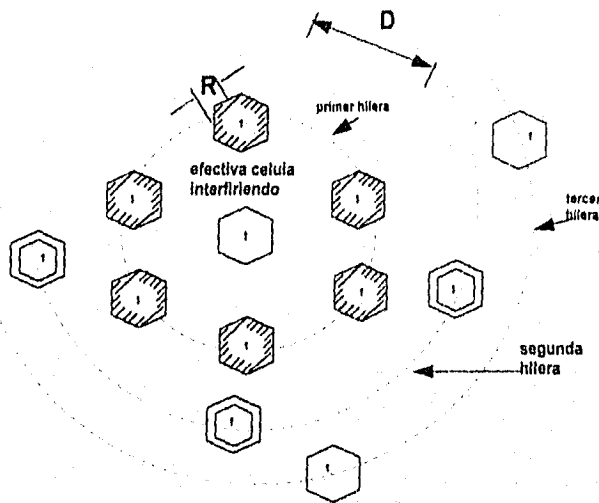


fig. 4.4 Interferencia efectiva de 6 células 1.

Donde γ es un patrón de pérdida de propagación determinado por el actual medio ambiente terreno. En un medio de radio móvil y usualmente es asumido que sea 4. K_i es el número de célula co - canal interfiriendo y es igual a 6 en un sistema totalmente desarrollado como muestra la fig. 4.4, las seis células co - canal interfiriendo en la segunda hilera causa debilitamiento de interferencia en aquellos en la primer hilera (ver ejemplo 4.6 al fin de la sección 4.4.1).

De tal forma, la interferencia co - canal de la segunda hilera de células que están interfiriendo es despreciable, sustituyendo la ecuación 4.3.1 en la ecuación 4.3.4:

$$Q = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_i} \left(\frac{D_k}{R} \right)^\gamma} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_i} (q_k)^\gamma} \quad 4.3.5$$

Donde q_k es el factor de reducción de interferencia co - canal en la célula de interferencia co - canal k^{th} .

$$q_k = \frac{D_k}{R} \quad 4.3.6$$

4.4 Relación de portadora a interferencia (C/I) deseada en el caso normal de un sistema de antena omnidireccional

4.4.1 Solución analítica

Hay dos casos que deben de ser considerados:

- 1) La señal y la interferencia co - canal recibidas por la unidad móvil
- 2) La señal y la interferencia co - canal recibidas por el local celular

Ambos casos se muestran en la figura 4.5 N_m y N_b son los ruidos locales de la unidad móvil y del local celular respectivamente, usualmente N_m y N_b son pequeños y pueden ser despreciados comparados con el nivel de Interferencia.

Lo que duren las relaciones de portadora a interferencia recibidas en unidad móvil y en el local celular siendo los mismos, el sistema sera llamado *sistema balanceado*.

En un sistema balanceado podemos escoger entre uno de los dos casos para analizar los requerimientos del sistema, los resultados de un caso son los mismos para los otros.

Si asumimos que todas las D_k son las mismas por simplicidad como se muestra en la figura 4.4, entonces $D = D_k$ y $q = q_k$ y

$$\frac{C}{I} = \frac{R}{6D^2} = \frac{q^2}{6} \quad 4.4.1$$

entonces

$$q^2 = 6 \frac{C}{I} \quad 4.4.2$$

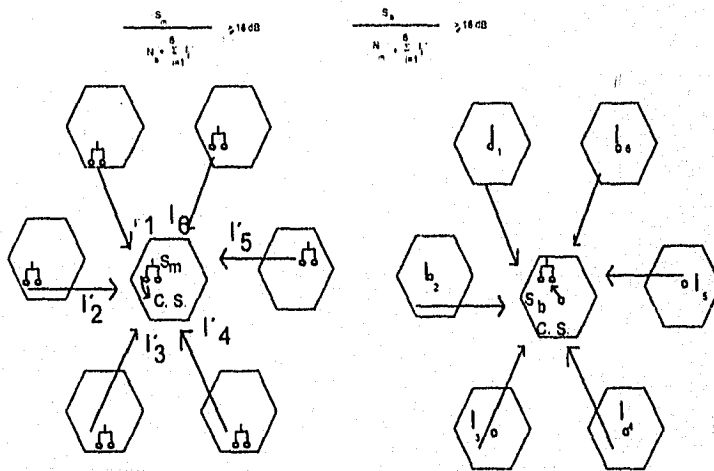


FIGURA 4.5 INTERFERENCIA CO - CANAL DESDE 6 PUNTOS

A) RECIBIENDO EN EL LOCAL CELULAR

B) RECIBIENDO EN LA UNIDAD MOVIL

y

$$q = \left(6 \frac{C}{I} \right)^{1/4} \quad 4.4.3$$

En la ecuación 4.4.3 el valor de C/I esta basado en la ejecución requerida del sistema, el valor específico de γ esta basado en el medio ambiente terreno, con los valores dados de C/I y de γ el factor de reducción de interferencia co - canal q puede ser determinado.

La experiencia celular normal especifica que el valor de C/I es 18 dB o mayor basado en pruebas subjetivas, con un C/I de 18 dB medido al aceptar la calidad de voz de los receptores móviles celulares actuales, esta aceptación implica que la interferencia co - canal y la atenuación multitrayectoria del radio móvil se vuelven poco efectivas a ese nivel, la pendiente de la trayectoria de perdida γ es igual a 4 en un medio ambiente de radio móvil.

$$q = D/R = (6 \times 63.1)^{1/4} = 4.41 \quad (4.4-4)$$

El 90 % del total del área cubierta sera alcanzada al incrementar la potencia transmitida a cada célula, si se incrementa la misma cantidad esto no afecta el resultado de la ecuación (2.4-4) debido a que q no es una función de la potencia transmitida, mediante simulación de computadora se puede encontrar que $q=4.6$ lo cual es muy cercano a la ecuación (2.4-4) el factor q puede se relacionado al grupo finito de K células en un sistema celular de forma hexagonal por

$$q = \sqrt[3]{K} \quad 4.4-5$$

Sustituyendo q de la ecuación 4.4-4 en la ecuación 4.4-5 tenemos

$$K=7 \quad (4.4-6)$$

La ecuación (4.4.6) indica que se requiere un patrón de reuso de 7 células para un C/I de 18 dB, como se muestra en la fig. 4.3 basandonos en $q = D/R$, la determinación de D puede ser alcanzada al escoger un radio R en la ecuación (4.4.4). Usualmente, es deseable un valor de q mayor que el que se muestra en la ecuación 4.4.4, ya que a un valor mayor de q se tiene una menor interferencia co - canal.

En el medio ambiente real la ecuación 4.3.5 es siempre verdadera, pero la ecuación 4.4.1 no lo es y como la ecuación 4.4.4 es derivada de la 4.4.1 el valor de q puede no ser suficientemente grande para mantener una relación portadora a interferencia C/I de 18 dB.

Ejemplo 4.6

Comparando la interferencia de la primera hilera (6) con la segunda (12)

Primera hilera

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{i=1}^6 I_i} = \frac{R}{6D_i} = \frac{r_i^4}{6} \quad (E4.6-1)$$

Primer y segunda hilera

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{i=1}^N (L_i + L_i) + 6(d_1^2 + d_2^2)} \quad (E4.6-2)$$

Debido a que el valor encontrado de $d_1 = 4.6$ entonces para la segunda hilera $d_2 = D_2/R_1 = 2 D_1/R_1 = 2 d_1 = 9.2$ entonces sustituyendo d_1 y d_2 encontramos que:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = 18.72 \text{ dB primer hilera} \quad \left(\frac{C}{I}\right) = 18.46 \text{ dB segunda hilera}$$

Notamos que una cantidad despreciable de interferencia es contribuida por los 6 canales que interfieren de la segunda hilera.

4.4.2 Solución obtenida de simulación.

El factor de reducción co-canal requerido q puede ser obtenido también por simulación, por ejemplo si dejamos un local celular principal y seis co-canal posibles que lo interfieran sean desplegados en un patrón como lo muestra la fig. 4.4. La distancia D desde la célula central hacia los interferentes co-canal en la simulación es una variable $D = 2R$ la cual puede ser usada inicialmente e irse incrementado cada $0.5R$, entonces como $D = 2R, 2.5R, 3R$ tendremos que para cada valor particular de D se genera un grupo de datos de simulación.

Primero, la localización de cada unidad móvil en su propia célula es generada aleatoriamente por un generador aleatorio, entonces la distancia D_k desde cada una de las seis unidades móviles que están interfiriendo al local celular central es obtenida (asumiendo que $K_1 = 6$). La señal móvil deseada tanto como los seis niveles de interferencia recibidos en el local central serían aleatoriamente generados siguiendo la regla del patrón de pérdida de radio programación móvil, la cual es 40 dB/dec, a lo largo de una desviación estándar logarítmica - normal de 8 dB como valor principal, sumando todos los datos de las seis interferencias simuladas, tenemos:

$$K_1 = 6 \\ I = \sum_{k=1}^6 I_k \\ K_1 = 1$$

y dividiendo este valor por el de portadora principal simulada, el valor de C se convierte en C/I . Este C/I es obtenida a un valor particular de D que es la distancia entre el local celular central y los seis sitios celulares co-canal (con Interferencia co-canal).

Para encontrar un valor apropiado para D , cada localización de unidad móvil se asocia con su C/I recibida, algunos valores de C/I son altos y algunos bajos, esto significa que los 100 valores más bajos de C/I deberán ser descartados, el valor C/I principal deberá ser derivado de los 900 valores C/I remanentes, esto asocia una C/I particular a una separación particular D . Repleniendo este proceso para diferentes valores de D los valores principales de C/I correspondientes son encontrados. La curva C/I vs. D puede ser gráfícada con $C/I = 18$ dB correspondiendo a $D = 4.6R$, entonces:

$$q = \frac{D}{R} = 4.6 \quad 4.4.7$$

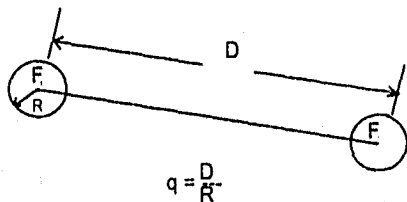
Comparando los valores de q obtenidos de la solución analítica de la ecuación 4.4.4 y q obtenida de la solución de simulación mostrada en la ecuación 4.4.7 los resultados son sorprendentemente cercanos.

4.5 Mecanismo de entrega

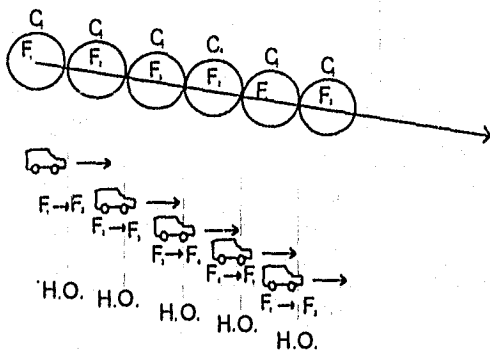
Esta es una característica única que permite a los sistemas celulares operar tan efectivamente como lo ha mostrado su uso actual. Para describir claramente el concepto de entrega, podemos usar una ilustración de una sola dimensión como muestra la fig. 4.6, aunque una configuración real celular de 2 dimensiones cubriría un área con células, de la misma forma que el concepto de entrega es aplicado en un caso de una sola dimensión, también se aplicará en casos de dos dimensiones.

Dos células co-canal que usen una frecuencia F_1 separada por una distancia D son mostradas en la fig. 4.6a, el radio R y la distancia D son gobernadas por el valor de q , ahora tenemos

que llenarlo con otros canales de frecuencia tales como F_2 , F_3 y F_4 entre 2 células co - canal para proporcionar un sistema de comunicación en el área completa



a)



b)

Figura. 4.6 mecanismo de entrega a) relación de reducción de interferencia co - canal q
b) frecuencias de llenado

Las frecuencias de relleno F_2 , F_3 y F_4 también son asignadas a sus células correspondientes C_2 , C_3 , y C_4 de acuerdo al mismo valor de q .

Supongamos que una unidad móvil inicia una llamada en la célula C_1 y se mueve a C_2 , la llamada puede caerse y reiniciarse en un canal de frecuencia de F_1 a F_2 mientras la unidad móvil se mueve de la célula C_1 a C_2 este proceso de cambiar frecuencias puede ser hecho automáticamente por el sistema sin la intervención del usuario, este proceso de entrega es llevado por el sistema celular.

4.6 División celular

4.6.1 ¿Porque división?

La motivación para implementar un sistema móvil celular es para mejorar la utilización de la eficiencia del espectro, el esquema de reuso de frecuencia es un concepto y la división celular es otro concepto, cuando la densidad de tráfico inicia a formarse y los canales de frecuencia F_1 en cada célula C_1 no pueden proporcionar suficientes llamadas móviles, la célula original puede ser dividida en pequeñas células, usualmente los nuevos radios son la mitad del radio original (fig. 4.7). Existen dos formas de dividir como se muestra en la fig 4.7 en la parte (a) el local celular original no es utilizado, muestras que en la parte (b) si lo es.

$$\text{Nuevo radio celular} = \text{radio celular viejo}/2 \quad 4.6.1$$

entonces si nos basamos en la ecuación (4.6.1) la siguiente ecuación es verdadera.

$$\text{Nueva área celular} = \text{vieja área celular}/4 \quad 4.6.2$$

Si permitimos que cada nueva célula lleve la misma carga de tráfico máximo de la célula vieja entonces en teoría:

$$\frac{\text{Nueva carga de tráfico}}{\text{Unidad de área}} = 4 \times \frac{\text{carga de tráfico}}{\text{Unidad de área}}$$

4.6.2 ¿Como dividir?

Existen dos clases de técnicas para la división celular :

1.- División Permanente:

La instalación de cada nueva división celular tiene que planearse por adelantado, el número de canales, la potencia transmitida, las frecuencias asignadas, la selección del local celular y la carga de tráfico deben ser tomadas en cuenta. Cuando esté listo, el corte del servicio deberá ser realizado en el punto de menos tráfico, usualmente a media noche o en un fin de semana, esperando que solo unas pocas llamadas se pierdan debido al corte.

2.- División Dinámica:

Este esquema está basado en la utilización de la eficiencia del espectro colocada en tiempo real, el algoritmo para la división dinámica de locales celulares es un trabajo tedioso debido a que no podemos pagar por una sola célula no utilizada durante la división celular en horas de tráfico cargado.

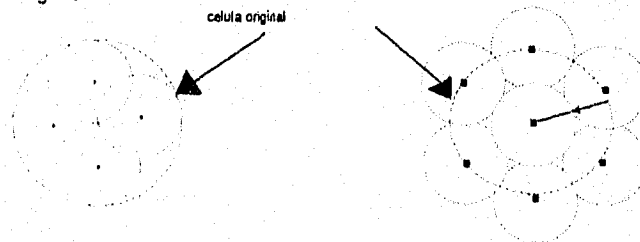


Figura. 4.7 División celular

4.6.3 Plan de expansión sucesiva.

Supongamos que vamos a introducir un nuevo sistema para cubrir una ciudad grande con sus suburbios, y que podamos predecir la densidad de suscriptor en un futuro cercano que será bajo, por lo que no es necesario expandir el sistema rápidamente como sabemos porque causaría sobre capacidad y al mismo tiempo grandes costos sin reingresos.

El primer paso será establecer un local de estación base con una posición de antena alta y un máximo de salida de la potencia para alcanzar el rango de cobertura de 20 km., de acuerdo con esto la estructura de panel mencionada anteriormente, este local puede usar la colocación de canales de acuerdo al grupo a1 (a1, a2 y a3) y consecuentemente estará limitado a aproximadamente 45 canales de voz y 3 canales de control.

Una buena manera de proveer más capacidad con la misma cobertura es añadir 3 locales distantes como muestra la figura. 4.8 (plan 2), estos temporalmente trabajarán como células omnidireccionales pero después serán reemplazadas con células de sector, tal que la colocación del grupo de frecuencia puede ser decidido a ser por ejemplo. c7, e13, g19, mirando detenidamente la tabla de colocación (fig 4.9) encontrará que la distancia de canal entre esos grupos es grande, como se mencionó antes, es benéfico para buena calidad de transmisión, la capacidad a este momento será incrementada con otros 45 canales.

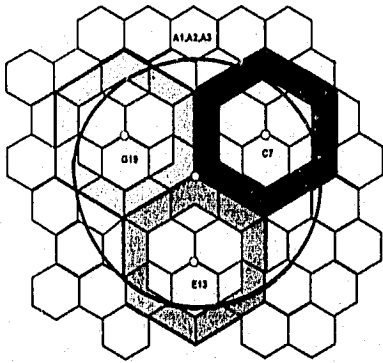


FIGURA 4.8 SITIO A con tres células (A1 , A2 , A3), tres células traslapándose C7 , E13 , G19

El siguiente paso será proveer mas capacidad en el área central que en los suburbios, la cobertura del local a a decrecido al bajar la salida de la potencia para cubrir el distrito central, los 3 locales remotos pueden también proveer alguna cobertura incidental en el distrito central, pero ellos son primariamente destinados para áreas suburbanas (figura. 4.9).

El enjambre totalmente expandido de 21 células de sector de margen iluminado que se ha obtenido de la división de la célula A original, es finalmente representada por la figura. 5, el hecho de dividir una gran célula en varias pequeñas, implica que la repetición de distancia para reuso de frecuencia se acorta y el número de canales en la misma área geográfica es incrementado.

Este incremento lo hace también a la capacidad del sistema..

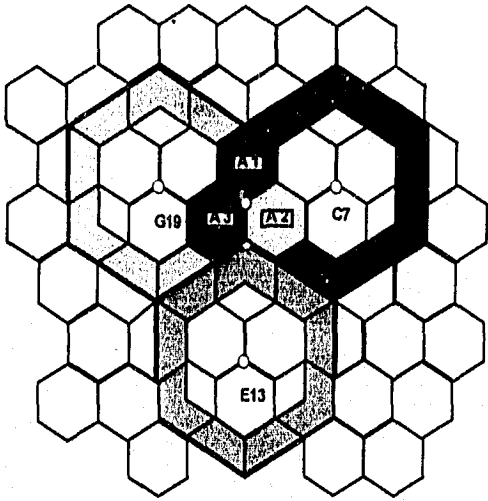


FIGURA 4.9 Mayor capacidad es provista al área central al decrecer la cobertura del sitio A

La figura 4.10 muestra que más células son añadidas, esas nuevas células están revisando canales de acuerdo al método previamente descrito, esto significa que por ejemplo todas las células denominadas g19 operan en la misma frecuencia.

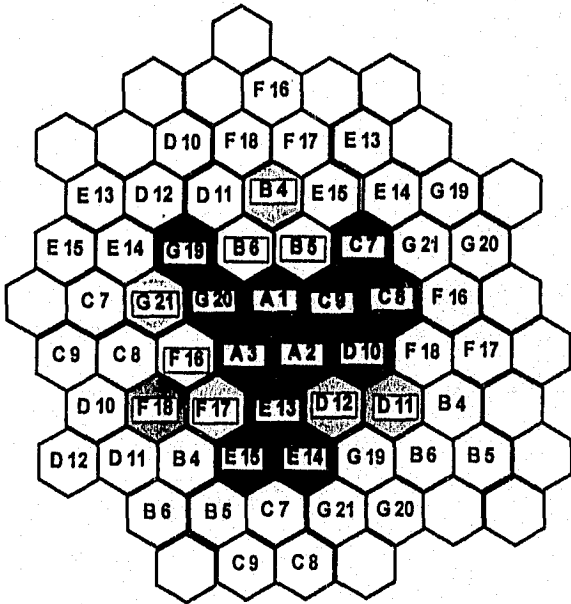


FIGURA 4.10 Reuso de frecuencia patrón de 21 células

Protección contra interferencia co-canal.

Como se mencionó previamente en un gran sistema células se utiliza reuso de frecuencias y podemos tener varios enjambres, la figura. 4.10 ilustra el ejemplo de un patrón celular enjambre de 21 células y otros enjambres alrededor de él, como sabemos, cuando se implementa reuso de frecuencia, una estación móvil puede ser perturbada por interferencia co-canal, esto es que por ejemplo durante una conversación en progreso, el móvil está recibiendo señales de otra base reusando el canal de voz corriente de la estación móvil. las medidas de seguridad para evitar estas situaciones son implementadas en la forma de 3 diferentes tonos supervisores de audio, los cuales son colocados en el sistema de la siguiente forma:

Todos los canales de voz en el enjambre principal transmiten por ejemplo TSA1 a 5970 hz, los canales de voz en cada segundo enjambre vecino transmite TSA2 a 6000 hz y los canales de voz de los enjambres vecinos que quedaban transmiten TSA3 6030 hz en tal forma los canales de voz más cercanos reusando frecuencias y transmitiendo diferentes TSA y estos pueden ser reconocidos por la estación móvil.

Cada vez que una estación móvil es dirigida a usar un canal de voz (llamada establecida, entrega) esto será informado de cual TSA va siendo transmitido en este canal.

Si el TSA en cualquier tiempo durante una conversación no es el mismo del esperado, no será regresado a la estación base, lo cual resulta en una entrega inmediata o un abandono de llamadas. (figura. 2.11)
La interferencia co-canal puede también ser detectada por la estación base considerando la protección en el canal de control, cuatro diferentes valores digitales llamados código de color digital (CCD) son usados:

4.6.4 Cálculo de la capacidad de tráfico de la célula.

Las siguientes preguntas son muy esenciales considerando la planeación celular:

¿Cuántos suscriptores pueden ser atendidos por una célula con X canales de voz? para contestar esto debemos considerar la calidad de servicio, llamado "grado de servicio" que hemos preparado para ofrecer en otras palabras el porcentaje de llamadas congestionadas permitidas.

Para un grado específico la relación entre el número de canales existentes y la máxima densidad de tráfico por canal siga el tradicional diagrama de Erlang de la figura. 4.11

trafico por canal

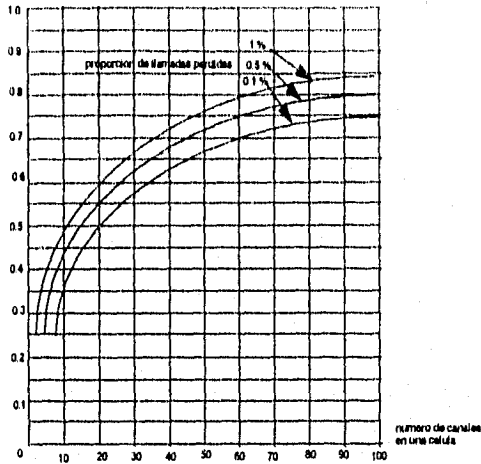


Diagrama de Erlang

FIGURA. 4.11 Diagrama de Erlang

Como se puede apreciar cuando el número de canales incrementa a un cierto valor, puede ser usado mas eficientemente, también cuando la proporción mayor de llamadas perdidas es permitido, la mayor capacidad es alcanzada.

Por ejemplo:

Asumamos que la célula contiene 20 canales de voz y 1% de las llamadas son dejadas que se pierdan por congestión, el trafico por canal esta entonces de acuerdo con el diagrama en 0.6 E la capacidad total de la célula es entonces $20 \times 0.6 = 12E$.

Para encontrar cuantos suscriptores pueden ser atendidos por esta célula tenemos que conocer cuantos de ellos hablan durante las horas de trabajo.

Si estimamos que las llamadas originadas por una cantidad de suscriptores móviles es 0.02E y las llamadas para otra cantidad de suscriptores móviles es 0.01E uniendolas tendremos aproximadamente 0.03 E, que es la cantidad total de suscriptores que pueden ser atendidos , consecuentemente:

La capacidad total de la célula / capacidad requerida por suscriptor,

Entonces:

$$12E / 0.03E = 400 \text{ SUSCRITORES.}$$

Capítulo V

ANÁLISIS DE CAMBIO DE TECNOLOGÍA ANALÓGICA A DIGITAL EN REDES CELULARES .

5.1 Por Qué Digital?

5.1. 1 Ventajas de sistemas digitales

En un sistema analógico, las señales aplicadas a los medios de transmisión son funciones continuas de la forma de onda del mensaje , en el sistema analógico, ya sea la amplitud, la fase, o la frecuencia de una portadora sinusoidal . puede estar variando continuamente de acuerdo con la voz o el mensaje.

En los sistemas de transmisión digitales, las señales transmitidas son discretas en tiempo, amplitud, fase , frecuencia o en una combinación de cualesquiera dos de estos parámetros, Para transformar de forma analógica a forma digital, la cuantización del ruido debido a niveles discretos deberá ser controlado asignando un número suficiente de dígitos para cada muestra y es necesario un número suficiente de muestras para aplicar la relación de Nyquist para muestrear una forma de onda analógica .

Una ventaja de convertir señales de mensaje en forma digital es la aspereza de la señal digital , los deterioros introducidos en el medio a pesar del ruido y la interferencia pueden siempre ser corregidos , este proceso llamado regeneración provee las ventajas principales para la transmisión digital , sin embargo una desventaja de esta aspereza esta en el incremento del ancho de banda relativo al que se requirió para la señal original.

El ancho de banda aumentado es usado para vencer el deterioro introducido en el medio, una analogía de esto está dado en la Sec. 5.1 2. además de la ventaja de costo el consumo de poder es menor y el equipo digital es generalmente más ligero en peso y más compacto , en los sistemas celulares móviles hay más ventajas al aplicar la tecnología digital

5.1. 2 Analogía para esquemas de modulación .

Podemos aplicar la analogía de mover libros para comparar la transmisión analógica y digital. Podemos utilizar un evento diario para describir los diferentes planes de modulación en el campo de las comunicaciones, consideremos el siguiente escenario, en un lado de un salón grande se han amontonado 20 libros (señal a ser enviada) queremos mover estos libros al otro lado del salón (terminal receptora) si suponemos que el piso del salón no es resbaladizo y es plano (medio de transmisión) , entonces contratamos una persona musculosa y fuerte que pueda llevar los 20 libros con ambas manos seguramente al otro lado sin tirar un solo libro , esto es; Análogo a una doble banda lateral .

El espacio que esta persona esta ocupando es igual al ancho de sus hombros como se muestra en Fig. 5.1 Si la persona es muy fuerte una mano puede estar acostumbrado a llevar los 20 libros mientras la otra mano puede estar acostumbrado a cargar algo mas esto es análogo para una banda lateral única. Si el piso en el medio del salón contiene muchos riegan charcos y o bumps , esto es análogo a un medio tosco , podríamos no contratar a un adulto fuerte para llevar los libros porque podemos estar temerosos que la persona caiga y tire todos los libros en medio del salón, por lo tanto, podríamos contratar 10 niños cada uno llevando dos libros como muestra la Fig. 5.1 b , entre 10 niños quizás solamente 1 o 2 podrían caer en el medio del salón y tirar los libros la mayoría de los libros será llevado al otro lado del salón.

Los 10 niños cada uno llevando dos libros , es análogo a la modulación de frecuencia (FM) , esparciendo la señal en un espectro ancho (niños) aplica el primer principio de utilizar " esparcimiento del espectro " en FM , una analogía similar está mostrado en la Fig. 5.1 c. Además de los charcos y bordes hay tres guardias para detener a cualquiera que lleve libros al otro lado del salón.

En tal caso tendríamos que contratar a 20 niños para que cada uno lleve un libro y correr contra las guardias, parte de los niños puede fallar debido a los charcos y los bumps y algunos pueden ser bloqueados por los guardias, pero la mayoría de los libros al otro lado del salón.

Si una fuerza de 20 niños no es suficiente para llevar los libros al otro lado entonces tenemos que alquilar al menos 40 niños, cada uno llevando la mitad un libro , este es el concepto de esparcimiento del espectro , esta técnica de esparcimiento del espectro es utilizado para combati medios toscos y enemigos estrujando en las comunicaciones militares.

En cada plan de modulación la energía tiene que ser limitada dentro de un ancho de banda especificado , en este capítulo demostraremos los planes de modulación regulares , modulación por desplazamiento de fase (PSK) y modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) , también demostraremos como los planes, MSK, GMSK, y GTFM puede ser aplicados a limitar la energía cuando transmitimos una señal en el medio.

La analogía puede ser extendida a un niño o adulto que ahorra espacio mientras lleva libros (Fig. 5.2 a). el adulto lleva los libros (Fig. 5.2 b) está tomando demasiado espacio y este método no es recomendable , el sentido común indica que si una persona necesita llevar libros a través de una muchedumbre , la forma que se muestra la Fig. 5.2a es más apropiado que el que se ilustró en la Fig. 5.2 b , esta analogía ha sido presentada con la esperanza de estimular a los lectores para pensar acerca de los planes de modulación .

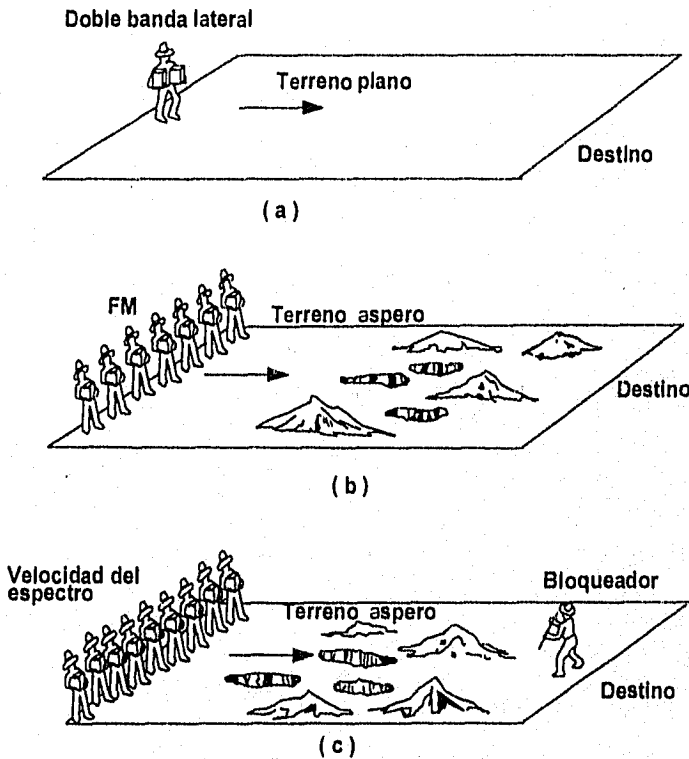


Figura 5.1 Analogía entre transmisión de radio y movimiento de bloques.

- (a) Caminar sobre terreno plano
- (b) terreno con condiciones asperas;
- (c) terreno con condiciones asperas mas bloqueos .

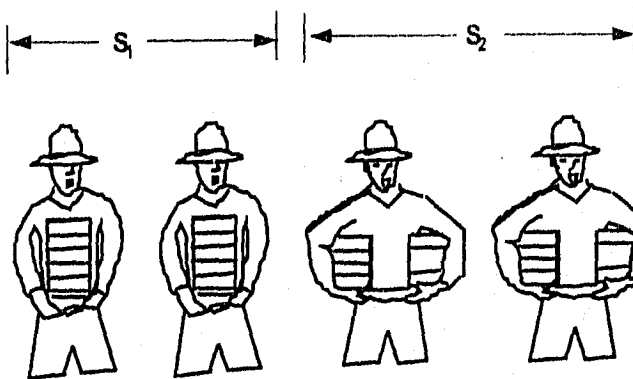


Figura 5.2 Analogía entre uso de los espacios y eficiencia del espectro.
 (a) Un uso del espacio satisfactorio. (MSK, GMSK O GTFM)
 (b) Uso del espacio insatisfactorio (PSK).

5.2 Introducción a la tecnología digital

5.2.1 Detección Digital

Hay tres formas de detección digital : La detección coherente , detección diferencialmente coherente y la detección no coherente , la detección coherente requiere una forma de onda de referencia asegurada en frecuencia y fase y el uso de un bucle de rastreo de portadora de fase-coherente para cada técnica de modulación , en un entorno de radio móvil de detección no coherente es más fácil de instrumentar que la detección coherente .

Una forma de detección que es intermedia en dificultad para ser instrumentada es llamada PSK DIFERENCIAL . La PSK diferencial no necesita información de la fase de portadora absoluta, y esto enreda los problemas de sincronización de detección coherente , la referencia de fase es obtenido por la señal misma, la cual esta retrasada a tiempo exactamente por un bit de espaciado , este sistema mantiene una referencia de fase entre símbolos sucesivos y es insensible a la fluctuación de fase en el canal de transmisión en tanto que estas fluctuaciones son pequeñas durante cada duración de un intervalo de símbolo T. En modulación de corrimiento de fase diferencial binario (DBPSK) un símbolo es un bit . El lado débil de este plan es que siempre que hay un error en la fase generada por el medio , dos bits de mensaje de error resultará.

Hay varios aspectos de la detección digital.

Recuperación de portadora.

La recuperación de portadora para la portadora de señal suprimida $A(t) \sin(\omega_c t)$ más el ruido $n(t)$ puede ser obtenido por dos métodos. Un bucle de cuadratura o frecuencia-doble puede ser utilizado (ver fig. 5.3). El bucle contiene un bucle de fase encadenada como-se-muestra en la Fig. 5.4.

El bucle de fase encadenada mantiene una fase constante ϕ_n del $\cos(2\pi f_c t + \phi_n)$, que es la portadora recuperada , otra técnica de recuperación de portadora utiliza el bucle de Costas, que genera una referencia de fase coherente independiente de la modulación binaria al usar tanto canales en fase como en cuadratura . El bucle de Costas (Fig. 5.5) es preferido frecuentemente sobre el bucle de cuadratura porque sus circuitos son menos sensibles para centrar los desplazamientos de frecuencia y son generalmente capaces de operar a un ancho de banda más amplio , además, el bucle de Costas da simplicidad al circuito.

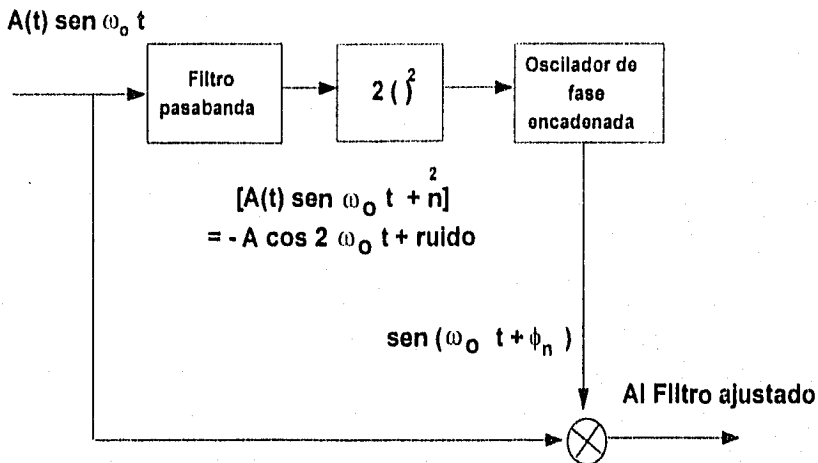


Figura 5.3 Diagrama de Bloques de la técnica de -recuperación de portadora de ley cuadrada.

Rastreo de portadora-fase (bucle bloqueado en fase). La precisión del rastreo portadora depende de varios parámetros del sistema, incluyendo el ruido de fase en la portadora introducido por las estabilidades de diversos osciladores en corto plazo, impulsos o arrastres de frecuencia portadora, bucles de rastreo de portadora dinámicos, respuesta transitoria, el requisito de adquisición de -desempeño, y la relación señal a ruido S/N en el bucle de rastreo de portadora rastreo.

El bucle bloqueado en fase en el bucle de -recuperación de rastreo de portadora tiene que tener suficiente ruido de ancho de banda para seguir el ruido de fase de la portadora. Para un espectro de ruido portadora-fase dado, un puede computar el ancho de banda de ruido del bucle bloqueado en fase B requerido para rastrear a la portadora, claramente un demasiado grande ancho de banda de ruido puede permitir la ocurrencia del efecto de ruido térmico.

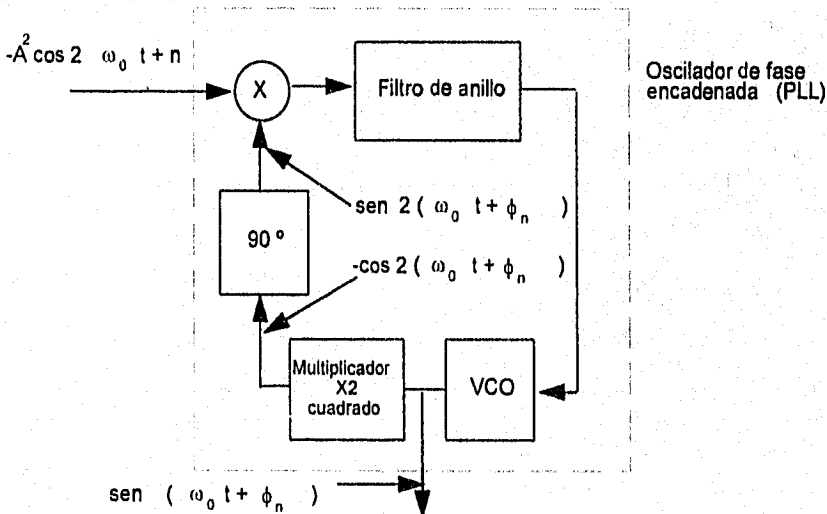


Figura 5.4 Oscilador fase encadenada

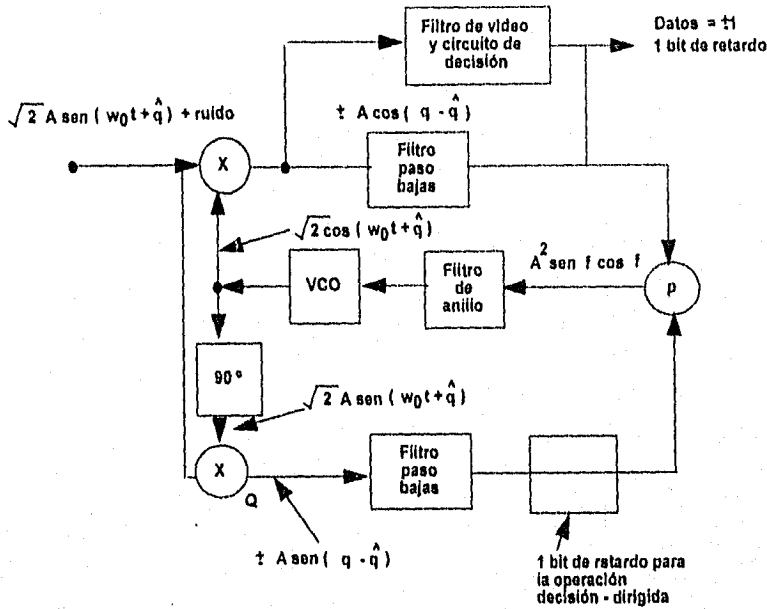


Figura 5.5 BUCLE DE COSTAS OSK circuito de recuperaci3n de portadora y detector de bit, el error de fase est3 definido como $\phi = 0 - \theta$, La configuraci3n dirigida en decisi3n est3 mostrado en las l3neas retrasadas.

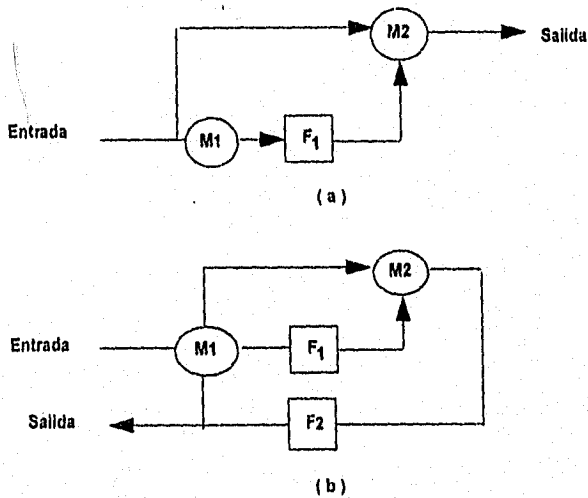


Figura 5.6 T3cnicas de combinaci3n Cofase.
 (a) Alimentaci3n adelantada combinaci3n cofase.
 (b) retroalimentaci3n combinaci3n cofase.

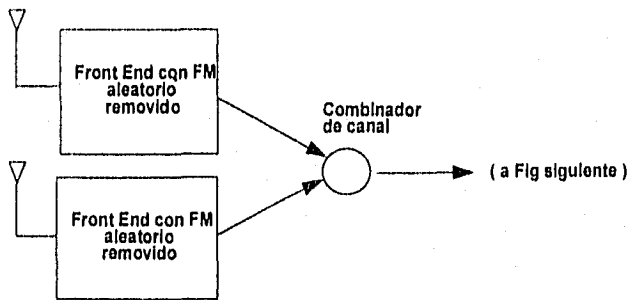


Figura 5.7 Un receptor de diversidad de dos ramas .

Circuitos de igualación de fase - para combinación cofase .

1. alimentación adelantada (Feedforward).

Un circuito utilizando dos mezcladores para cancelar FM aleatoria puede ser utilizado (ver Fig. 5.6 a) como un circuito de igualación de fase en cada rama de un combinador de diversidad igualación - ganancia de N-ramas

2. Retroalimentación.

Un circuito modificado del circuito alimentación adelantada es mostrado en la Fig. 5.6 b , este circuito es también utilizado por cada rama de un combinador de diversidad igualación-ganancia de N-ramas , el combinador de retroalimentación es también llamado un combinador Granlund .

3. El circuito combinador total.

Como se muestra en Fig. 5.7, ya sea un circuito de retroalimentación o de alimentación adelantada puede ser utilizado en el combinador para formar un combinador de igualación-ganancia de dos ramas . El circuito se conecta a un receptor de filtro ajuste coherente para BPSK como-se-muestra en Fig. 5.8.

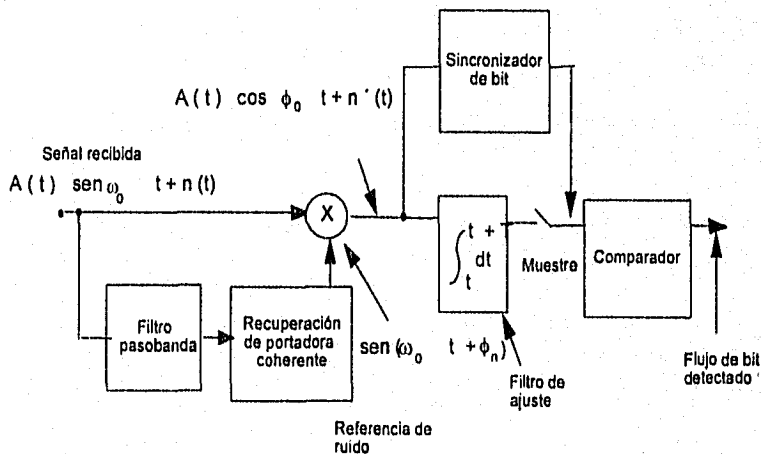


Figura 5.8 Filtro receptor para BPSK de ajuste coherente .

Bit de sincronización .

Los receptores digitales de potencia eficientes requieren la instalación de un bit sincronizador , el bit de sincronización se aplica comúnmente en técnicas de autosincronización , esto es que extrae tiempo de reloj directamente de una corriente ruidosa , hay cuatro clases de bit sincronizador.

1.- sincronizador de filtro no Lineal .

Este sincronizador de bucle abierto es utilizado comúnmente en enlaces de alta relación de velocidad-de-transmisión-de-bits que operan normalmente en altas tasas de señal a ruido.

El sincronizador de rastreo de información-transición .

Este sincronizador de bucle cerrado combina las operaciones de detección y la sincronización de bit , puede ser empleado en una relación señal a ruido baja y en relaciones de datos medias.

Sincronizador Temprano-tarde

Este sincronizador utiliza una compuerta integral temprano- tarde y vuelca los canales que tienen valores absolutos, es más simple de instrumentar que el sincronizador de rastreo de información-transición y menos sensible a compensaciones de cd .

Sincronizador óptimo.

Este sincronizador provee unos medios óptimos de buscar la ranura de tiempo de sincronización correcta durante la adquisición , sin embargo, este alcance generalmente no es práctico.

5.2.2 Modulación para sistemas digitales

Hay varios aspectos de modulación digital, y son descritos más abajo.

Requerimientos

Las técnicas de modulación digitales básicas son desplazamiento de amplitud (ASK), desplazamiento de frecuencia (FSK), desplazamiento de fase-, (PSK), y las técnicas de modulación híbrida involucrando amplitud , frecuencia y desplazamiento de fase-

En sistemas celulares móviles la selección de una modulación digital para la transmisión de radio involucra la satisfacción de los siguientes requisitos

- (a) Ancho de banda más estrecho .
- (b) Uso de potencia más eficiente.
- (c) Eliminación de productos de intermodulación .

Ancho de banda más estrecho .

Para todas las formas de modulación es aconsejable para tener una envolvente constante y por lo tanto utilizar ancho de banda relativamente más estrecho . En estos casos FSK Y PSK son recomendables , por ejemplo, desplazamiento multifase (MPSK) para grandes valores ($M > 4$) tiene mayor eficiencia de ancho de banda que BPSK o QPSK pero el uso de la potencia es menos eficiente.

Uso de potencia más eficiente.

Es preferible para proveer más canales para un nivel de potencia dado, por lo tanto es esencial el uso de potencia mejorada , además la FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION ha limitado la potencia total (100 W) a ser irradiada desde cada antena de estación base , esta limitación gobierna el número de canales que puede ser servido dada la potencia permitida para cada canal.

Eliminación de productos de intermodulación .

QPSK es utilizado comúnmente con una eficiencia de transmisión de cerca de 1 a 2 bps / hz , este valor ha sido encontrado para ofrecer una compensación satisfactoria de factores entre uso de frecuencia eficiente y economía de la potencia de transmisor . Sin embargo en enlaces de radio móvil , cuando amplificadores de la potencia de clase C no lineales son utilizados , cualquier radiación aparente debería ser suprimida . Para reducir las señales aparentes , estamos seleccionando una constante o propiedad envolvente de baja fluctuación . Hay dos tipos de modulaciones ampliamente clasificadas.

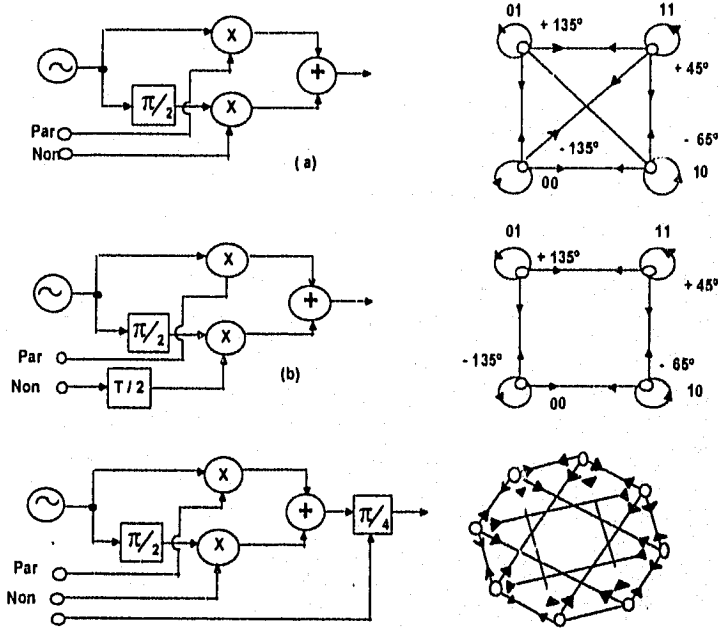


Figura 5.9 Constitución de Modulador y diagramas señal-espacio (a) QPSK Convencional , (b) QPSK compensado y (c) conmutación $\pi/4$ Esquemas de modulación . Hay varios esquemas de modulación .

1 QPSK. modificado

Hay dos clases de QPSK además de un QPSK regular con reglas de transición de fase restringidas.

a. QPSK.

El QPSK convencional mostrado en la Fig. 5.9 una tiene ambigüedad de fase , la señal de forma de onda QPSK ideal .

$$A \sin [\omega_0 t + \theta_m(t)] = \pm \frac{A}{\sqrt{2}} \sin \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{4} \right)$$

5.2-1

$$\pm \frac{A}{\sqrt{2}} \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{4} \right)$$

Donde $\theta_m = (0, \pi/2, \pi/3, 3\pi/2)$ y el valor de θ_m debería concordar el signo de la ecuación (5.2 1); Eso es $\theta_m = 0$ para (+,+), $\theta_m = \pi/2$ for (+,-) $\theta_m = \pi$. Para (-,+) y $\theta_m = 3\pi/2$ Para (-,-).

| Bit par | fase Absoluta |
|---------|---------------|
| 0 0 | 0 |
| 0 1 | $\pi/2$ |
| 1 1 | π |
| 1 0 | $3\pi/2$ |

QPSK COMPENSADO (OQPSK).

Este esquema es QPSK, pero el flujo de bit par está retrasado por un intervalo de medio bit con respecto al bit impar como muestra la Fig. 5.9 b.

c. QPSK desplazado $\pi/4$.

Un incremento de fase de $\pi/4$ es añadido a cada símbolo mostrado en la Fig. 5.9 c.

Tanto OQPSK como QPSK desplazado $\pi/4$ no tienen transición de fase π ; Por lo tanto, ninguna ambigüedad de fase ocurriría como en QPSK, sin embargo, intrínsecamente producen una cantidad segura de fluctuación de envolvente residual, A veces, un bucle de fase bloqueada (PLL) es insertado en la salida de modulación para remediar este problema.

2. El codificador diferencial de QPSK (DQPSK).

Este es el mismo que en DBPSK, pero el codificador diferencial de los bits de pares selecciona el cambio de fase en vez de la fase absoluta. Sin embargo, DQPSK tiene ambigüedad de fase exactamente como QPSK.

La fase de par / cambia 0 0 0 0 $\pi/2$ 1 1 π 1 0 $3\pi/2$

| Bit par | cambio de fase |
|---------|----------------|
| 0 0 | 0 |
| 0 1 | $\pi/2$ |
| 1 1 | π |
| 1 0 | $3\pi/2$ |

La recuperación de portadora de QPSK será ligeramente diferente que el de BPSK.

FSK modificado - fase continua Desplazamiento de frecuencia - (CP-FSK) con índice de modulación bajo

- a. Desplazamiento mínimo (MSK) también llamado FSK rapido (FFSK)
- b. FSK SINUSODIAL (SFSK)
- c. FSK DOMADO (TFSK) o modulación de frecuencia domada (TFM)
- d. MSK GAUSSIAN (GMSK)
- e. TFM GAUSSIAN (GTFM)

Ya que todos los esquemas relacionados anteriormente son CP-FSK (y tienen un índice de modulación bajo, ellos intrínsecamente tienen propiedades de envolvente constantes , a menos que severas filtraciones paso banda sean introducidas a la salida del modulador. En MSK la conmutación de frecuencia precisamente aumenta o disminuyen la fase por 90° en cada T segundos , entonces la forma de onda de la señal es

$$s(t) = \text{sen} \left(\omega_0 t + 2\pi \int_0^t s_i d\tau + \frac{n\pi}{2} \right) \quad 0 < t < T \quad 5.2-1$$

donde

$$\begin{cases} S1 = 1 & \text{Para el bit de datos 1} \\ S1 = -1 & \text{Para el bit de datos 0} \end{cases} \quad (5.22)$$

$$s(t) = \text{sen} \left(\omega_0 t + \frac{n\pi}{2} + \frac{\pi t}{2T} \right) \quad 5.2-3$$

$$s(t) = \cos \left(+ \frac{\pi t}{2T} \right) \text{sen} \left(\omega_0 t + \frac{n\pi}{2} \right) + \text{sen} \left(+ \frac{\pi t}{2T} \right) \cos \left(\omega_0 t + \frac{n\pi}{2} \right)$$

Comparando la Ecuación (5.2 1) con la ecuación (5.2 3), encontramos que las dos ecuaciones son muy similares , de hecho las formasde onda de modulación-de-fase de las modulaciones de canal I - y Q- de OQPSK son modulados formas de onda de seno y coseno y entonces la salida será idéntica a la de MSK. Observemos que es necesaro para modular tanto los canales I como Q canalizan durante cada intervalo de bit para retener la envolvente constante de s (t).

Debido a que la fase es continua de bit a bit las bandas laterales espectrales de MSK o OQPSK caen más rápidamente que en BPSK o QPSK (ver fig. 5.10).

Aunque MSK demuestra una propiedad superior en-función-de la aparente supresión de espectro fuera de banda sin ninguna filtración , esta aparente supresión de espectro no satisficará los severos requisitos de comunicaciones de una portadora única por canal (SCPC) , los bordes agudos de comunicaciones en trayectorias de transición de fase MSK (Fig. 5.-11) son suavizados por algún filtrado de premodulation de banda base , el SFSK muestra una transición de fase más suave que la que hace el MSK pero el pequeño mejoramiento en la supresión de espectro aparente fuera banda , el TFM es un MSK modificado utilizando la regla de codificación de respuesta parcial como una regla de transición de fase , la trayectoria de fase suavizada de TFM es mostrada en la Fig. 5.11. Las supresiones salientes para el espectro fuera de banda de TFM son mostradas en la Fig. 5.10.

Sin embargo, esta supresión saliente del espectro aparente fuera de banda puede ser alcanzado utilizando una apropiada premodulación de filtración de banda base en MSK, tal como un filtrado gaussiano de banda base como se muestra en la fig. 5.12.

EL GMSK, con $1/T = 0.2$ tiene las mismas curvas de la densidad de espectro de la potencia como en TFM, donde B_b es el ancho de banda de banda base, aún más, GMSK es más fácil de instrumentar que TFM.

Los siguientes parámetros son definidos y están en las figuras que siguen

- Bc Paso banda ideal
- B Separación de canal (ancho de banda)
- fb bit de codificación de voz = $1/T$
- $1/T$ Velocidad del bit de transmisión (16 kbps)
- BT Ancho de banda normalizado de un filtro ideal paso banda
- BT Ancho de banda normalizado de un filtro gaussiano

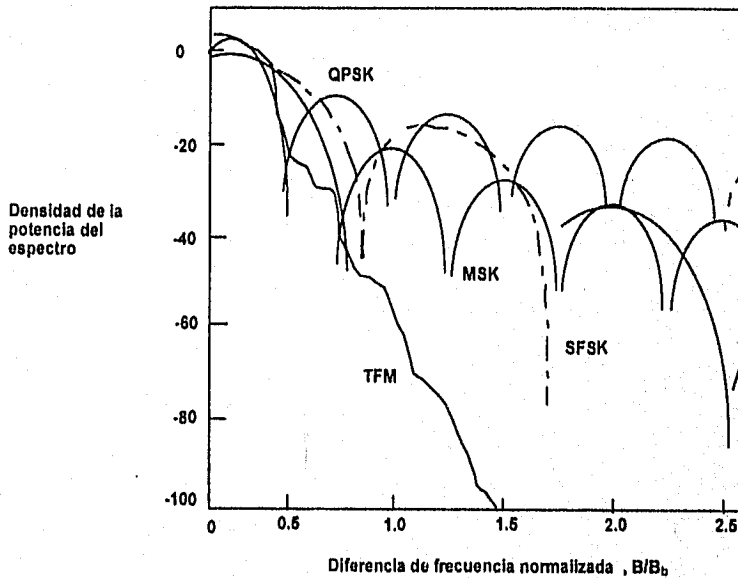


Figura 5.10 Funciones de densidad de espectro de QPSK, MSK, SFSK Y TFM.

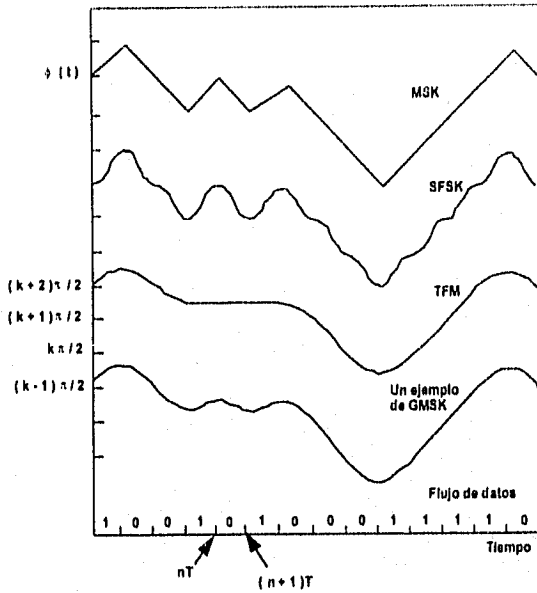


FIGURA 5.11 trayectorias de transición de Fase-MSK, SFSK, TFM, y GMSK

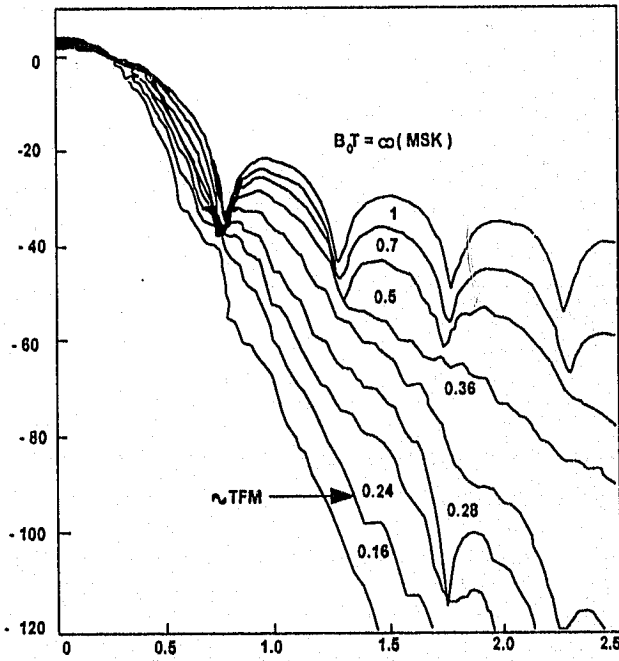


Figura 5.12 Funciones de densidad de la potencia espectro de GMSK.

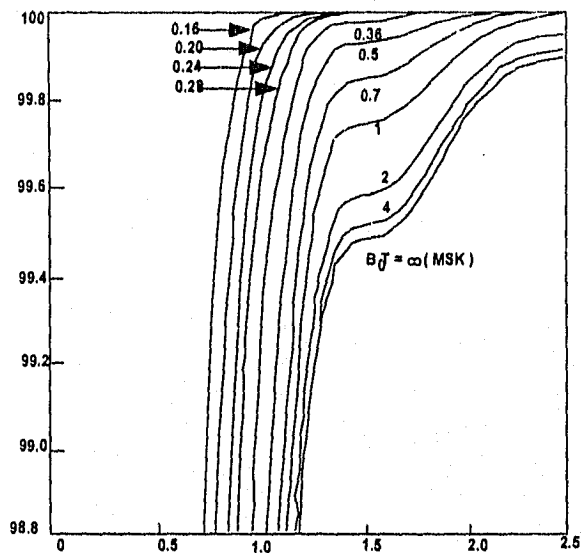


Figura- 5.13 Potencia Fraccional de la señal GMSK .

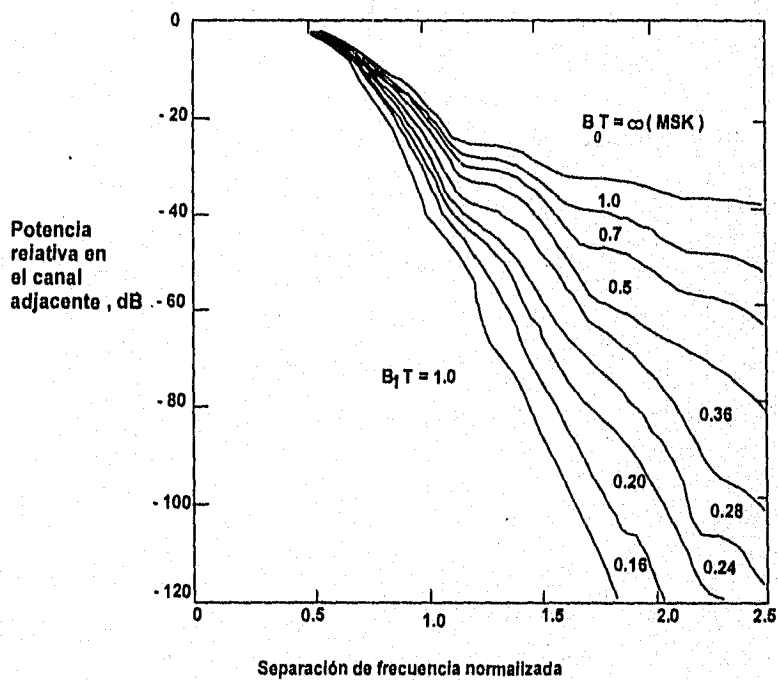


Figura- 5.14 Potencia relativa radiada en el canal adyacente.

La figura 5.13 muestra la potencia fraccional en porcentaje de la señal GMSK excediendo el ancho de banda normalizado $B_b T$ con diferentes valores de $B_b T$ ($B_b T = \infty$ significa sin filtro), esto se convierte en el MSK convencional, la figura 5.14 muestra la potencia relativa irradiada en el canal adyacente cuando $B_b T$ es igual a 1.5, entonces dejemos que $B_s = 30$ khz, entonces la velocidad de transmisión de bits $f_b (1/T) = 20$ kbps. Para un filtro de ancho de banda normalizado $B_b T = 0.24$ o $B_b = 4.8$ khz y la potencia relativa en el canal adyacente es -60 dB.

Demodulación.

Cuando la señal es recibida nos gustaría conocer el desempeño de los diversos esquemas de demodulación, algunos son mejor que otros independientemente de como es la señal modulada, el detector coherente orthogonal propuesto por Buda puede ser utilizado para MSK y TFM.

El desempeño BER es siempre un buen criterio para la comparación de los diferentes esquemas de modulación, el desempeño de BER medido es mostrado en la Fig. 5.15 con un canal normalizado de ancho de banda $B_b T = 0.75$. La familia de curvas muestran los BERS para los diferentes filtros de ancho de banda, también TFSK (TFM) está trazado para comparación. el GMSK con el filtro ancho de banda de $B_b T = 0.19$ es superior a TFSK. Sin embargo, una desventaja de estrechar el espectro de canal es incrementar el BER, esto es degradando el desempeño, algunas veces tenemos que considerar si es meritorio utilizar un filtro gaussiano

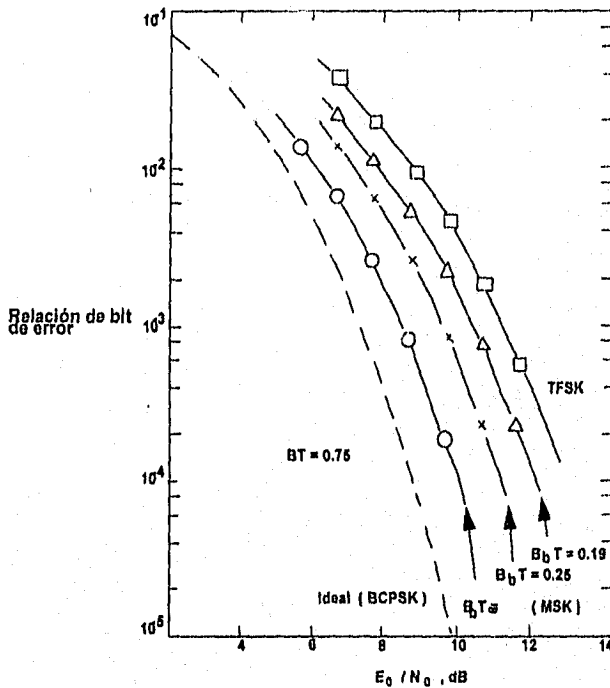


Figura 5.15 Desempeño de BER medido

5.3 Técnicas ARQ

5.3.1 Diferentes técnicas.

Las técnicas de solicitud - respuesta automática (ARQ) incluyen la estrategia de codificación y solicitud retransmisión para entregar un mensaje , precediendo al mensaje esta un encabezado que contiene el origen y la dirección de destino e información útil de enrutamiento , cada mensaje ARQ tiene que tener un encabezado , hay dos técnicas ARQ principales.

1, ARQ Para - y- espera .

El originador del mensaje se detiene al fin de cada transmisión para esperar por una respuesta del receptor (ver Fig. 5.16 a) , entonces los siguientes pasos pueden ser tomados .

- No es utilizada la corrección de error delantera - ARQ (a) .
- Tanto la corrección de error delantero y la codificación de detección de error son utilizadas - ARQ (b) .
- Los bits de paridad de error-detección son enviados, pero no los bits de la paridad de corrección de error con lo cual se supone que la probabilidad de un mensaje libre de error es grande ARQ (c) .

Retransmisión selectiva .

Cuando muchas palabras son transmitidas al mismo tiempo , cada palabra individualmente puede aplicar detección de error y no al mensaje como un todo , solamente aquellas palabras que contienen detección de error son devueltas .

Este esquema es llamado *retransmisión selectiva*. La retransmisión selectiva con ARQ (B) está mostrada en la Fig. 5.16 b , la retransmisión selectiva con ARQ (C) está mostrada en la Fig. 5.16 c .

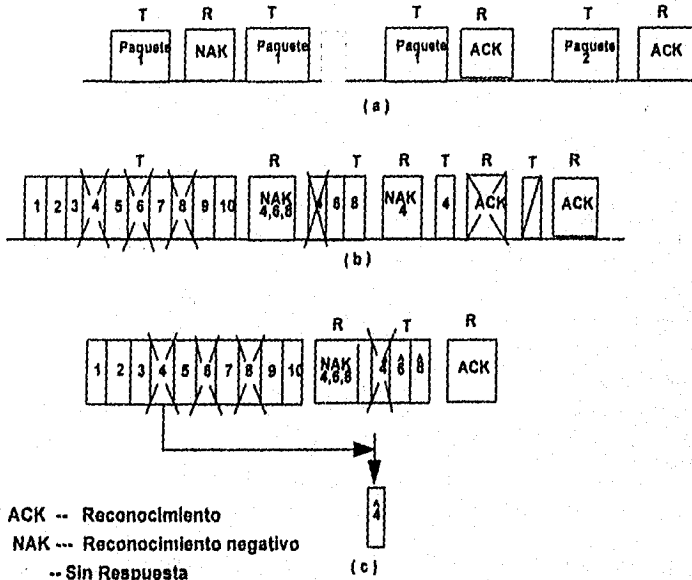


Figura 5.16 Transacciones ARQ.

(a) ARQ para y espera ; (b) retransmisión selectiva con ARQ (b) ; (c) retransmisión selectiva con ARQ (c) .

5.3. 2 Las transmisiones de número esperado .

ARQ PARA Y ESPERA [aplica a ARQ(a) y ARQ(b) solo] Si P_{ew} es una relación de error de palabra (WER) y permitamos que un mensaje consista de N palabras , ahora número requerido de transmisiones depende de todas las N palabras sean exitosamente transmitidas , el número de transmisiones esperadas es

$$E_N = \frac{1}{(1 - P_{ew})^N} \quad (5.3-1)$$

Assumiendo independendia de errores entre palabras y que todas las palabras tienen el mismo P_{ew} , esta suposición puede ser considerada válida para los casos donde velocidad del vehiculo es alta , la ecuación (5.3 1) indica que la cantidad de transmisiones E_N aumenta más rápidamente al incrementar la longitud del mensaje, esto es, en la medida en que aumenta N , la ecuación (5.3 1) está trazada en la fig. 5.17 a.

Retransmisión selectiva (SRT) con ARQ (b).

Supongamos que el numero de transmisiones de una palabra es independiente del numero de transmisiones de cualquier otra palabra , el número esperado de transmisiones requerido para enviar un mensaje N -palabra con menos de i transmisiones es

$$E_N = \sum_{i=1}^{\infty} \{ 1 - (1 - P_{ew})^N \}^i \quad (5.3.2)$$

La ecuación (5.3 2) está trazada en la Fig. 5.17 b , comparando la Fig. 5.17a con la Fig.5.17b, vemos que ARQ para y espera requiera un mayor número de transmisiones para suministrar un mensaje que lo que haría la retransmisión selectiva con la misma probabilidad de error de bloque.

Retransmisión selectiva (SRT) CON ARQ (c).

En este esquema , ARQ (C) definido como ARQ para y espera es aplicado al esquema de retransmisión selectiva .

Dejemos que la primera probabilidad de transmisión sea P_1 y una probabilidad de retransmision sea P_2 , el número esperado de transmisiones requerido para enviar una N - palabra mensaje con menos que i transmisiones es

$$E_N = 1 + \sum_{i=1}^{\infty} \{ 1 - (1 - P_1 P_2)^N \}^i \quad (5.3.3)$$

Debido a que la corrección de error delantero es añadida a la retransmisión P_2 es más pequeño que P_1 , si P_2 es una potencia positiva entera de P_1 , esto es $P_2 = P_1^k$, donde k representa las varias potencias del código de corrección de error de alimentación adelantada , la ecuación (5.3 3) es trazada en la Fig. 5.17 c para $N=10$. Cuando $k=1$, la curva mostrada en la Fig. 5.17c es la misma como $N=10$ en la fig. 5.17 b.

5.3. 3 Eficiencia de la Transmisión R

La eficiencia de transmisión es la razón de el número de bits de información para el número total de bits de transmisión , si un mensaje consiste de N palabras , donde B es el número de bits por palabra, y

$$B = H + L \quad (5.3-4)$$

Donde H son los bits de encabezado y L son los bits de información , entonces

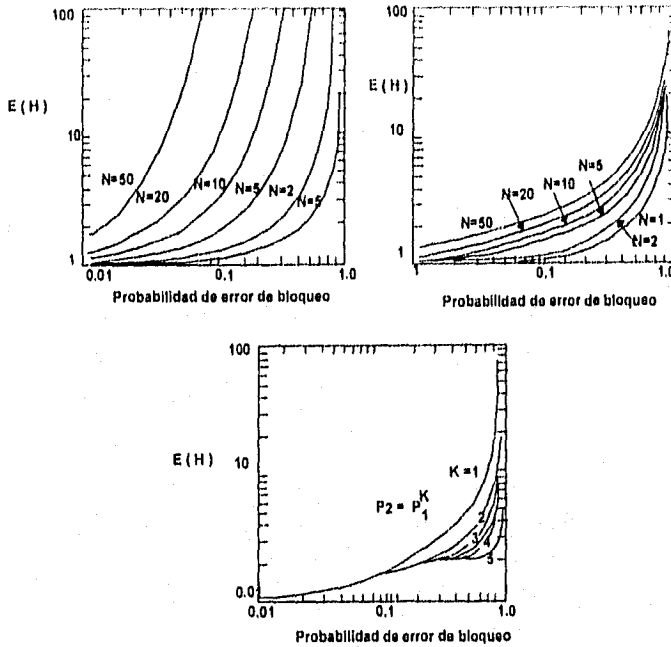


Figura 5.17 Número de transmisiones esperadas para diferentes tipos de ARQ. (a) $E(H)$, Número de transmisiones esperadas para suministrar un mensaje de bloque N para ARQ alto-espere. (b) $E(H)$, Número de transmisiones esperadas para suministrar un mensaje de 10 bloques para SRT ARQ. (c) $E(H)$, Número de transmisiones esperado para suministrar un mensaje de 10 bloques para SRT ARQ (c) para diversas probabilidades de fallo de retransición

Técnica ARQ Paro y espera

$$R = \frac{NL}{(H + NB) E_N} \quad (5.3-5)$$

Donde E_N es mostrado en la ecuación (5.3.1).

Retransmisión selectiva

$$R = \frac{NL}{HE_N + NBE_I} \quad (5.3-6)$$

Donde E_N ser como se muestra en Ecuación (5.3.2) y

$$E_I = \frac{1}{(1 - P_{ew})} \quad (5.3-7)$$

Retransmisión selectiva con ARQ (C)

$$R = \frac{NI}{(IE_N + NBE_1)} \quad (5.3-8)$$

Donde E_N es como se muestra en la ecuación (5.3-3) y E_1 es

$$E_1 = 1 + \sum_{i=2}^{\infty} [1 - (1 - P_1 P_2^{i-2})] \quad (5.3-9)$$

5.3.4 Relaciones de error No detectadas

En las secciones previas, vimos que cada transmisión puede quedar en uno de dos resultados, éxito o fallo. Esto es llamado "detección dura", hay también una "detección suave", en esta tres probabilidades de detección por transmisión son denotados: La P_c (éxito), P_d (error detectado), y P_u (error indetectado) por palabra, cuando cada una de estas probabilidades es identificada por cada transmisión, entonces podemos ejecutar cálculos posteriores.

ARQ Paro y espera [aplica en ARQ(a) y ARQ(b)].

Podemos encontrar la probabilidad de error indetectado por una sola palabra de mensaje.

$$P_{um} = \frac{P_u}{P_c + P_u} \quad (5.3-10)$$

Donde

$$P_c = 1 - P_{ew} \quad (5.3-11)$$

y

$$P_u \leq P_{ew} 2^m \quad (5.3-12)$$

Donde m es el número de bits de paridad de detección de error, la probabilidad de error no detectada por Palabra de mensaje N es

$$P_{um} = \frac{1 - (1 - P_{ew})^N}{1 + (1 - P_{ew})^N(2^m - 1)} \quad (5.3-13)$$

Retransmisión selectiva. En esta técnica, consideramos b bits de paridad por cada palabra en lugar de m bits de paridad por todo el mensaje, la probabilidad de error indetectado para un mensaje de una palabra es

$$P_{um} = \frac{P_{ew}}{P_{ew}(1 - 2^b) + 2^b}$$

La probabilidad de error indetectado para N - palabra mensaje es

$$P_{um} = 1 - \left[1 - \frac{P_{ew}}{P_{ew} (1 - 2^{-b}) + 2^{-n}} \right]$$

La relación de error de palabra P_{ew} es una función de la velocidad del vehículo, como la relación de error de palabra P_{ew} está derivado de la relación de bit de error, cada bit en error puede ser dependiente o independiente de el bit de error adyacente relacionado con la velocidad de vehículo.

Por lo tanto, la relación de error de palabra no es fácil de obtener, cualquier modelo demasiado simplificado puede dar respuestas incorrectas, podemos obtener la relación de error de palabra desde dos casos extremos, uno considerando que la velocidad alcanza el infinito y la otra que la velocidad se vuelve cero como se describio anteriormente.

5.4 Dialogo Digital

Desde que las tecnologías digitales se han desenvuelto un estudio importante centrado en métodos eficientes para digitalmente codificar el dialogo , la calidad de este dialogo implica una medida de fidelidad lo cual es difícil de especificar cualitativamente porque la percepción humana está involucrada , los dos criterios utilizados son :

Que fue dicho (baja fidelidad aceptada por sistemas militares)
Quien lo dice (alta fidelidad importante para sistemas comerciales)

Por ejemplo, un inspector del sistema militar quien comenta que la calidad del dialogo de alguien es excelente puede estar haciendo referencia a inteligibilidad y ruido del sistema bajos , es irrelevante quien habla desde el otro lado (del inspector) o que el inspector nunca haya hablado a esta persona antes.

5.4.1 Velocidades de Transmisión en codificación de dialogo .

Estas velocidades son totalmente dependientes en características de calidad tal como calidad de timbrado , calidad de comentario, calidad de comunicaciones, calidad sintética.

1. Calidad de timbrado.

Una señal de dialogo analógico es de calidad de timbrado cuando su rango de frecuencia es de 200 a 3200 Hz ; esta relación señal a ruido es mayor o igual que 30 dB ; Y su distorsión armónica es menos o igual que 2.3 por ciento , el dialogo digital tiene que tener una calidad comparable que la calidad de timbrado de una señal de dialogo analógica

Calidad de Transmisión de timbrado

| | |
|--------------------------|------|
| Codificador | kbps |
| Log PCM | 56 |
| ADM | 40 |
| ADPCM | 32 |
| SUB-BAND | 24 |
| Pitch Predictive ADPCM | 24 |
| APC, ATC, ϕ V, VEV' | 16 |

2. Calidad de comentario..

En general una señal en velocidades de transmisión de bits mayores de 64 kbps genera una señal de dialogo con calidad de comentario que es mejor que la calidad de timbrado , pero los anchos de banda de entrada son significativamente más amplias que en un sistema de teléfono no- celular (hasta 7 khz).

3. Calidad de comunicaciones.

A velocidades por debajo de 16 kbps , la señal en el rango de 7.2 a 9.6 kbps es una señal de dialogo de calidad de comunicaciones , la señal es altamente inteligible pero tiene reducciones notables en el reconocimiento de la calidad y orador.

Calidad de Transmisión de comunicaciones

| | |
|--------------------------|------|
| codificador | kbps |
| Log PCM | 36 |
| ADM | 24 |
| ADPCM | 16 |
| SUB-BAND | 9.6 |
| APC, ATC, ϕ V, VEV' | 7.2 |

4. Calidad sintética.

A 4.8 kbps y debajo la señal provee calidad sintética y el reconocimiento de orador es sustancialmente degradado.

Transmisión de calidad sintética

| codificador | Kbps |
|-------------|------|
| CV, LPC | 2.4 |
| ORTHOG | 1.2 |
| FORMANT | 0.5 |

5.42 Clases de codificador

Hay dos clases de codificador: codificadores de forma de onda y codificadores fuentes.

Codificadores de forma de onda. la forma de onda del dialogo puede ser caracterizada por

1. La distribución de amplitud (en dominio del tiempo)
- 2.- Función de autocorrelación (en dominio del tiempo)
3. Densidad espectral de la potencia (en dominio de frecuencia)
- 4.- Medida de llanura Espectral (removiendo la redundancia en la forma de onda de dialogo)
- 5.- Criterios de Fidelidad para formas de onda

$$\text{La codificación de ruido} = \frac{1}{T} \int (\text{error de codificación})^2 dt$$

Donde la codificación de error es igual a la diferencia de amplitud (muestras de una forma de onda codificada menos la forma de onda de entrada original).

La relación-senal-ruido está expresada como

$$\frac{S}{N} = \frac{(\text{forma de onda de entrada})^2}{\text{codificación de ruido}}$$

Hay dos tipos de codificadores de forma de onda de dialogo .

1.- Codificadores en el dominio del Tiempo.

Modulación de código de pulsos (PCM), modulación de código de pulsos diferencial (DPCM) y modulación delta (DM) son utilizados comúnmente.

La codificación predecible adaptable (APC) en sistemas de codificación en el dominio del tiempo esta limitada a predictores lineales con coeficientes cambiantes basados en uno de los siguientes tres tipos:

- a. Estructura fina Espectral- en más periodos.
- b. Envolverte espectral de Corto tiempo . determinado por la respuesta-de-frecuencia del tracto vocal y por el espectro de los pulsos del sonido de la cuerda vocal .
- c. La combinación de los tipos a y b

En los codificadores en el dominio del tiempo el dialogo es tratado como-una simple señal de banda total ; en los codificadores predictivos en el dominio del tiempo la redundancia de dialogo es removida previamente para codificar por predicción y filtración invertida de modo que la tasa de información puede ser más baja.

Codificadores en el dominio de frecuencia .

La señal de dialogo puede ser dividida en un número de componentes de frecuencia separados y cada uno de estos componentes pueden ser codificado separadamente.

Las bandas con poca o ninguna energía no pueden ser codificadas del todo , Hay dos tipos de codificación :

Codificación de sub-banda (SBC).

Cada sub-banda puede ser codificada de acuerdo a criterios perceptuales que son específicos para esa banda.

Codificación de transformación adaptable (ATC).

Una señal de entrada es segmentada y cada segmento es representado por un conjunto de coeficientes de transformación los cuales son separadamente cuantizados y transmitidos.

Codificadores fuente - vocodificadores.

La calidad sintética del vocodificador fuente de dialogo no es apropiada para aplicación de teléfono comercial. Está diseñado para canales de muy baja velocidad de transmisión de bits , los Vocodificadores usan un modelo de producción de dialogo lineal, cuasi- estacionario

Características de las fuentes de sonido .

El sonido puede ser generado por los sonidos hablados, fricativos o altos , la fuente de sonidos expresados está representada por un generador de pulso periódico , La fuente para sonidos no hablados está representada por un generador de ruido aleatorio, ellos son mutuamente exclusivos.

Caracterización del sistema.

Las resonancias acústicas del tracto vocal modulan los espectros de las fuentes , Diferentes sonidos de dialogo corresponden unicamente a diferentes formas espectrales , los vocodificadores dependen de una descripción paramétrica de las funciones transferencia del tracto vocal .

1. Vocodificador de canal - La señal de dialogo es evaluada a frecuencias específicas
2. Vocodificador LPC (código de predicción lineal) - los coeficientes de predicción lineal que describen la envolvente espectral.
3. Vocodificador de formato - Los valores de frecuencia especificados de mayor resonancia espectral .
4. Vocodificador de autocorrelación - Especifica la función de autocorrelación de corto tiempo de la señal de dialogo
5. Vocodificador de función orthogonal - Especifica un conjunto de funciones ortonormales .

Vocodificadores en el dominio de la frecuencia .

Un codificador único es llamado un vocodificador de canal , en vez de transmitir la señal de teléfono directamente, solo el espectro de cada señal de dialogo es transmitido; 16 valores a lo largo del eje de frecuencia son necesarios.

Cada uno toma 20 ms. y requiere un ancho de banda de $1 / (2 \times 20 \text{ ms.}) = 25 \text{ Hz}$ y el requisito de frecuencia total es (16 x 25) o 400 Hz, lo cual es un-décimo del ancho de banda de la señal de dialogo misma.

Vocodificadores en el dominio del tiempo.

Las muestras de dialogo tendrian que ser espaciadas $1 / (2 \times 4000) = 0.125 \text{ ms.}$, que requirieran 30 muestras para garantizar una buena calidad , entonces el requisito de frecuencia es $30 / (2 \times 0.125 \text{ Ms.}) = 120 \text{ kHz}$. Para transmisión digital el numero de bits por muestra de correlación utilizadas en el vocodificador en dominio del tiempo debería ser casi el-doble-de alto para muestras espectrales en los vocodificadores en el dominio de la frecuencia .

Por lo tanto, los vocodificadores en el dominio del tiempo no son aconsejables aun una de las más exitosas innovaciones en análisis y síntesis de dialogo es la codificación predecible lineal (LPC), que esta basada en análisis de autocorrelación.

Vocodificadores.LPC

Los vocodificadores LPC constituyen un sistema APC en que la predicción residual ha sido remplazada por fuentes de pulso y ruido . Para La banda telefónica , el número de los coeficientes de predicción es 8 , para voz de baja calidad, el número puede ser tan pequeño como 4.

Codificadores- vocodificadores de forma de onda Híbrida .

Un arreglo híbrido de SBC, APC, y LPC está viniendo en moda donde una porción (banda de-frecuencia más baja) de la transmisión es completada por técnicas de forma de onda y una porción (banda de frecuencia superior) por técnicas de vocodificador de voz-excitada .

5.4.3 Complejidad de codificadores .

Una cuenta relativa de puertas lógicas es usada para juzgar la complejidad de los codificadores como sigue:

| Complejidad relativa | Codificador |
|----------------------|--|
| 1 | ADM: modulador delta adaptativo |
| 1 | ADPCM: PCM diferencial adaptativo |
| 5 | SUB-BAND: codificador de subbanda (con filtros CCD) |
| 5 | P-P ADPCM: ADPCM envío predictivo |
| 50 | APC: Codificador predictivo adaptivo |
| 50 | ATC: Codificador adaptivo transformable |
| 50 | ΦV: Vocodificador de fase |
| 50 | VEV: Vocodificador de voz exitado |
| 100 | LPC: Coeficiente linear-predictivo (Vocodificador) |
| 100 | CV: vocodificador de canal |
| 200 | ORTHOG: vocodificador LPC with coeficientes orthogonalizados |
| 500 | FORMANT: vocodificador formante |
| 1000 | ARTICULATORY: Tracto -vocal syntetizador ; síntesis de texto de Ingles impreso |

de estos codificadores, LPC es atractivo debido a su desempeño y grado de complejidad.

5.5 Telefonía Móvil Digital

5.5.1 Voz Digital en el entorno móvil celular .

Desde que la comunicación de voz es el servicio clave en los sistemas móviles celulares, cuando imaginamos los sistemas digitales, tenemos que imaginar una voz digital.

En los sistemas móviles celulares actuales, la transmisión de una voz digital en un entorno de atenuación de multitrayectoria es un trabajo desafiante . Las consideraciones mayores de instrumentar voz digital en sistemas móviles celulares sera discutido posteriormente , junto con una velocidad de transmisión recomendada tentativamente para el sistema móvil celular.

Voz digital en el entorno de radio móvil

1. El criterio para juzgar, una voz buena digital a través de una línea de alambre es empleado en tres esquemas de voz digital existentes.
 - a. En un esquema de modulación delta de paso continuamente variable (CVSD) , la velocidad de transmisión actual es 16 kbps . Esto no es calidad de transmisión de voz de timbrado y es utilizado comúnmente por el aparato militar.
 - b. En un esquema LPC , la velocidad de transmisión presente de 2.4 kbps provee una calidad de voz sintética, pero a una velocidad de 4.8 kbps utilizando cuantificación de vector podemos proveer una voz de calidad de comunicaciones , una velocidad de 16 kbps puede proveer una calidad voz de timbrado. "
 - c. En un esquema de modulación de código de pulsos (PCM) , las velocidades de transmisión presentes de 32 kbps y 64 kbps son utilizado comúnmente; 32 kbps es utilizado por el aparato militar mientras 64 kbps es utilizado comercialmente.
De los tres esquemas, LPC parece más atractivo debido a su velocidad de transmisión baja , sin embargo, LPC es más vulnerable en función de la distorsión para el entorno de atenuación móvil.
2. La voz digital tiene que ser procesada en tiempo real lo que impone restricciones en el tiempo de procesamiento digital , esto afecta adversamente a LPC pero no a CVSD.
3. Cuando se envía una corriente digital (voz) a través de un canal de radio en un entorno de atenuación, en general un esquema LPC necesita más protección de código que el esquema CVSD porque LPC no está instrumentado en una forma de onda continua en el dominio de frecuencia o el dominio del tiempo mientras CVSD está instrumentado en una forma de onda continua en el dominio de tiempo.
4. Debido a que la unidad móvil se está moviendo , a veces rápidamente, a veces lentamente, la inserción de bits de sincronización extra es necesaria en la corriente digital normal.

Consideraciones para una transmisión de voz digital en un sistema móvil celular. Los siguientes factores son significativos.

1. Velocidad de transmisión digital .
 - a. Velocidad de señalización celular presente . El formato de señalización presente está diseñado en la suposición que la unidad móvil se mueve en un promedio de 30 millas/ h y que la velocidad de transmisión es de 10 Kbps , los 21 bits de sincronización (10 bits sincronización y 11 bits de marco) ocurren frente a cada código de palabra de 48 bits para garantizar que los bits no están cayendo fuera de sincronía antes de que la resincronización tome lugar.

b Consideración del esquema LPC.

Si a una velocidad de 4.8 kbps utilizando LPC para una voz de calidad de comunicaciones es aceptado su velocidad es casi la mitad de la velocidad de transmisión presente y a esta velocidad de transmisión una palabra de 48 bits sería aceptable en un entorno de atenuación.

El esquema de resincronización para un receptor móvil debería tener lugar en frente de cada palabra código de 48 bits [(21 bits de sincronización) + (una palabra código de 48 bits) = 69 bits] , el número de bits de sincronización es casi la mitad del número de bits en una palabra código , por lo tanto, la velocidad de transmisión sería aproximadamente (4.8 x 1.5) = 7.2 kbps .

c. Redundancia de transmisión.

La protección de la sincronización en un entorno de radio móvil no es suficiente, si la corriente digital fuera a ocurrir en una atenuación de señal , parcial o todas las palabras código se perderían , para evitar la atenuación se utiliza frecuentemente redundancia de transmisión .

Tomaríamos un esquema de redundancia mínimo; Por ejemplo transmitiríamos los mismos bits de mensaje tres veces y tomaríamos un " voto mayoritario de 2 de 3 " en cada bit para minimizar el deterioro de atenuación de los bits de mensaje .

Para un LPC de 4.8 kbps , una velocidad de transmisión RF de (4.8 kbps x 1.5) = 7.2 kbps es necesaria , * esto es razonable para un canal de 30 kHz para llevar una velocidad de transmisión de 7.2 kbps sobre un medio de atenuación severo , cuando una velocidad de transmisión de RF está dada, el ancho de banda del canal puede ser estrechado con una compensación -potencias transmitidas .

d. Modulación, diversidad, codificación, ARQ, y perturbaciones.

La diversidad y la modulación pueden ayudar al reducir la relación de transmisión RF para voz digital , sin embargo en el esquema ARQ, los esquemas de codificación de capricho y los complicados esquemas de perturbación no pueden ser instrumentados para la transmisión de voz.

Esto es debido a que la voz digital tiene que ser procesada en tiempo real y estos tres esquemas requieren generalmente una cantidad justa de tiempo para procesar , estos esquemas pueden ser utilizados para transmisión de datos.

Relación de error de palabra .

En el entorno de atenuación multirayectoria , la relación de error de bit P_b no es el único parámetro para medición de calidad de voz; La tasa de error de palabra P_w , es también importante y varía con la velocidad del vehículo , sin embargo la información en la tasa de error de palabra para transmisión de voz digital sobre un entorno de radio móvil solamente aparece en dos casos extremos .

Supongamos que conocemos las P_b y P_w requeridas , podemos transformar P_b y P_w a una relación de portadora a ruido C/N requerida , si un esquema de diversidad de dos ramas es aplicado después de un esquema de redundancia de voto de mayoría de 2 de 3 ha sido utilizado, la tasa de bit de error 10^{-3} en un caso de atenuación relativamente lento requiere un nivel C/N de aproximadamente 15 dB . Con el nivel C/N , una relación de error de palabra de 40 bit por palabra es casi 10^{-3} (ver fig. 13.3 a). En general, si la relación de error de palabra es la misma o menor que la relación de bit de error para un C/N dado , el nivel C/N es aceptable , en nuestro caso P_w y P_b son los mismos a $C/N = 15$; Por lo tanto $C/N = 15$ dB está justificada .

Relación entre E_b/N_0 y C/N .

La relación entre la relación de portadora a ruido C/N , la energía por la relación energía por bit para ruido por hertz E_b/N_0 , la relación de transmisión R y el ancho de banda B puede ser expresado como

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b R}{N_0 B} \quad (5.5-1)$$

Cuando el número de niveles C/N aumenta el ancho de banda disminuye, manteniendo E_b/N_0 constante vemos que cuando el ancho de banda disminuye, la relación de portadora a ruido C/N requerida aumenta, previamente calculamos que $C/N = 15$ dB trabaja para un sistema de dos niveles (binario), si la cantidad de niveles aumentara la C/N sería mayor que 15 dB.

Ejemplo 5.1 Si tenemos $E_b/N_0 = 15$ dB para un sistema de dos niveles, R_0 y B_0 son la velocidad de transmisión y el ancho de banda de transmisión respectivamente del sistema de dos niveles, ahora si reducimos el ancho de banda $B_1 = 0.5 B_0$, entonces

$$\left(\frac{C}{N}\right)_1 = (3.16) \frac{R_0}{0.5 B_0} = 2 \left(\frac{C}{N}\right)_0$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_1 = +3 \text{ dB}$$

Esto significa que la potencia aumenta por 3 dB. Si la potencia transmitida era 50 W, ahora es de 100 W.

5.5.2 Evaluación de calidad de voz digital

En general, hay dos métodos evaluar la calidad de voz digital.

1. Opinión de los oyentes.

Use un codificador de voz de 16 kbps y un codificador de voz de 8 kbps en un sistema digital especificado, entonces encontramos las dos relaciones de portadora a interferencia C/I requeridas basadas en la opinión de los oyentes en un entorno de atenuación de Rayleigh, entonces comparemos la misma calidad de voz con la de un sistema de FM analógico con $C/I \geq 18$ dB.

Diagnostico de prueba de rima (DRT).

La calidad de voz de un formato digital es frecuentemente probado por DRT, utilizando el marcador DRT de 90 como un criterio, por encima de 90 significa aceptable para calidad voz sintética y por debajo de 90 significa inaceptables. Entonces, el bit de error debería ser menos que 10^{-3} para un LPC de 2400 bps en un entorno de ruido gaussiano, la evaluación de voz para un LPC de 4.8 kbps no aparece en la literatura, La calidad de voz en CVSD basado en el mismo criterio de DRT requiere una relación de bit de error de solamente 4 por ciento o menos, el DRT no está diseñado para prueba de calidad voz de timbrado.

5.6 Sistemas Celulares Digitales Prácticos

5.6.1 Alta capacidad FSK en FDMA

El uso de acceso múltiple de división de frecuencia (FDMA) con el ancho de banda de canal actual de 30 kHz es un enfoque convencional, La modulación de alta capacidad FSK utilizada en FDMA esta basada en la relación de voz digital, de la calidad de transmisión de vocodificadores (ver Sec. 5.5.1) podemos ver que una voz digital tiene que tener unos 16 kbps de velocidad de codificación para producir calidad de teléfono completa, aunque la calidad de voz de unos 4.8 kbps LPC con vector de cuantificación puede ser aceptable para una calidad de voz de comunicaciones (ver Sec. 5.5).

Ahora tenemos que determinar la C/I que proveerá la calidad óptima dentro de un sistema digital dado, Swerup y Uddenfeldt compararon una modulación digital coherente de banda estrecha con MSK gaussiano para un sistema de FM analógico, dos codificadores de voz de 16 kbps fueron utilizados.

Los códigos predichos lineales excitados residuales y los códigos de subbanda fueron probados, el desempeño de la unidad digital puede ser reducido en 5 dB para obtener el mismo desempeño que una unidad analógica, esta ventaja de reducir 5 dB significa una gran área de cobertura y una distancia cercana de reuso de frecuencia para que cada célula pueda ser servida en un sistema celular, esto es por turno, un ejemplo de alto uso de eficiencia espectral (descrito en la Sec13.4). Considera los siguientes cálculos.

En un sistema de célula omnidireccional, supongamos que $C/I = 13$ dB por ejemplo

$$\frac{C}{I} = \frac{q^4}{6} > 10^{1.3} = 20$$

Resolviendo para q y utilizando la ecuación (2.4.5), obtenemos

$$q = 3.31 = 3K$$

$$K \approx 4 \quad (\text{patrón reuso de frecuencia})$$

En este caso el número total de canales es 333; Entonces

$$m = \frac{333}{4} = 83 \text{ canales/célula}$$

Lo cual es mayor que los 47 canales por célula para $C/I \geq 18$ dB.

2. En células de dirección 120° , también comparamos dos conjuntos de niveles C/I , como muestra la Fig. 6.6b, hay solamente dos células de interferencia, entonces podemos estimar la distancia entre la unidad móvil y los dos sitios interfiriendo siendo $D = 0.5R$, como se menciona en la Sec. 6.5. 1.

a. $C/I \geq 18$ dB

$$\frac{(q + 0.5)^4}{2} \geq 10^{1.8} = 63$$

o $q = 2.85$

El número de células de reuso de frecuencia

$$K = \frac{q^2}{3} = 2.71 \sim 3$$

$$Q2 \ 2.71 \ 3 \ 3$$

el número de sectores es $(3 \times 3) = 9$; entonces

$$m = \frac{333}{9} = 37 \text{ canales/sector}$$

b. $C/I \geq 13$ dB

$$\frac{(q + 0.5)^4}{2} \geq 10^{1.3} = 20$$

o $q = 2$

El número de células de reuso de frecuencia

$$K = \frac{q^2}{3} = \frac{4}{3} = 1.3 \sim 2$$

El número de sectores = $(2 \times 3) = 6$; entonces

$$m = \frac{333}{6} = 55.5 \text{ canales/sector}$$

En células direccionales de 60° (ver Fig. 6.6 c y sección 6.5. 1)

a. $C/I \geq 18 \text{ dB}$

$$\frac{(1 \pm 0.7)^4}{1} \geq 10^{1.8} = 63$$

o $q = 2.12$

$$K = \frac{q^2}{3} = 1.5 \sim 2$$

$$m = \frac{333}{2 \times 6} = 27.75 \text{ canales/sector}$$

b. $C/I \geq 13 \text{ dB}$

$$\frac{(1 \pm 0.7)^4}{1} \geq 10^{1.3} = 20$$

o $q = 2.11 - 0.7 = 1.41$

$$K = \frac{q^2}{3} = 0.67 \sim 1$$

$$m = \frac{333}{6} = 55.5 \text{ canales/sector}$$

Aparentemente, la eficiencia del espectro está aumentado al utilizar tecnología digital.

Discusión.

El análisis precedente esta basado en una situación ideal , necesita ser verificado por medición en un sistema celular real , en el futuro podremos alcanzar un sistema digital que pueda estrechar el canal ancho de banda y aumentar la velocidad de transmisión.

El éxito de tal sistema estaría demostrado si la recepción en la terminal receptora fuera la misma que la que se lograra si el medio fuera no atenuado , los esquemas de modulación , diversidad, redundancia de codificación y ARQ pueden ayudar para lograr este objetivo.

La señal puede ser diseñada utilizando 4,8, o 16 niveles MFSK O MPSK , por supuesto a un mayor número de niveles más estrecho el ancho de banda de canal. Sin embargo, el aumento en la potencia transmitida (o la reducción en rango) es el factor clave.

5.6. 2 Sistema TDMA

El uso de acceso múltiple de división del tiempo (TDMA) puede ser otro enfoque para incrementar la eficiencia del espectro de canal , tiene también el potencial para reducir el costo tanto del local celular como del equipo de terminal móvil , el grueso equipo de radio analógico puede ser remplazado por circuitos integrados de procesamiento de señal digital de muy grande escala (VLSI) , esto aplica al uso de equipo digital en cualquier sistema; TDMA no es la excepción.

Además, TDMA reemplazará el filtro de duplex analógico con un interruptor de tiempo, un receptor cero IF puede ser utilizado, esto es, allí puede estar la conversión directa sin superheterodino, el número de transceptores de radio puede ser reducido y el tamaño de local celular puede ser mucho más pequeño.

Supongamos que un local celular en un sistema de TDMA tiene un único transceptor y una interfaz de red simple, esta es una característica muy atractiva, el inconveniente principal de TDMA es el requisito de exactitud de reloj.

Un reloj inexacto proporciona tiempo intranquilo debido a la inestabilidad del sintetizador de frecuencia en el transmisor y el reloj en el receptor, La demora de tiempo variable resultante del cambio de posición del vehículo y de la FM aleatoria puede afectar la sincronización y rastreo de los flujos de bits.

El efecto más adverso del problema de sincronización es la dispersión de retardo mencionado en el capítulo 1, en la transmisión TDMA ocurre severa dispersión de tiempo, en áreas urbanas de los Estados Unidos la dispersión de retardo principal puede ser 3 μ s entonces la velocidad de transmisión tiene que estar limitado a

$$R_b \leq \frac{1}{2\pi \times 3 \times 10^{-6}} = 50 \text{ khz}$$

Utilizando el esquema de diversidad, la velocidad de transmisión puede ser aumentada si el mismo BER es supuesto, otro esquema efectivo es un Ecuilizador (Igualador) de retroalimentación de decisión el cual adaptativamente suma las multitrayectorias de modo que el espaciamiento de retardo de tiempo en el receptor es reducido y la suma de las multitrayectorias es en forma de diversidad.

El ecualizador adaptativo puede trabajar para TDMA de banda angosta también, así el TDMA no está basado en la tecnología de dispersión de espectro de banda ancha, cuando el TDMA es inmune a la interferencia en el sistema celular (un usuario es designado en una ranura de tiempo) y permite un procedimiento simple de transferencia (handoff) lo cual puede ser apropiado para sistemas de microcelulas.

Las microcelulas están definidas débilmente como células cuyo radio es menor a 1 milla, sin embargo en un área de tráfico pesado el desempeño de TDMA puede degradarse más rápidamente que el desempeño de FDMA, la simulación puede ser usada para decidir que método de transmisión es el mejor.

Por razones económicas y espaciales, un TDMA de 300 khz de ancho de banda portando 300 kbps puede proveer 10 canales de voz, como una estación base de bajo costo con un transceptor de radio puede hacer que el sistema TDMA parezca muy atractivo, esta posibilidad es considerablemente seguida, el aspecto crítico es construir la decisión adaptable de igualador de retroalimentación adecuadamente.

Desde que el mismo sistema digital trabaja en diferentes áreas lo que en resultará en diferentes niveles de desempeño, deberíamos ser conscientes que el mismo sistema puede probar bien en un área de tráfico ligero pero pobremente en un área de tráfico pesado.

5.6.3 Dispersión de espectro.

Los Usos de un esquema de saltos de frecuencia en FDMA y un esquema de secuencia directa en TDMA está descrito como sigue.

Acceso múltiple de división de frecuencia (FDMA) .Hay muchos sistemas de dispersión de espectro propuestos para uso en radios móviles, Cooper y Nettleton propusieron un sistema de saltos de frecuencia, en cada salto un sistema modulado DPSK binario con codificación de corrección de error es instrumentado. Comparando las eficiencias espectrales relativas de este sistema propuesto con el sistema celular de 30 khz actual, vemos que son casi los mismos.

Goodman Propuso utilizar Desplazamiento de frecuencia multinivel (MFSK) más saltos de frecuencia para aterrizar radios móviles., sus resultados teóricos basados en suposiciones seguras, muestran una mejor eficiencia espectral .

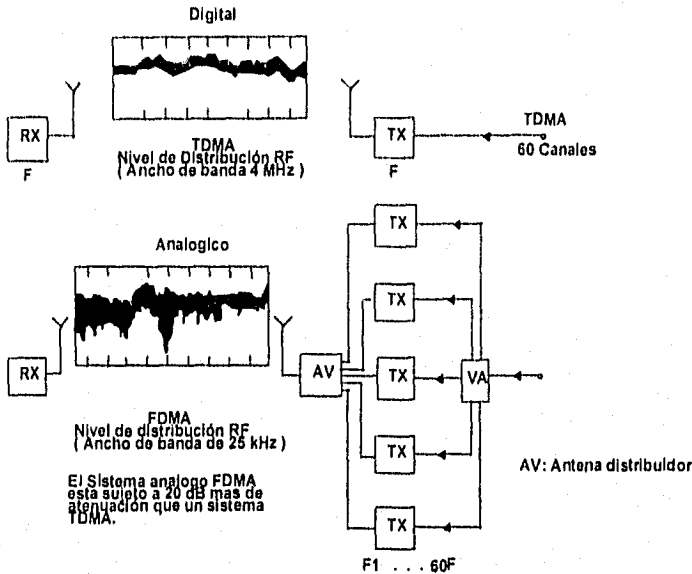


Figura 5.18 Radio móvil TDMA Digital y sistema TDMA analógico.

Acceso múltiple de división del tiempo (TDMA).

Un Sistema TDMA digital ha sido propuesto por SEL en Alemania, el cual utiliza un ancho de banda de 4 MHz y solamente una frecuencia de radio fija para todos los suscriptores en cada célula.

Por lo tanto es un sistema de dispersión de espectro , en un sistema de banda ancha cada canal no necesita sintonizar a una frecuencia particular , todos los canales comparten el mismo ancho de banda y entonces tienen el mismo tipo de radio.

Método de operación. La señal de cada canal en TDMA está codificado diferentemente para proveer identificación y separación de canal adecuada , la diferencia entre un sistema TDMA digital y un sistema de FDMA analógico es mostrado en la Fig. 5.18.

En un sistema TDMA digital cada canal tiene 32 patrones de código (5 bits) y un bit de signo; entonces un total de 6 bits son transmitidos.

En cada célula, 60 canales TDMA están disponibles en tres grupos de canales , el mérito de este sistema está mostrado en la Fig. 5.19. cada estación base cubre tres sectores de célula en sucesión por medio de un patrón de antena electrónica de rastreo y permanezca , veinte canales son asignados a cada sector , una vez que un sector de célula ha recibido sus 20 canales (ranuras de tiempo), el patrón de antena de la estación baja es cambiado al siguiente sector.

Los 20 canales por sector es un número arbitrario , cualquier número de canales pueden ser usado de entre el total de 60 canales.

La sincronización y la precisión de reloj tienen que ser considerados, este esquema TDMA simplifica la estación base y hay que esperar menos interferencia de canal en este sistema, sin embargo hay un alto riesgo de desarrollar un sistema de dispersión de espectro.

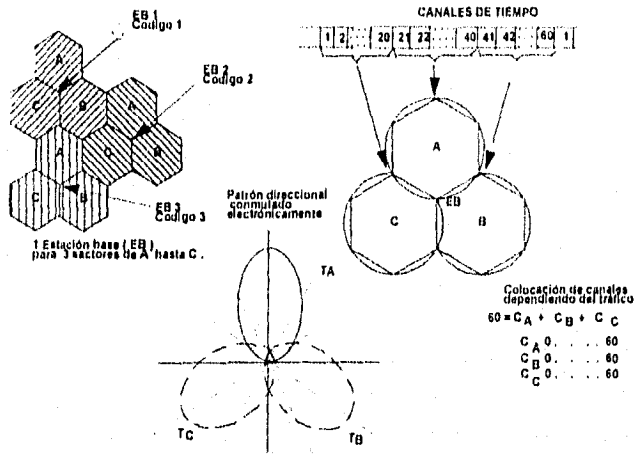


Figura 5.19 Estructura celular de banda ancha en sistemas TDMA.

5.6.4 Evaluación de un sistema celular digital.

El desempeño un sistema celular digital debería ser evaluado por una prueba subjetiva, la C/I es deducida de la prueba subjetiva para un desempeño dado, también el ancho de banda de canal de FDMA o el equivalente ancho de banda de TDMA debería ser incluido en la evaluación del desempeño del sistema, entonces una prueba subjetiva standard en toda la nación debería ser establecida para completar esta tarea.

CONCLUSIONES

El gran crecimiento que ha estado experimentando la industria celular durante los últimos años, así como las nuevas demandas en el desarrollo de tecnologías y servicios para los clientes han llevado a las compañías fabricantes de equipo celular a desarrollar mejores técnicas.

Debido a que México se encuentra en una etapa de gran auge en el desarrollo comercial de los servicios de telefonía celular, debido principalmente al rápido crecimiento poblacional, lo cual ocasiona grandes desplazamientos para arribar de un lugar a otro y la necesidad de mantenerse siempre en contacto con nuestra familia, trabajo, amigos, etc.; lo cual se hace necesario contar con redes de comunicación móvil celular que proporcionen mayores ventajas, tanto para los clientes como para los prestadores de servicio.

Considerando lo anterior, se tomó la decisión de desarrollar un trabajo donde se evaluara la técnica para proporcionar este tipo de servicio, así como las cuales son las diferentes tendencias para mejorar los servicios que actualmente se proporcionan.

Entonces, por medio del presente trabajo se pretende mostrar los beneficios de utilizar una red celular digital, comparándola contra el uso de su contraparte analógica.

Los beneficios se perciben tanto para los usuarios, como para los prestadores del servicio. Beneficios que van desde menores costos, menor requerimiento de facilidades (terrenos, enlaces, potencia, etc.), facilidad de operación, reducción de fraudes, aumento en la confianza de los clientes, equipos de mayor potencia y facilidad de operación.

Para poder analizar las ventajas de un sistema sobre el otro se inició con un repaso de los conceptos teóricos de las comunicaciones inalámbricas en sus modalidades analógica y digital. Al analizar estos elementos básicos de las comunicaciones, evaluando desde el punto de vista teórico ambos sistemas se identifica que los sistemas digitales presentan mayor confiabilidad, capacidad y facilidad de manejo que los sistemas analógicos.

Una vez conocidos los elementos de la telefonía inalámbrica, iniciamos con los conceptos básicos de la telefonía celular donde se muestran los elementos que componen una red telefónica celular, sus interfases, niveles de calidad de servicio, etc., que nos permita identificar la forma de trabajo de estos sistemas.

Asimismo, se presenta un panorama de la forma como se trabaja en la realización de los planes de trabajo para los servicios telefónicos, mostrando los planes de numeración, señalización, sincronización y conmutación para el servicio celular, aquí se podrá analizar el proceso de generación de las llamadas de/para una central celular desde el punto de vista conmutación y señalización, lo que muestra la gran cantidad de etapas que se deben desarrollar para completar una llamada.

Posteriormente, aunque en una forma muy superficial se presentan los elementos elementales para poder diseñar una red celular, lo cual permitiera al que analice este trabajo tener las herramientas básicas para realizar un diseño de una red celular.

Aquellos interesados en diseño de redes celulares encontrarán esta información de gran interés, aunque solo contenga los elementos básicos, pero los cuales son de gran valor para iniciar en el manejo de los conceptos principales para diseñar una red celular.

Finalmente, se analizaron los beneficios que representa el migrar de una red analógica a una digital, de tal manera que tanto los proveedores de servicio como los usuarios pueden verse beneficiados por tal evento.

Entonces, se desea que este material sea de ayuda para todos aquellos interesados en iniciarse en el conocimiento de la telefonía celular, así como mostrar los beneficios del uso de tecnología celular digital.

APENDICE 1

(ERLANG B)

A , erlangs
B

| N | 1.0% | 1.2% | 1.5% | 2% | 3% | 5% | 7% | 10% | 15% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 1 | 0.0101 | 0.0121 | 0.0152 | 0.0204 | 0.0309 | 0.0526 | 0.0753 | 0.111 | 0.176 | 0.25 | 0.429 | 0.667 | 1 |
| 2 | 0.153 | 0.168 | 0.19 | 0.223 | 0.282 | 0.381 | 0.47 | 0.595 | 0.796 | 1 | 1.45 | 2 | 2.73 |
| 3 | 0.455 | 0.489 | 0.535 | 0.602 | 0.715 | 0.899 | 1.06 | 1.27 | 1.6 | 1.93 | 2.63 | 3.48 | 4.99 |
| 4 | 0.969 | 0.922 | 0.992 | 1.09 | 1.26 | 1.52 | 1.75 | 2.05 | 2.5 | 2.95 | 3.89 | 5.02 | 6.5 |
| 5 | 1.36 | 1.43 | 1.52 | 1.66 | 1.88 | 2.22 | 2.5 | 2.88 | 3.45 | 4.01 | 5.19 | 6.6 | 8.44 |
| 6 | 1.91 | 2 | 2.11 | 2.28 | 2.54 | 2.96 | 3.3 | 3.76 | 4.44 | 5.11 | 6.51 | 8.19 | 10.4 |
| 7 | 2.5 | 2.6 | 2.74 | 2.94 | 3.25 | 3.74 | 4.14 | 4.67 | 5.46 | 6.23 | 7.86 | 9.8 | 12.4 |
| 8 | 3.13 | 3.25 | 3.4 | 3.63 | 3.99 | 4.54 | 5 | 5.6 | 6.5 | 7.37 | 9.21 | 11.4 | 14.3 |
| 9 | 3.78 | 3.92 | 4.09 | 4.34 | 4.75 | 5.37 | 5.88 | 6.55 | 7.55 | 8.52 | 10.6 | 13 | 16.3 |
| 10 | 4.46 | 4.61 | 4.81 | 5.08 | 5.53 | 6.22 | 6.78 | 7.51 | 8.62 | 9.68 | 12 | 14.7 | 18.3 |
| 11 | 5.16 | 5.32 | 5.54 | 5.84 | 6.33 | 7.08 | 7.69 | 8.49 | 9.69 | 10.9 | 13.3 | 16.3 | 20.3 |
| 12 | 5.88 | 6.05 | 6.29 | 6.61 | 7.14 | 7.95 | 8.61 | 9.47 | 10.8 | 12 | 14.7 | 18 | 22.2 |
| 13 | 6.61 | 6.8 | 7.05 | 7.4 | 7.97 | 8.83 | 9.54 | 10.5 | 11.9 | 13.2 | 16.1 | 19.6 | 24.2 |
| 14 | 7.35 | 7.56 | 7.82 | 8.2 | 8.8 | 9.73 | 10.5 | 11.5 | 13 | 14.4 | 17.5 | 21.2 | 26.2 |
| 15 | 8.11 | 8.33 | 8.61 | 9.01 | 9.65 | 10.6 | 11.4 | 12.5 | 14.1 | 15.6 | 18.9 | 22.9 | 28.2 |
| 16 | 8.88 | 9.11 | 9.41 | 9.83 | 10.5 | 11.5 | 12.4 | 13.5 | 15.2 | 16.8 | 20.3 | 24.5 | 30.2 |
| 17 | 9.65 | 9.89 | 10.2 | 10.7 | 11.4 | 12.5 | 13.4 | 14.5 | 16.3 | 18 | 21.7 | 26.2 | 32.2 |
| 18 | 10.4 | 10.7 | 11 | 11.5 | 12.2 | 13.4 | 14.3 | 15.5 | 17.4 | 19.2 | 23.1 | 27.8 | 34.2 |
| 19 | 11.2 | 11.5 | 11.8 | 12.3 | 13.1 | 14.3 | 15.3 | 16.6 | 18.5 | 20.4 | 24.5 | 29.5 | 36.2 |
| 20 | 12 | 12.3 | 12.7 | 13.2 | 14 | 15.2 | 16.3 | 17.6 | 19.6 | 21.6 | 25.9 | 31.2 | 38.2 |
| 21 | 12.8 | 13.1 | 13.5 | 14 | 14.9 | 16.2 | 17.3 | 18.7 | 20.8 | 22.8 | 27.3 | 32.8 | 40.2 |
| 22 | 13.7 | 14 | 14.3 | 14.9 | 15.8 | 17.1 | 18.2 | 19.7 | 21.9 | 24.1 | 28.7 | 34.5 | 42.1 |
| 23 | 14.5 | 14.8 | 15.2 | 15.8 | 16.7 | 18.1 | 19.2 | 20.7 | 23 | 25.3 | 30.1 | 36.1 | 44.1 |
| 24 | 15.3 | 15.6 | 16 | 16.6 | 17.6 | 19 | 20.2 | 21.8 | 24.2 | 26.5 | 31.6 | 37.8 | 46.1 |
| 25 | 16.1 | 16.5 | 16.9 | 17.5 | 18.5 | 20 | 21.2 | 22.8 | 25.3 | 27.7 | 33 | 39.4 | 48.1 |
| 26 | 17 | 17.3 | 17.8 | 18.4 | 19.4 | 20.9 | 22.2 | 23.9 | 26.4 | 28.9 | 34.4 | 41.1 | 50.1 |
| 27 | 17.8 | 18.2 | 18.6 | 19.3 | 20.3 | 21.9 | 23.2 | 24.9 | 27.6 | 30.2 | 35.8 | 42.8 | 52.1 |
| 28 | 18.6 | 19 | 19.5 | 20.2 | 21.2 | 22.9 | 24.2 | 26 | 28.7 | 31.4 | 37.2 | 44.4 | 54.1 |
| 29 | 19.5 | 19.9 | 20.4 | 21 | 22.1 | 23.8 | 25.2 | 27.1 | 29.9 | 32.6 | 38.6 | 46.1 | 56.1 |
| 30 | 20.3 | 20.7 | 21.20 | 21.9 | 23.1 | 24.8 | 26.2 | 28.1 | 31 | 33.8 | 40 | 47.7 | 58.1 |
| 31 | 21.2 | 21.6 | 22.1 | 22.8 | 24 | 25.8 | 27.2 | 29.2 | 32.1 | 35.1 | 41.5 | 49.4 | 60.1 |
| 32 | 22 | 22.5 | 23.00 | 23.7 | 24.9 | 26.7 | 28.2 | 30.2 | 33.3 | 36.3 | 42.9 | 51.1 | 62.1 |
| 33 | 22.9 | 23.3 | 23.9 | 24.6 | 25.8 | 27.7 | 29.3 | 31.3 | 34.4 | 37.5 | 44.3 | 52.7 | 64.1 |
| 34 | 23.8 | 24.2 | 24.8 | 25.5 | 26.8 | 28.7 | 30.3 | 32.4 | 35.6 | 38.8 | 45.7 | 54.4 | 66.1 |
| 35 | 24.6 | 25.1 | 25.6 | 26.4 | 27.7 | 29.7 | 31.3 | 33.4 | 36.7 | 40 | 47.1 | 56 | 68.1 |
| 36 | 25.5 | 26 | 26.5 | 27.3 | 28.6 | 30.7 | 32.3 | 34.5 | 37.9 | 41.2 | 48.6 | 57.7 | 70.1 |
| 37 | 26.4 | 26.8 | 27.4 | 28.3 | 29.6 | 31.6 | 33.3 | 35.6 | 39 | 42.4 | 50 | 59.4 | 72.1 |
| 38 | 27.3 | 27.7 | 28.3 | 29.2 | 30.5 | 32.6 | 34.4 | 36.6 | 40.2 | 43.7 | 51.4 | 61 | 74.1 |
| 39 | 28.1 | 28.6 | 29.2 | 30.1 | 31.5 | 33.6 | 35.4 | 37.7 | 41.3 | 44.9 | 52.8 | 62.7 | 76.1 |
| 40 | 29 | 29.5 | 30.1 | 31 | 32.4 | 34.6 | 36.4 | 38.8 | 42.5 | 46.1 | 54.2 | 64.4 | 78.1 |
| 41 | 29.9 | 30.4 | 31 | 31.9 | 33.4 | 35.6 | 37.4 | 39.9 | 43.6 | 47.4 | 55.7 | 66 | 80.1 |
| 42 | 30.8 | 31.3 | 31.9 | 32.8 | 34.3 | 36.6 | 38.4 | 40.9 | 44.8 | 48.6 | 57.1 | 67.7 | 82.1 |
| 43 | 31.7 | 32.2 | 32.8 | 33.8 | 35.3 | 37.6 | 39.5 | 42 | 45.9 | 49.9 | 58.5 | 69.3 | 84.1 |
| 44 | 32.5 | 33.1 | 33.7 | 34.7 | 36.2 | 38.6 | 40.5 | 43.1 | 47.1 | 51.1 | 59.9 | 71 | 86.1 |
| 45 | 33.4 | 34 | 34.6 | 35.6 | 37.2 | 39.6 | 41.5 | 44.2 | 48.2 | 52.3 | 61.3 | 72.7 | 88.1 |
| 46 | 34.3 | 34.9 | 35.6 | 36.5 | 38.1 | 40.5 | 42.6 | 45.2 | 49.4 | 53.6 | 62.8 | 74.3 | 90.1 |
| 47 | 35.2 | 35.8 | 36.5 | 37.5 | 39.1 | 41.5 | 43.6 | 46.3 | 50.8 | 54.8 | 64.2 | 76 | 92.1 |
| 48 | 36.1 | 36.7 | 37.4 | 38.4 | 40 | 42.5 | 44.6 | 47.4 | 51.7 | 56 | 65.6 | 77.7 | 94.1 |
| 49 | 37 | 37.6 | 38.3 | 39.3 | 41 | 43.5 | 45.7 | 48.5 | 52.9 | 57.3 | 67 | 79.3 | 96.1 |
| 50 | 37.9 | 38.5 | 39.2 | 40.3 | 41.9 | 44.5 | 46.7 | 49.6 | 54 | 58.5 | 68.5 | 81 | 98.1 |

APENDICE 1

(ERLANG B)

A , erlangs

B

| N | 1.0% | 1.2% | 1.5% | 2% | 3% | 5% | 7% | 10% | 15% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 51 | 38.8 | 39.4 | 40.1 | 41.2 | 42.9 | 45.5 | 47.7 | 50.6 | 55.2 | 59.7 | 69.9 | 82.7 | 100.1 |
| 52 | 39.7 | 40.3 | 41 | 42.1 | 43.9 | 46.5 | 48.8 | 51.7 | 56.3 | 61 | 71.3 | 84.3 | 102.1 |
| 53 | 40.6 | 41.2 | 42 | 43.1 | 44.8 | 47.5 | 49.8 | 52.8 | 57.5 | 62.2 | 72.7 | 86 | 104.1 |
| 54 | 41.5 | 42.1 | 42.9 | 44 | 45.8 | 48.5 | 50.8 | 53.9 | 58.7 | 63.5 | 74.2 | 87.5 | 106.1 |
| 55 | 42.4 | 43 | 43.8 | 44.9 | 46.7 | 49.5 | 51.9 | 55 | 59.8 | 64.7 | 75.6 | 89.3 | 108.1 |
| 56 | 43.3 | 43.9 | 44.7 | 45.9 | 47.7 | 50.5 | 52.9 | 56.1 | 61 | 65.9 | 77 | 91 | 110.1 |
| 57 | 44.2 | 44.8 | 45.7 | 46.8 | 48.7 | 51.5 | 53.9 | 57.1 | 62.1 | 67.2 | 78.4 | 92.6 | 112.1 |
| 58 | 45.1 | 45.8 | 46.6 | 47.8 | 49.6 | 52.6 | 55 | 58.2 | 63.3 | 68.4 | 79.8 | 94.3 | 114.1 |
| 59 | 46 | 46.7 | 47.5 | 48.7 | 50.6 | 53.6 | 56 | 59.3 | 64.5 | 69.7 | 81.3 | 96 | 116.1 |
| 60 | 46.9 | 47.6 | 48.4 | 49.6 | 51.6 | 54.6 | 57.1 | 60.4 | 65.6 | 70.9 | 82.7 | 97.6 | 118.1 |
| 61 | 47.9 | 48.5 | 49.4 | 50.6 | 52.5 | 55.6 | 58.1 | 61.5 | 66.8 | 72.1 | 84.1 | 99.3 | 120.1 |
| 62 | 48.8 | 49.4 | 50.3 | 51.5 | 53.5 | 56.6 | 59.1 | 62.6 | 68 | 73.4 | 85.5 | 101 | 122.1 |
| 63 | 49.7 | 50.4 | 51.2 | 52.5 | 54.5 | 57.6 | 60.2 | 63.7 | 69.1 | 74.6 | 87 | 102.6 | 124.1 |
| 64 | 50.6 | 51.3 | 52.2 | 53.4 | 55.4 | 58.6 | 61.2 | 64.8 | 70.3 | 75.9 | 88.4 | 104.3 | 126.1 |
| 65 | 51.5 | 52.2 | 53.1 | 54.4 | 56.4 | 59.6 | 62.3 | 65.8 | 71.4 | 77.1 | 89.8 | 106 | 128.1 |
| 66 | 52.4 | 53.1 | 54 | 55.3 | 57.4 | 60.6 | 63.3 | 66.9 | 72.6 | 78.3 | 91.2 | 107.6 | 130.1 |
| 67 | 53.4 | 54.1 | 55 | 56.3 | 58.4 | 61.6 | 64.4 | 68 | 73.8 | 79.6 | 92.7 | 109.3 | 132.1 |
| 68 | 54.3 | 55 | 55.9 | 57.2 | 59.3 | 62.6 | 65.4 | 69.1 | 74.9 | 80.8 | 94.1 | 111 | 134.1 |
| 69 | 55.2 | 55.9 | 56.9 | 58.2 | 60.3 | 63.7 | 66.4 | 70.2 | 76.1 | 82.1 | 95.5 | 112.6 | 136.1 |
| 70 | 56.1 | 56.8 | 57.8 | 59.1 | 61.3 | 64.7 | 67.5 | 71.3 | 77.3 | 83.3 | 96.9 | 114.3 | 138.1 |
| 71 | 57 | 57.8 | 58.7 | 60.1 | 62.3 | 65.7 | 68.5 | 72.4 | 78.4 | 84.6 | 98.4 | 115.9 | 140.1 |
| 72 | 58 | 58.7 | 59.7 | 61 | 63.2 | 66.7 | 69.6 | 73.5 | 79.6 | 85.8 | 99.8 | 117.6 | 142.1 |
| 73 | 58.9 | 59.6 | 60.6 | 62 | 64.2 | 67.7 | 70.6 | 74.6 | 80.8 | 87 | 101.2 | 119.3 | 144.1 |
| 74 | 59.8 | 60.6 | 61.6 | 62.9 | 65.2 | 68.7 | 71.7 | 75.6 | 81.9 | 88.3 | 102.7 | 120.9 | 146.1 |
| 75 | 60.7 | 61.5 | 62.5 | 63.9 | 66.2 | 69.7 | 72.7 | 76.7 | 83.1 | 89.5 | 104.1 | 122.6 | 148 |
| 76 | 61.7 | 62.4 | 63.4 | 64.9 | 67.2 | 70.8 | 73.8 | 77.8 | 84.2 | 90.8 | 105.5 | 124.3 | 150 |
| 77 | 62.6 | 63.4 | 64.4 | 65.8 | 68.1 | 71.8 | 74.8 | 78.9 | 85.4 | 92 | 106.9 | 125.9 | 152 |
| 78 | 63.5 | 64.3 | 65.3 | 66.8 | 69.1 | 72.8 | 75.9 | 80 | 86.6 | 93.3 | 108.4 | 127.6 | 154 |
| 79 | 64.4 | 65.2 | 66.3 | 67.7 | 70.1 | 73.8 | 76.9 | 81.1 | 87.7 | 94.5 | 109.8 | 129.3 | 156 |
| 80 | 65.4 | 66.2 | 67.2 | 68.7 | 71.1 | 74.8 | 78 | 82.2 | 88.9 | 95.7 | 111.2 | 130.9 | 158 |
| 81 | 66.3 | 67.1 | 68.2 | 69.6 | 72.1 | 75.8 | 79 | 83.3 | 90.1 | 97 | 112.6 | 132.6 | 160 |
| 82 | 67.2 | 68 | 69.1 | 70.6 | 73 | 76.9 | 80.1 | 84.4 | 91.2 | 98.2 | 114.1 | 134.3 | 162 |
| 83 | 68.2 | 69 | 70.1 | 71.6 | 74 | 77.9 | 81.1 | 85.5 | 92.4 | 99.5 | 115.5 | 135.9 | 164 |
| 84 | 69.1 | 69.9 | 71 | 72.5 | 75 | 78.9 | 82.2 | 86.6 | 93.6 | 100.7 | 116.9 | 137.6 | 168 |
| 85 | 70 | 70.9 | 71.9 | 73.5 | 76 | 79.9 | 83.2 | 87.7 | 94.7 | 102 | 118.3 | 139.3 | 168 |
| 86 | 70.9 | 71.8 | 72.9 | 74.5 | 77 | 80.9 | 84.3 | 88.8 | 95.9 | 103.2 | 119.8 | 140.9 | 170 |
| 87 | 71.9 | 72.7 | 73.8 | 75.4 | 78 | 82 | 85.3 | 89.9 | 97.1 | 104.5 | 121.2 | 142.6 | 172 |
| 88 | 72.8 | 73.7 | 74.8 | 76.4 | 78.9 | 83 | 86.4 | 91 | 98.2 | 105.7 | 122.6 | 144.3 | 174 |
| 89 | 73.7 | 74.6 | 75.7 | 77.3 | 79.9 | 84 | 87.4 | 92.1 | 99.4 | 106.9 | 124 | 145.9 | 176 |
| 90 | 74.7 | 75.6 | 76.7 | 78.3 | 80.9 | 85 | 88.5 | 93.1 | 100.6 | 108.2 | 125.5 | 147.6 | 178 |
| 91 | 75.6 | 76.5 | 77.6 | 79.3 | 81.9 | 86 | 89.5 | 94.2 | 101.7 | 109.4 | 126.9 | 149.3 | 180 |
| 92 | 76.6 | 77.4 | 78.6 | 80.2 | 82.9 | 87.1 | 90.6 | 95.3 | 102.9 | 110.7 | 128.3 | 150.9 | 182 |
| 93 | 77.5 | 78.4 | 79.6 | 81.2 | 83.9 | 88.1 | 91.6 | 96.4 | 104.1 | 111.9 | 129.7 | 152.8 | 184 |
| 94 | 78.4 | 79.3 | 80.5 | 82.2 | 84.9 | 89.1 | 92.7 | 97.5 | 105.3 | 113.2 | 131.2 | 154.3 | 186 |
| 95 | 79.4 | 80.3 | 81.5 | 83.1 | 85.8 | 90.1 | 93.7 | 98.6 | 106.4 | 114.4 | 132.6 | 155.9 | 188 |
| 96 | 80.3 | 81.2 | 82.4 | 84.1 | 86.8 | 91.1 | 94.8 | 99.7 | 107.6 | 115.7 | 134 | 157.6 | 190 |
| 97 | 81.2 | 82.2 | 83.4 | 85.1 | 87.8 | 92.2 | 95.8 | 100.8 | 108.8 | 118.9 | 135.5 | 159.3 | 192 |
| 98 | 82.2 | 83.1 | 84.3 | 86 | 88.8 | 93.2 | 96.9 | 101.9 | 109.9 | 118.2 | 136.9 | 160.9 | 194 |
| 99 | 83.1 | 84.1 | 85.3 | 87 | 89.8 | 94.2 | 97.9 | 103 | 111.1 | 119.4 | 138.3 | 162.6 | 196 |
| 100 | 84.1 | 85 | 86.2 | 88 | 90.8 | 95.2 | 99 | 104.1 | 112.3 | 120.6 | 139.7 | 164.3 | 198 |

APENDICE 1

(ERLANG B)

A , arlangas
B

| N | 1.0% | 1.2% | 1.5% | 2% | 3% | 5% | 7% | 10% | 15% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 102 | 85.9 | 86.9 | 88.1 | 89.9 | 92.8 | 97.3 | 101.1 | 106.3 | 114.6 | 123.1 | 142.6 | 167.6 | 202 |
| 104 | 87.8 | 88.8 | 90.1 | 91.9 | 94.8 | 99.3 | 103.2 | 108.5 | 116.9 | 125.6 | 145.4 | 170.9 | 206 |
| 106 | 89.7 | 90.7 | 92 | 93.8 | 96.7 | 101.4 | 105.3 | 110.7 | 119.3 | 128.1 | 148.3 | 174.2 | 210 |
| 108 | 91.6 | 92.6 | 93.9 | 95.7 | 98.7 | 103.4 | 107.4 | 112.9 | 121.6 | 130.6 | 151.1 | 177.6 | 214 |
| 110 | 93.5 | 94.5 | 95.8 | 97.7 | 100.7 | 105.5 | 109.5 | 115.1 | 124 | 133.1 | 154 | 180.9 | 218 |
| 112 | 95.4 | 96.4 | 97.7 | 99.6 | 102.7 | 107.5 | 111.7 | 117.3 | 126.3 | 135.6 | 156.9 | 184.2 | 222 |
| 114 | 97.3 | 98.3 | 99.7 | 101.6 | 104.7 | 109.6 | 113.8 | 119.5 | 128.6 | 138.1 | 159.7 | 187.6 | 226 |
| 116 | 99.2 | 100.2 | 101.6 | 103.5 | 106.7 | 111.7 | 115.9 | 121.7 | 131.1 | 140.6 | 162.6 | 190.9 | 230 |
| 118 | 101.1 | 102.1 | 103.5 | 105.5 | 108.7 | 113.7 | 118 | 123.9 | 133.3 | 143.1 | 165.4 | 194.2 | 234 |
| 120 | 103 | 104 | 105.4 | 107.4 | 110.7 | 115.8 | 120.1 | 126.1 | 135.7 | 145.6 | 168.3 | 197.6 | 238 |
| 122 | 104.9 | 105.9 | 107.4 | 109.4 | 112.6 | 117.8 | 122.2 | 128.3 | 138 | 148.1 | 171.1 | 200.9 | 242 |
| 124 | 106.8 | 107.9 | 109.3 | 111.3 | 114.6 | 119.9 | 124.4 | 130.5 | 140.3 | 150.6 | 174 | 204.2 | 246 |
| 126 | 108.7 | 109.8 | 111.2 | 113.3 | 116.6 | 121.9 | 126.5 | 132.7 | 142.7 | 153 | 176.8 | 207.6 | 250 |
| 128 | 110.6 | 111.7 | 113.2 | 115.2 | 118.6 | 124 | 128.6 | 134.9 | 145 | 155.5 | 179.7 | 210.9 | 254 |
| 130 | 112.5 | 113.6 | 115.1 | 117.2 | 120.6 | 126.1 | 130.7 | 137.1 | 147.4 | 158 | 182.5 | 214.2 | 258 |
| 132 | 114.4 | 115.5 | 117 | 119.1 | 122.6 | 128.1 | 132.8 | 139.3 | 149.7 | 160.5 | 185.4 | 217.6 | 262 |
| 134 | 116.3 | 117.4 | 119 | 121.1 | 124.6 | 130.2 | 134.9 | 141.5 | 152 | 163 | 188.3 | 220.9 | 266 |
| 136 | 118.2 | 119.4 | 120.9 | 123.1 | 126.8 | 132.3 | 137.1 | 143.7 | 154.4 | 165.5 | 191.1 | 224.2 | 270 |
| 138 | 120.1 | 121.3 | 122.8 | 125 | 128.6 | 134.3 | 139.2 | 145.9 | 156.7 | 168 | 194 | 227.6 | 274 |
| 140 | 122 | 123.2 | 124.8 | 127 | 130.6 | 136.4 | 141.3 | 148.1 | 159.1 | 170.5 | 196.8 | 230.9 | 278 |
| 142 | 123.9 | 125.1 | 126.7 | 128.9 | 132.6 | 138.4 | 143.4 | 150.3 | 161.4 | 173 | 199.7 | 234.2 | 282 |
| 144 | 125.8 | 127 | 128.6 | 130.9 | 134.6 | 140.5 | 145.6 | 152.5 | 163.8 | 175.5 | 202.5 | 237.6 | 286 |
| 146 | 127.7 | 129 | 130.6 | 132.9 | 136.6 | 142.6 | 147.7 | 154.7 | 166.1 | 178 | 205.4 | 240.9 | 290 |
| 148 | 129.7 | 130.9 | 132.5 | 134.8 | 138.6 | 144.6 | 149.8 | 156.9 | 168.5 | 180.5 | 208.2 | 244.2 | 294 |
| 150 | 131.6 | 132.8 | 134.5 | 136.8 | 140.6 | 146.7 | 151.9 | 159.1 | 170.8 | 183 | 211.1 | 247.6 | 298 |
| 152 | 133.5 | 134.8 | 136.4 | 138.8 | 142.6 | 148.8 | 154 | 161.3 | 173.1 | 185.5 | 214 | 250.9 | 302 |
| 154 | 135.4 | 136.7 | 138.4 | 140.7 | 144.6 | 150.8 | 156.2 | 163.5 | 175.5 | 188 | 216.8 | 254.2 | 306 |
| 156 | 137.3 | 138.6 | 140.3 | 142.7 | 146.6 | 152.9 | 158.3 | 165.7 | 177.8 | 190.5 | 219.7 | 257.6 | 310 |
| 158 | 139.2 | 140.5 | 142.3 | 144.7 | 148.6 | 155 | 160.4 | 167.9 | 180.2 | 193 | 222.5 | 260.9 | 314 |
| 160 | 141.2 | 142.5 | 144.2 | 146.6 | 150.6 | 157 | 162.5 | 170.2 | 182.5 | 195.5 | 225.4 | 264.2 | 318 |
| 162 | 143.1 | 144.4 | 146.1 | 148.6 | 152.7 | 159.1 | 164.7 | 172.4 | 184.9 | 198 | 228.2 | 267.6 | 322 |
| 164 | 145 | 146.3 | 148.1 | 150.6 | 154.7 | 161.2 | 166.8 | 174.6 | 187.2 | 200.4 | 231.1 | 270.9 | 326 |
| 166 | 146.9 | 148.3 | 150 | 152.6 | 156.7 | 163.3 | 168.9 | 176.8 | 189.6 | 202.9 | 233.9 | 274.2 | 330 |
| 168 | 148.9 | 150.2 | 152 | 154.5 | 158.7 | 165.3 | 171 | 179 | 191.9 | 205.4 | 236.8 | 277.6 | 334 |
| 170 | 150.8 | 152.1 | 153.9 | 156.5 | 160.7 | 167.4 | 173.2 | 181.2 | 194.2 | 207.9 | 239.7 | 280.9 | 338 |
| 172 | 152.7 | 154.1 | 155.9 | 158.5 | 162.7 | 169.5 | 175.3 | 183.4 | 196.6 | 210.4 | 242.5 | 284.2 | 342 |
| 174 | 154.6 | 156 | 157.8 | 160.4 | 164.7 | 171.5 | 177.4 | 185.6 | 198.9 | 212.9 | 245.4 | 287.6 | 346 |
| 176 | 156.6 | 158 | 159.8 | 162.4 | 166.7 | 173.6 | 179.6 | 187.8 | 201.3 | 215.4 | 248.2 | 290.9 | 350 |
| 178 | 158.5 | 159.9 | 161.8 | 164.4 | 168.7 | 175.7 | 181.7 | 190 | 203.6 | 217.9 | 251.1 | 294.2 | 354 |
| 180 | 160.4 | 161.8 | 163.7 | 166.4 | 170.7 | 177.8 | 183.8 | 192.2 | 206 | 220.4 | 253.9 | 297.5 | 358 |
| 182 | 162.3 | 163.8 | 165.7 | 168.3 | 172.8 | 179.8 | 185.9 | 194.4 | 208.3 | 222.9 | 256.8 | 300.9 | 362 |
| 184 | 164.3 | 165.7 | 167.6 | 170.3 | 174.8 | 181.9 | 188.1 | 196.6 | 210.7 | 225.4 | 259.8 | 304.2 | 366 |
| 186 | 166.2 | 167.7 | 169.6 | 172.3 | 176.8 | 184 | 190.2 | 198.9 | 213 | 227.9 | 262.5 | 307.5 | 370 |
| 188 | 168.1 | 169.6 | 171.5 | 174.3 | 178.8 | 186.1 | 192.3 | 201.1 | 215.4 | 230.4 | 265.4 | 310.9 | 374 |
| 190 | 170.1 | 171.5 | 173.5 | 176.3 | 180.8 | 188.1 | 194.5 | 203.3 | 217.7 | 232.9 | 268.2 | 314.2 | 378 |
| 192 | 172 | 173.5 | 175.4 | 178.2 | 182.8 | 190.2 | 196.6 | 205.5 | 220.1 | 235.4 | 271.1 | 317.5 | 382 |
| 194 | 173.9 | 175.4 | 177.4 | 180.2 | 184.8 | 192.3 | 198.7 | 207.7 | 222.4 | 237.9 | 273.9 | 320.9 | 386 |
| 196 | 175.9 | 177.4 | 179.4 | 182.2 | 186.9 | 194.4 | 200.8 | 209.9 | 224.8 | 240.4 | 278.8 | 324.2 | 390 |
| 198 | 177.8 | 179.3 | 181.3 | 184.2 | 188.9 | 196.4 | 203 | 212.1 | 227.1 | 242.9 | 279.6 | 327.5 | 394 |
| 200 | 179.7 | 181.3 | 183.3 | 186.2 | 190.9 | 198.5 | 205.1 | 214.3 | 229.4 | 245.4 | 282.5 | 330.9 | 398 |

APENDICE 1

(ERLANG B)

A , erlangs

B

| N | 1.0% | 1.2% | 1.5% | 2% | 3% | 5% | 7% | 10% | 15% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| 202 | 181.7 | 183.2 | 185.2 | 188.1 | 192.9 | 200.6 | 207.2 | 216.5 | 231.9 | 247.9 | 285.4 | 334.2 | 402 |
| 204 | 183.6 | 185.2 | 187.2 | 190.1 | 194.9 | 202.7 | 209.4 | 218.7 | 234.1 | 250.4 | 288.2 | 337.5 | 406 |
| 206 | 185.5 | 187.1 | 189.2 | 192.1 | 196.9 | 204.7 | 211.5 | 221 | 236.5 | 252.9 | 291.1 | 340.9 | 410 |
| 208 | 187.5 | 189.1 | 191.1 | 194.1 | 199 | 206.8 | 213.6 | 223.2 | 238.8 | 255.4 | 293.9 | 344.2 | 414 |
| 210 | 189.4 | 191 | 193.1 | 196.1 | 201 | 208.9 | 215.8 | 225.4 | 241.2 | 257.9 | 296.8 | 347.5 | 418 |
| 212 | 191.4 | 193 | 195.1 | 198.1 | 203 | 211 | 217.9 | 227.6 | 243.5 | 260.4 | 299.6 | 350.9 | 422 |
| 214 | 193.3 | 194.9 | 197 | 200 | 205 | 213 | 220 | 229.8 | 245.9 | 262.9 | 302.5 | 354.2 | 426 |
| 216 | 195.2 | 196.9 | 199 | 202 | 207 | 215.1 | 222.2 | 232 | 248.2 | 265.4 | 305.3 | 357.5 | 430 |
| 218 | 197.2 | 198.8 | 201 | 204 | 209.1 | 217.2 | 224.3 | 234.2 | 250.6 | 267.9 | 308.2 | 360.9 | 434 |
| 220 | 199.1 | 200.8 | 202.9 | 206 | 211.1 | 219.3 | 226.4 | 236.4 | 252.9 | 270.4 | 311.1 | 364.2 | 438 |
| 222 | 201.1 | 202.7 | 204.9 | 208 | 213.1 | 221.4 | 228.6 | 238.6 | 255.3 | 272.9 | 313.9 | 367.5 | 442 |
| 224 | 203 | 204.7 | 206.8 | 210 | 215.1 | 223.4 | 230.7 | 240.9 | 257.6 | 275.4 | 316.8 | 370.9 | 446 |
| 226 | 204.9 | 206.6 | 208.8 | 212 | 217.1 | 225.5 | 232.8 | 243.1 | 260 | 277.8 | 319.6 | 374.2 | 450 |
| 228 | 206.9 | 208.6 | 210.8 | 213.9 | 219.2 | 227.6 | 235 | 245.3 | 262.3 | 280.3 | 322.5 | 377.5 | 454 |
| 230 | 208.8 | 210.5 | 212.8 | 215.9 | 221.2 | 229.7 | 237.1 | 247.5 | 264.7 | 282.8 | 325.3 | 380.9 | 458 |
| 232 | 210.8 | 212.5 | 214.7 | 217.9 | 223.2 | 231.8 | 239.2 | 249.7 | 267 | 285.3 | 328.2 | 384.2 | 462 |
| 234 | 212.7 | 214.4 | 216.7 | 219.9 | 225.2 | 233.8 | 241.4 | 251.9 | 269.4 | 287.8 | 331.1 | 387.5 | 466 |
| 236 | 214.7 | 216.4 | 218.7 | 221.9 | 227.2 | 235.9 | 243.5 | 254.1 | 271.7 | 290.3 | 333.9 | 390.9 | 470 |
| 238 | 216.6 | 218.3 | 220.6 | 223.9 | 229.3 | 238 | 245.6 | 256.3 | 274.1 | 292.8 | 336.8 | 394.2 | 474 |
| 240 | 218.6 | 220.3 | 222.6 | 225.9 | 231.3 | 240.1 | 247.8 | 258.6 | 276.4 | 295.3 | 339.6 | 397.5 | 478 |
| 242 | 220.5 | 222.3 | 224.6 | 227.9 | 233.3 | 242.2 | 249.9 | 260.8 | 278.8 | 297.8 | 342.5 | 400.9 | 482 |
| 244 | 222.5 | 224.2 | 226.5 | 229.9 | 235.3 | 244.3 | 252 | 263 | 281.1 | 300.3 | 345.3 | 404.2 | 486 |
| 246 | 224.4 | 226.2 | 228.5 | 231.8 | 237.4 | 246.3 | 254.2 | 265.2 | 283.4 | 302.8 | 348.2 | 407.5 | 490 |
| 248 | 226.3 | 228.1 | 230.5 | 233.8 | 239.4 | 248.4 | 256.3 | 267.4 | 285.8 | 305.3 | 351 | 410.9 | 494 |
| 250 | 228.3 | 230.1 | 232.5 | 235.8 | 241.4 | 250.5 | 258.4 | 269.6 | 288.1 | 307.8 | 353.9 | 414.2 | 498 |
| 300 | 277.1 0.982 | 279.2 0.984 | 281.9 0.99 | 285.7 1 | 292.1 1.016 | 302.6 1.044 | 311.9 1.07 | 325 1.108 | 346.9 1.174 | 370.3 1.248 | 425.3 1.428 | 497.5 1.668 | 598 2 |
| 350 | 362.2 0.982 | 328.4 0.988 | 331.4 0.994 | 335.7 1.004 | 342.9 1.02 | 354.8 1.046 | 365.4 1.07 | 380.4 1.108 | 405.6 1.176 | 432.7 1.25 | 496.7 1.43 | 580.9 1.666 | 699 2 |
| 400 | 375.3 0.986 | 377.8 0.99 | 381.1 0.996 | 385.9 1.004 | 393.9 1.016 | 407.1 1.046 | 418.9 1.072 | 435.8 1.11 | 484.4 1.176 | 495.2 1.25 | 568.2 1.428 | 664.2 1.666 | 798 2 |
| 450 | 424.6 0.988 | 427.3 0.994 | 430.9 0.998 | 436.1 1.006 | 444.8 1.022 | 459.4 1.048 | 472.5 1.07 | 491.3 1.108 | 523.2 1.176 | 657.7 1.25 | 639.6 1.428 | 747.5 1.688 | 898 2 |
| 500 | 474 0.991 | 477 0.994 | 480.8 1 | 486.4 1.008 | 495.9 1.022 | 511.8 1.047 | 526 1.073 | 546.7 1.11 | 582 1.176 | 620.2 1.249 | 711 1.429 | 830.9 1.866 | 998 2 |
| 600 | 573.1 0.993 | 576.4 0.997 | 580.8 1.002 | 587.2 1.01 | 598.1 1.024 | 616.5 1.049 | 633.3 1.073 | 657.7 1.11 | 699.6 1.176 | 745.1 1.25 | 853.9 1.428 | 997.5 1.685 | 1198 2 |
| 700 | 672.4 0.994 | 676.1 0.998 | 681 1.004 | 688.2 1.011 | 700.5 1.025 | 721.4 1.05 | 740.6 1.073 | 768.7 1.11 | 817.2 1.176 | 870.1 1.25 | 996.7 1.433 | 1164 1.67 | 1398 2 |
| 800 | 771.8 0.997 | 775.9 1 | 781.4 1 | 789.3 1.013 | 803 1.025 | 826.4 1.05 | 847.9 1.074 | 879.7 1.111 | 934.8 1.172 | 995.1 1.249 | 1140 1.42 | 1331 1.87 | 1598 2 |
| 900 | 871.5 0.997 | 875.9 1.001 | 881.8 1.006 | 890.6 1.013 | 905.5 1.025 | 931.4 1.046 | 955.3 1.077 | 990.8 1.112 | 1052 1.18 | 1120 1.25 | 1282 1.43 | 1498 1.66 | 1798 2 |
| 1000 | 971.2 0.998 | 976 1 | 982.4 1.006 | 991.9 1.011 | 1008 1.03 | 1036 1.05 | 1063 1.07 | 1102 1.11 | 1170 1.18 | 1245 1.25 | 1425 1.43 | 1664 1.67 | 1998 2 |
| 1100 | 1071 | 1076 | 1083 | 1093 | 1111 | 1141 | 1170 | 1213 | 1288 | 1370 | 1568 | 1831 | 2198 |

APENDICE 2

Para el análisis de los diagramas de señalización, como el de la figura 1, debemos considerar que se representan las señales de avance y las de mando las cuales representan las información que se transfiere entre centrales durante el desarrollo de una conversación telefónica.

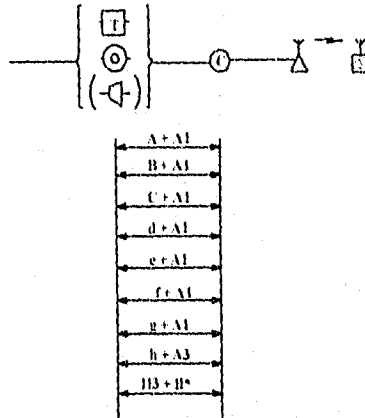


FIG. 1.- Tráfico terminado en la OTTC

Tanto las señales de avance como las de mando tienen significados primarios, secundarios o terciarios, donde cada uno puede tener las 15 señales que permite el código.

La agrupación y la nomenclatura con la cual se identifican estos significados se muestra en la siguiente tabla:

| SIGNIFICADO | SEÑAL DE AVANCE | SEÑAL DE MANDO |
|-------------|-----------------|----------------|
| PRIMARIO | I | A |
| SECUNDARIO | II | B |
| TERCIARIO | III | C |

TABLA 1. SEÑALES DE MANDO Y AVANCE

El uso de las señales de avance en función de su significado primario secundario o terciario se muestra en la tabla 2, cada significado puede tener 15 señales:

| SIGNIFICADO | SEÑAL DE AVANCE | USO |
|-------------|-----------------|----------------------------|
| PRIMARIO | I-1 a I-15 | INFORMACION DE DESTINO (B) |
| SECUNDARIO | II-1 a II-15 | CATEGORIA DE ORIGEN (A)B |
| TERCIARIO | III-1 a III-15 | INFORMACION DE ORIGEN (A) |

TABLA 2. SEÑALES DE AVANCE

El uso de las señales de mando en función de su significado primario secundario o terciario se muestra en la tabla 3, cada significado puede tener 15 señales: Actualmente dados los requerimientos de señalización de la red telefónica, únicamente se usan las primeras seis señales.

APENDICE 2

Para el análisis de los diagramas de señalización, como el de la figura 1, debemos considerar que se representan las señales de avance y las de mando las cuales representan la información que se transfiere entre centrales durante el desarrollo de una conversación telefónica.

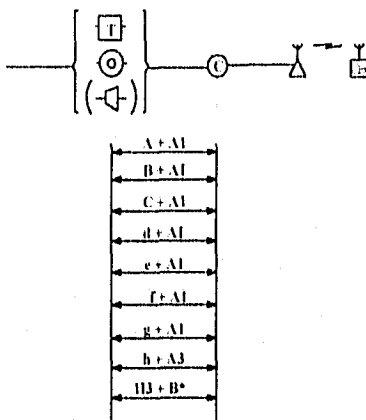


FIG. 1.- Tráfico terminado en la OTTC

Tanto las señales de avance como las de mando tienen significados primarios, secundarios o terciarios, donde cada uno puede tener las 15 señales que permite el código.

La agrupación y la nomenclatura con la cual se identifican estos significados se muestra en la siguiente tabla:

| SIGNIFICADO | SEÑAL DE AVANCE | SEÑAL DE MANDO |
|-------------|-----------------|----------------|
| PRIMARIO | I | A |
| SECUNDARIO | II | B |
| TERCIARIO | III | C |

TABLA 1. SEÑALES DE MANDO Y AVANCE

El uso de las señales de avance en función de su significado primario secundario o terciario se muestra en la tabla 2, cada significado puede tener 15 señales:

| SIGNIFICADO | SEÑAL DE AVANCE | USO |
|-------------|-----------------|----------------------------|
| PRIMARIO | I-1 a I-15 | INFORMACION DE DESTINO (B) |
| SECUNDARIO | II-1 a II-15 | CATEGORIA DE ORIGEN (A)B |
| TERCIARIO | III-1 a III-15 | INFORMACION DE ORIGEN (A) |

TABLA 2. SEÑALES DE AVANCE

El uso de las señales de mando en función de su significado primario secundario o terciario se muestra en la tabla 3, cada significado puede tener 15 señales; Actualmente dados los requerimientos de señalización de la red telefónica, únicamente se usan las primeras seis señales.

| SIGNIFICADO | SEÑAL DE MANDO | USO |
|-------------|----------------|-------------------------------------|
| PRIMARIO | A-1 a A-6 | SOLICITUD DE INFORMACION DE DESTINO |
| SECUNDARIO | B-1 a B-6 | ESTADO DE LA LINEA |
| TERCIARIO | C-1 a C-6 | SOLICITUD DE INFORMACION DE ORIGEN |

TABLA 3. SEÑALES DE MANDO

USO DE LAS SEÑALES DE AVANCE

Información de destino (abonado b) se utilizan para transmitir la información de destino necesaria para establecer la conexión. La señalización MFC debe comenzar siempre con una señal de avance de significado primario I.

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|-------|---|---|
| 1 | A) DIGITO 1 | DIGITOS DEL ABONADO LLAMADO, SE UTILIZAN PARA TRANSMITIR LA INFORMACION NECESARIA PARA ESTABLECER LA CONEXION, CUANDO SE ENVIAN COMO DIGITO, DICHAS SEÑALES REPRESENTAN EL PRIMER DIGITO DEL NUMERO LOCAL LLAMADO. |
| 2 | A) DIGITO 2 | |
| 3 | A) DIGITO 3 | |
| 4 | A) DIGITO 4 | |
| 5 | A) DIGITO 5 | |
| 6 | A) DIGITO 6 | |
| 7 | A) DIGITO 7 | |
| 8 | A) DIGITO 8 | |
| 9 | A) DIGITO 9 B) ACCESO AL SISTEMA INTERURBANO (LADA) C) INDICACION DE TRANSITO | - COMO LOS DIGITOS 1, ... 8; EXCEPTO EN EL PRIMER DIGITO. - COMO PRIMER DIGITO SE UTILIZA PARA TENER ACCESO AL SISTEMA INTERURBANO, SEGUIDO DEL DIGITO "T" (T=1, ..., 0) EL CUAL NOS DETERMINA EL TIPO DE TRAFICO Y EL PUNTO DE TASACION. COMO PRIMER DIGITO DESPUES DEL PUNTO DE TASACION NOS DA INDICACION DE QUE EL SIGUIENTE CENTRO ES TRANSITO. COMO TERCER DIGITO, PRECEDIDO DE UN CODIGO "9T" NOS INDICA; EN TRAFICO NACIONAL EL PRIMER DIGITO DE LA CLAVE LADA; EN TRAFICO HACIA EUA, EL PRIMER DIGITO DEL CODIGO NPA; EN TRAFICO HACIA EL RESTO DEL MUNDO EL PRIMER DIGITO DEL CODIGO DE PAIS |
| 10 | A) DIGITO 0 B) ACCESO AL SERVICIO ESPECIAL | - COMO LOS DIGITOS 1, ... 8; EXCEPTO EN EL PRIMER DIGITO. - COMO PRIMER DIGITO SE UTILIZA PARA TENER ACCESO AL SERVICIO ESPECIAL SEGUIDO POR UN DIGITO "X" (X=1, ..., 0) EL CUAL NOS INDICA EL TIPO DE SERVICIO ESPECIAL REQUERIDO. |
| 11 | A) RESERVA * ACCESO AL SERVICIO DE OPERADORA DE INTERCEPCION | CUANDO EL ABONADO LLAMADO TIENE EL SERVICIO DE ABONADO INTERCEPTADO Y EL EQUIPO REQUIERE ACCESAR EL SERVICIO DE INTERCEPCION QUE SE ENCUENTRA LOCALIZADO EN LA VIA FINAL. |
| 12 | A) RESERVA * INDICACION DE TRANSITO | DESPUES DEL PUNTO DE TASACION PARA QUE EL SIGUIENTE CENTRO ES TRANSITO. SELECCION DE CIRCUITOS SIN POSIBILIDADES DE OFERTA. |
| 13 | A) RESERVA * SELECCION INDIVIDUAL | SE USA PARA ELEGIR UN PUNTO DE CONMUTACION ESPECIFICO (SELECCION INDIVIDUAL) Y TENER ACCESO AL EQUIPO DE MANTENIMIENTO. |
| 14 | A) RESERVA | |
| 15 | A) RESERVA | |

* SIGNIFICADO EN RESERVA

CATEGORIA DE ORIGEN (ABONADO A)

De acuerdo a los requerimientos técnico administrativos, el grupo II se divide en dos subgrupos.

- A) Categoría de tasación (II₆)
- B) Categoría de llamada (II₃) (Extradígito)

CATEGORIA DE TASACION (II₆)

Se utiliza en llamadas interurbanas para informar al punto de tasación sobre el tipo que debe recibir el abonado que llama. Las señales de este subgrupo se envían en respuesta a la señal A6 procedente del punto de tasación.

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|---------|---|---|
| 1 | A) RESERVA | |
| 2 | A) ABONADO NORMAL | - ABONADO NORMAL CON ACCESO A TODOS LOS SERVICIOS, EXCEPTO LOS CODIGOS 91+ABC+0X (X=1,2,9) REGISTRADOS PARA LA OPERADORA (CATEGORIA II, -1) |
| 3 | A) ALCANCIA | - TELEFONO DE ALCANCIA CON TRAFICO 02 Y 09 POR COBRAR Y DEBE SER ENRUTADO A POSICIONES DE OPERADORA SIN IDENTIFICACION. |
| 4 | A) TIEMPO Y COSTO | - ABONADO QUE PERMANENTEMENTE HA SOLICITADO DICHO SERVICIO, TAL SEÑAL INDICA QUE DEBE LLAMARSE AL ANALIZADOR DE TARIFAS EN EL PUNTO DE TASACION CORRESPONDIENTE. |
| 5 | A) RESERVA * EQUIPO ATME | - EQUIPO ATME EN LA RED URBANA Y DEBE SER ENRUTADO SOLO A OTRO EQUIPO ATME; ESTA CATEGORIA PERMITE EL USO DE NUMERO DE ABONADO NORMAL O CLAVES DE SERVICIO ESPECIALES PARA ATME. |
| 6 | A) EQUIPO DE MANTENIMIENTO | EQUIPO DE MANTENIMIENTO Y EN CASO DE QUE EL ABONADO ESTE BLOQUEADO U OCUPADO, RETENER LOS PASOS DE SELECCION. DICHA CATEGORIA DEBE INDICAR AL EQUIPO DE TASACION QUE LA LLAMADA ES SIN CARGO. |
| 7 | A) COMPARTIDO 2 | IDENTIFICACION DEL ABONADO No 2 EN LINEA COMPARTIDA. |
| 8 | A) COMPARTIDO 3 | IDENTIFICACION DEL ABONADO No 3 EN LINEA COMPARTIDA. |
| 9 | A) COMPARTIDO 1 | IDENTIFICACION DEL ABONADO No 1 EN LINEA COMPARTIDA. |
| 10 | A) RESERVA * OPERADORA SIN POSIBILIDAD DE OFRECIMIENTO | POSICION DE OPERADORA SIN POSIBILIDAD DE OFRECIMIENTO SI EL ABONADO LLAMADO SE ENCUENTRA OCUPADO. |
| 11 - 15 | A) RESERVA | |

* SIGNIFICADO EN RESERVA

CATEGORIA DE LLAMADA (II3)

Se utiliza en llamadas urbanas e interurbanas para informar a la central de destino o al punto de tasación sobre el tratamiento que debe recibir la llamada, las señales de este subgrupo se envían:

Como respuesta a la señal A3 procedente de la central destino.

Como respuesta a la señal C3 procedente del punto de tasación.

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|-------|--|--|
| 1 | A) OPERADORA CON POSIBILIDAD DE OFRECIMIENTO | POSICION DE OPERADORA QUE TIENE POSIBILIDAD DE OFRECIMIENTO SI EL ABONADO LLAMADO SE ENCUENTRA OCUPADO (RETENCION DE LOS PASOS DE SELECCION EN LA CENTRAL LOCAL DE DESTINO). |
| 2 | A) ABONADO NORMAL | - ABONADO NORMAL SIN POSIBILIDAD DE OFRECIMIENTO SI EL ABONADO LLAMADO SE ENCUENTRA OCUPADO Y ACCESO A TODOS LOS SERVICIOS EXCEPTO LOS CODIGOS 91+ABC+0X (X=1,2,9) REGISTRADOS PARA LA CATEGORIA II, -1. |
| 3 | A) RESERVA | |
| 4 | A) RESERVA | |
| 5 | A) EQUIPO ATME | - EQUIPO ATME Y DEBE SER ENRUTADO SOLO A OTRO EQUIPO ATME; ESTA CATEGORIA PERMITE LA UTILIZACION DE NUMEROS DE ABONADO NORMAL O CLAVES DE SERVICIO ESPECIALES PARA ATME. |
| 6 | A) EQUIPO DE MANTENIMIENTO | - EQUIPO DE MANTENIMIENTO Y EN CASO DE QUE EL ABONADO ESTE BLOQUEADO U OCUPADO, RETENER LOS PASOS DE SELECCION. DICHA CATEGORIA DEBE INDICAR AL EQUIPO DE TASACION QUE LA LLAMADA ES SIN CARGO. |
| 7 | A) RESERVA | |
| 8 | A) RESERVA * OPERADORA DE INTERCEPCION | - OPERADORA QUE REQUIERE ACCESAR A UN ABONADO QUE HA SOLICITADO EL SERVICIO DE ABONADO INTERCEPTADO. |
| 9-15 | A) RESERVA | |

INFORMACIÓN DE ORIGEN III (Abonado A)

Se utilizan para transmitir la información de identidad del número del abonado que llama. Estas señales se envían en respuesta a la señal C1.

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|-------|-------------|--|
| 1 | A) DIGITO 1 | DIGITOS DEL ABONADO QUE LLAMA, LA PRIMER SEÑAL CORRESPONDE AL PRIMERO, SEGUNDO O TERCER A DIGITO DE ACUERDO AL FORMATO DE ENVIO DE DIGITOS, LA PRIMERA Y RESTANTES SEÑALES DE LA IDENTIDAD DEL ABONADO QUE LLAMA SE SOLICITARAN CON LA SEÑAL C-1 |
| 2 | A) DIGITO 2 | |
| 3 | A) DIGITO 3 | |
| 4 | A) DIGITO 4 | |
| 5 | A) DIGITO 5 | |
| 6 | A) DIGITO 6 | |
| 7 | A) DIGITO 7 | |
| 8 | A) DIGITO 8 | |
| 9 | A) DIGITO 9 | |
| 10 | A) DIGITO 0 | - |
| 11 | A) RESERVA | - |
| 12 | A) RESERVA | - |
| 13 | A) RESERVA | - |
| 14 | A) RESERVA | - |

| | | |
|----|----------------------|---|
| 15 | A) FIN DE NUMERACION | - INDICA QUE LA IDENTIDAD DEL NUMERO DE ABONADO QUE LLAMA HA SIDO ENVIADA Y QUE EL RESTO DE LA INFORMACION QUE SERA ENVIADA CORRESPONDERA A LA IDENTIDAD DEL ABONADO LLAMADO, LO QUE IMPLICA QUE EL REGISTRO DE SALIDA DEBE PREPARARSE A RECIBIR SEÑALES DEL GRUPO "A". |
|----|----------------------|---|

USO DE LAS SEÑALES DE MANDO

PETICION DE INFORMACION DE DESTINO (A)

Se utilizan para solicitar la información de destino necesaria para establecer la conexión y como señal de acuse de recibo de las señales de información de destino (I).

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|-------|---|--|
| 1 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO I PROX. DIGITO | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "I" Y SOLICITUD DEL PROXIMO DIGITO DE LA IDENTIDAD DEL ABONADO LLAMADO. |
| 2 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO I PRIMER DIGITO | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "I" Y SOLICITUD DEL PRIMER DIGITO TRANSMITIDO DE LA IDENTIDAD DEL ABONADO LLAMADO. |
| 3 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO II, Y CAMBIO DE RECEPCION DEL GRUPO B | - RECONOCIMIENTO DE LA RECEPCION DEL ULTIMO DIGITO DEL ABONADO LLAMADO, SOLICITUD DE LA CATEGORIA DE LLAMADA DEL ABONADO QUE LLAMA Y CAMBIO PARA RECEPCION DE SEÑALES DEL GRUPO "B". - EN AUSENCIA DE UNA SEÑAL DE AVANCE, LA SEÑAL A-3 DEBE ENVIARSE COMO UN IMPULSO DE 180 ±40 mSEG. |
| 4 | A) CONGESTION | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "I" Y PARA INDICAR: <ul style="list-style-type: none"> • CONGESTION DE PASOS DE SELECCION • CONGESTION DE CIRCUITOS • DESCONEXION DE TEMPORIZACION • DETECCION DE FALLAS - EN TODOS LOS CASOS EXCEPTO EN UNA, LA SEÑAL A-4 OCASIONA : <ul style="list-style-type: none"> • RESELECCION Y SI NO HAY EXITO • ENVIO DE LA SEÑAL A-4 • ENVIO DE TONO DE OCUPADO, CONGESTION O UN MENSAJE GRABADO AL ABONADO QUE LLAMA SI LA CONDICION DE HABLA SE HA ESTABLECIDO EN LA DIRECCION DE MANDO • DESCONEXION DE LA CADENA DE CIRCUITOS HACIA ADELANTE Y DE TODO EL EQUIPO QUE NO SEA NECESARIO PARA LAS FUNCIONES DESCRITAS. - EN AUSENCIA DE UNA SEÑAL DE AVANCE, LA SEÑAL A-4 DEBE ENVIARSE COMO UN IMPULSO DE 180 ±40 mSEG. - LA EXCEPCION A QUE SE HACE REFERENCIA ES CUANDO LA LLAMADA HA SIDO ORIGINADA POR UN EQUIPO DE MANTENIMIENTO (CATEGORIA II-8) |
| 5 | A) RESERVA | |
| 6 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO II, Y CAMBIO DE RECEPCION DEL GRUPO C | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "I", SOLICITUD DE LA CATEGORIA DE TASACION DEL ABONADO QUE LLAMA Y CAMBIO PARA RECEPCION DE SEÑALES DEL GRUPO "C". - LA SEÑAL A-6 SE ENVIA CUANDO SE HA RECIBIDO : <ul style="list-style-type: none"> • "I-9" COMO PRIMERA SEÑAL; A-6 ES RECONOCIMIENTO DE LA SEXTA SEÑAL RECIBIDA DEL GRUPO "I". • "I-0" COMO PRIMERA SEÑAL; A-6 ES RECONOCIMIENTO DE LA SEGUNDA SEÑAL RECIBIDA DEL GRUPO "I" (EN EL FUTURO SERA RECONOCIMIENTO DE LA TERCERA SEÑAL). |

ESTADO DE LA LINEA (B)

Se utilizan para indicar a la central de origen el estado de la línea del abonado llamado y también como señal de acuse de recibo de las señales de categoría de origen (II). Estas señales van siempre precedidas de la señal de mando A3 ó C3.

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|-------|--|--|
| 1 | A) ABONADO LIBRE CON TASACION | - TODO REGISTRO DE SALIDA QUE RECIBE SEÑAL "B-1" DEBE ESTABLECER CONDICIONES DE HABLA PARA QUE EL ABONADO QUE LLAMA PUEDA ESCUCHAR EL TONO DE LLAMADA Y CONDICIONES DE TASACION SI LA CATEGORIA DEL ABONADO QUE LLAMA ES CON CARGO. |
| 2 | A) ABONADO OCUPADO | - TODO REGISTRO DE SALIDA QUE RECIBA LA SEÑAL "B-2" OCASIONA LA LIBERACION DE LA CADENA DE CIRCUITOS HACIA ADELANTE Y SI LA CONDICION DE HABLA SE HA ESTABLECIDO, ENVIO DEL TONO DE OCUPADO AL ABONADO QUE LLAMA. - SI LA LLAMADA FUE ORIGINADA POR UNA OPERADORA (CATEGORIA II, 1) RETENER LA CONEXION PARA QUE SE PUEDA REALIZAR EL OFRECIMIENTO. - SI LA LLAMADA FUE ORIGINADA POR UN EQUIPO DE MANTENIMIENTO (CATEGORIA II, 6) DEBEN RETENERSE LOS PASOS DE SELECCION. |
| 3 | A) RESERVA * ABONADO INTERCEPTADO | - AL RECIBIR EL PUNTO DE TASACION ESTA SEÑAL, SE DEBE HACER RESELECCION Y ENRUTAR LA LLAMADA POR VIA FINAL HACIA EL SERVICIO DE OPERADORA DE INTERCEPCION, GENERANDO UN NUEVO CICLO DE SEÑALES, COMENZANDO CON "I-11" COMO PRIMER SEÑAL, MAS LOS DIGITOS QUE SOLICITEN LOS CENTROS SIGUIENTES. |
| 4 | A) BLOQUEO | - TODO REGISTRO DE SALIDA QUE RECIBA SEÑAL "B-4" OCASIONA LA LIBERACION DE LA CADENA DE CIRCUITOS HACIA ADELANTE Y EL ENVIO DEL TONO DE OCUPADO AL ABONADO QUE LLAMA. - EN GENERAL LA SEÑAL B-4 SE ENVIA COMO RECONOCIMIENTO DEL GRUPO "II" EN LOS SIGUIENTES CASOS: CUANDO LA LINEA SOLICITADA ESTA SUPERVISADA POR OPERADORA. CUANDO EL ABONADO LLAMADO SE ENCUENTRA EN ESTADO DE BLOQUEO CUANDO EL ABONADO LLAMADO SE ENCUENTRA EN PROCESO DE REPOSICION CUANDO EL ABONADO LLAMADO SE ENCUENTRA EN PROCESO DE MARCACION. |
| 5 | A) ABONADO LIBRE SIN TASACION | SE USA PARA ESTABLECER LLAMADAS SIN TASACION A CIERTOS NUMEROS DE SERVICIO PUBLICO. |
| 6 | A) RESERVA * ABONADO LIBRE Y ACCESO AL EQUIPO AUTOMATICO DE IDENTIFICACION DE LLAMADAS MALICIOSAS. | - ABONADO QUE HA SOLICITADO DICHO SERVICIO, TAL SEÑAL INDICA QUE DEBE RETENERSE EL ENLACE DESDE LA CENTRAL DE ORIGEN O SOLICITAR LA INFORMACION DEL ABONADO QUE LLAMA, PARA LO CUAL ESTA SEÑAL DEBE SER INTERPRETADA EN EL ORIGEN EN FORMA IDENTICA A LA SEÑAL "A-8". |

PETICION DE INFORMACION (C)

Se utiliza para solicitar la información de identidad del número del abonado que llama y también como señal de acuse de recibo de las señales de información de origen (III).

| SEÑAL | SIGNIFICADO | USO |
|-------|---|--|
| 1 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO III PROX. OIGITO. | - COMO PRIMER SEÑAL SE UTILIZA PARA EL RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "II" Y SOLICITIO DEL PRIMERO, SEGUNO Y TERCER OIGITO (SEGUN EL FORMATO DE ENVIO DE OIGITOS) DEL ABONAO QUE LLAMA. - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "III" Y SOLICITIO DEL PROXIMO OIGITO DE LA IDENTIOAO DEL ABONAO QUE LLAMA. - LA RECEPCION DE LA SEÑAL "III-15" CAMBIA EL SIGNIFICADO DE LA SIGUIENTE SEÑAL "C-1" POR EL DE: ENVIAR EL OIGITO N+1, DONDE N ES EL ULTIMO OIGITO RECONOCIOO POR LA SEÑAL "A-6" |
| 2 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO I PRIMER OIGITO Y CAMBIO A RECEPCION DEL GRUPO A | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "III", SOLICITIO DEL PRIMERO OIGITO TRANSMITIOO DE LA IDENTIOAO DEL ABONAO LLAMAEO Y CAMBIO PARA LA RECEPCION DE SEÑALES DEL GRUPO "A" . |
| 3 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO II Y CAMBIO A RECEPCION DEL GRUPO B | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "III", SOLICITIO DE LA CATEGORIA DE LLAMAEO DE DEL ABONAO QUE LLAMA Y CAMBIO PARA LA RECEPCION DE SEÑALES DEL GRUPO "B" . |
| 4 | A) CONGESTION | ESTA SEÑAL TIENE EL MISMO SIGNIFICAOO QUE LA SEÑAL " A-4". |
| 5 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO I PROXIMO OIGITO Y CAMBIO A RECEPCION DEL GRUPO A | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "III", SOLICITUD DEL PROXIMO OIGITO DE LA IDENTIDAD DEL ABONAO LLAMAEO Y CAMBIO PARA LA RECEPCION DE SEÑALES DEL GRUPO "A" . |
| 6 | A) ENVIAR SEÑAL DEL GRUPO I MISMO DIGITO Y CAMBIO A RECEPCION DEL GRUPO A | - RECONOCIMIENTO DE CUALQUIER SEÑAL DEL GRUPO "III", SOLICITUD DEL MISMO DIGITO DE LA IDENTIOAO DEL ABONAO LLAMAEO Y CAMBIO PARA LA RECEPCION DE SEÑALES DEL GRUPO "A" . |

Entonces , si utilizamos estos conceptos para la Interpretación de un diagrama como el utilizado en la figura 1 de este apéndice, tenemos lo siguiente:

tal como se indica en el analisis de señalización del capítulo III , consideramos que una OTTC podrá tener asignada más de una C. LADA; para el tráfico terminado en la OTTC y que por razones no consideradas en esta norma, utiliza una combinación de escenarios de enrutamiento ; esto es, que por un mismo enlace dedicado se envíe señalización relacionada a usuarios celulares pertenecientes a diferentes Centros de Zona, deberán enviarse 8 dígitos tal y como se muestra en la figura 1 :

Las señales A, B, C, d, e, f, g y h son los datos del número telefónico del cliente llamado, y hasta el dígito "g" están complementadas por las señales de mando A1 que indican que reconocen el dígito enviado asimismo solicita el próximo dígito de identidad del destino.

La señal "h" último dígito del número telefónico de destino está ligada con la señal de mando A3, que reconoce la recepción del último dígito, solicitando la categoría de llamada del abonado que llama y cambia para recibir las señales del grupo "B".

La señal ll_3 (extradígito) informa a la central de destino la categoría de la llamada, como resultado de una señal A3, para este caso en particular se tiene que.

La categoría de la llamada ll_3 (extradígito) podrá ser:
1= Operadora nacional con posibilidad de ofrecimiento
2= Usuario normal sin posibilidad de ofrecimiento

y el estado de línea "B*" puede tomar los siguientes valores:

B1= Usuario libre con tasación.
B2= Usuario ocupado.
B3= Bloqueo.

APENDICE 3

Comparaciones de celular analógico contra celular digital

La evidencia a la fecha sugiere algunas ventajas de los sistemas celulares digitales sobre sus contrapartes análogas, el enorme costo de investigación para desarrollar un sistema digital, hizo retrasar el lanzamiento de un sistema móvil celular barato para los clientes.

Aunque varios sistemas de radio digital han sido desarrollados en el mundo entero, los únicos que han sido bien definidos son el sistema global para las comunicaciones móviles (GSM por sus siglas en inglés anteriormente conocido como Grupo Especial Móvil) y el digital de EUA y Japón. Conceptualmente la mayoría de estos sistemas tienen varias similitudes con el digital de EUA y Japón solo con variaciones en temas, mientras que comparados con el GSM tiene muy diferente filosofía de diseño.

El sistema de Estados Unidos ha sido diseñado para complementar e integrar la red analógica AMPS; GSM por otro lado intenta sobreponer y reemplazar las redes analógicas entonces no se ha hecho algún intento de trabajar con la estructura analógica existente.

Como resultado de que la introducción de la red digital de EUA ha sido menos costosa que el GSM, los países que están adaptando GSM tienen ambiciosos planes para implementar grandes sistemas rápidamente a través de sus países. El costo de hacer esto, es tal que solo grandes compañías conglomeradas o gobiernos pueden soportar los grandes costos de la infraestructura, la fuerza real tras GSM era la Comunidad Económica Europea, la cual creía que alcanzar un acuerdo compatible con el sistema celular PanEuropeo era políticamente imperativo.

En el ambiente analógico en Europa existe un número diverso de sistemas incompatibles, lo que indica que a pesar de un que exista un considerable acuerdo de ROAMING interpaíses no es muy práctico. Un Roamer potencial es obligado a comprar un número de diferentes teléfonos, en la práctica esto significa que el suscriptor celular acepta los términos de que sus teléfonos solo son utilizables en su país de origen.

Costos de equipo móvil

El costo de los equipos móviles en 1992 tuvieron aproximadamente el doble del costo de los equipos analógicos, aproximadamente \$600.00 dolares, los costos incrementados se debieron a tres factores; costos de desarrollo, costos de producción y costo de patente.

Costos de desarrollo.

En una tecnología FM bien establecida con procesamiento de señal digital, los costos no recurrentes (NRE) de desarrollo de ingeniería son altos para celular digital, muchas compañías han gastado millones de dolares desarrollando productos de modo dual, el objetivo que los teléfonos de modo dual de la primera generación recobrarán sus costos de desarrollo, estos costos NRE eran un gran porcentaje del precio de los primeros equipos, el lanzamiento inicial de los equipos de modo dual fue proyectado entre 100,000 a 200,000 unidades debido a los altos costos de los equipos.

Costos de producción

Las unidades de modo dual son mucho más complejas que las viejas unidades analógicas y usan DP's (procesadores de señal digital) y el costo se ha estimado entre un 15 a un 400% sobre los costos analógicos existentes, un teléfono de modo dual está compuesto de un transceptor analógico y una nueva sección de canal de voz digital, las adiciones al hardware primario se incrementan significativamente incrementan los costos de los DP's.

Costos de derechos de patente

Quizá el factor de costo más significativo puede ser el pago de las patentes, la tecnología celular fue originada y patentada por AT&T, hasta donde se sabe AT&T nunca ha solicitado un solo pago por su tecnología, sin embargo en el caso del estándar IS-54, cuatro compañías han argumentado tener la tecnología propietaria que es necesaria para establecer el estándar, una de esas compañías ha solicitado \$10.00 USD por unidad por su licencia.

Costos de equipamiento del sistema

Como se requieran cambios de equipos en la red para proveer la capacidad de transmisión digital, estos cambios pueden ser tan simples como cambiar el software del CCM y los equipos de RF de las estaciones base para instalar un sistema sobrepuesto independiente, obviamente el costo variará con el método de implantación seleccionado, algunas configuraciones de equipos del sistema tales como repetidores, puede reducir los costos de equipamiento significativamente.

Muchos vendedores ofrecen soporte en el ajuste del equipamiento actual de los locales celulares a la capacidad de modo dual, esto significa que una central existente recibirá nuevo software y las estaciones base recibirán nuevo hardware, ha sido estimado que un equipamiento dual será 1.5 veces uno analógico.

Para rápidamente desplegar un sistema celular digital es posible mantener un sistema analógico existente en operación e instalar un sistema digital sobrepuesto, esto da al proveedor del servicio la opción de usar otro proveedor que puede ser más competitivo o que tenga un producto disponible previo a la central del fabricante existente, esta opción no viene sin costos ocultos, el alcance del sistema sobrepuesto usa los canales de control secundarios dedicados, reduciendo el número total de canales de control disponibles.

Considerando que un canal RF puede servir muchos usuarios, el número de equipo RF de estación base decrece, o la capacidad del sistema estará incrementada, por ejemplo un local celular con 24 canales RF analógicos puede convertir 12 canales a velocidad total TDMA (3 usuarios por un canal de 30 kHz de un canal RF) y ahora soporta 48 canales de voz, con la introducción de canales TDMA a media velocidad (6 usuarios por un canal de 30 kHz de un canal RF), entonces el mismo local celular con 24 canales RF analógicos puede convertir 12 de esos canales a TDMA a media velocidad y ahora soportar 84 canales de voz. Una consideración a futuro es la aceptación de la interpolación de diálogo digital (DSI) para permitir la transmisión de datos de diálogo solo cuando un llamante está activamente hablando.

Esto duplica la capacidad (considerando 50% de actividad de voz) permitiendo que de los mismos 24 canales del local celular se conviertan 12 canales a digital y se tengan hasta 166 canales de voz.

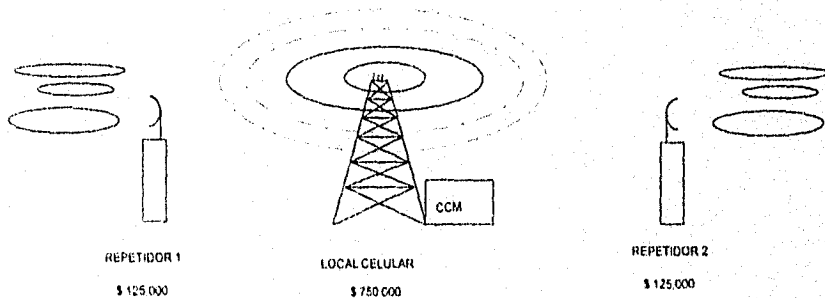
La tabla siguiente muestra un ejemplo de los costos del equipo con diferentes tecnologías .

| | FM | TDMA ₃ | TDMA ₆ | TDMA ₁₂ |
|-------------------------------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Torre y Edif. | \$500,000 | \$500,000 | \$500,000 | \$500,000 |
| No. de canales RF | 50 | 50 | 50 | 50 |
| No. de canales de voz | 50 | 150 | 300 | 600 |
| Costos de hardware por canal | \$10,000 | \$15,000 | \$15,000 | \$15,000 |
| Costos canales | \$500,000 | \$750,000 | \$750,000 | \$750,000 |
| Costos totales | \$1000,000 | \$1250,000 | \$1250,000 | \$1250,000 |
| | 20:1 | 20:1 | 20:1 | 20:1 |
| Total de usuarios | 1,000 | 3,000 | 6,000 | 12,000 |
| Costo por usuarios | \$1,000 | \$417 | \$208 | \$104 |

En la columna 1 vemos la tecnología FM la cual soporta un canal (usuario)por portadora, como aproximadamente cada canal soporta 20 subscriptores, el costo de cada canal RF es dividido entre estos 20 subscriptores, para TDMA₃ donde cada canal RF soporta hasta 3 usuarios, el costo de cada canal RF es compartido por 60 subscriptores, para TDMA₆ donde cada canal RF soporta hasta 6 usuarios (codec media velocidad), el costo de cada canal RF es compartido por 120 subscriptores y quizá la ganancia mas óptima en un futuro cercano es la utilización de la aplicación de Interpolación de dialogo digital (DSI) el cual transmite solo cuando existe información de dialogo, esto entonces reduce el costo por portadora RF a la mitad, entonces el costo por canal es compartido por 240 subscriptores.

Mientras no se sugiere que todos los canales RF disponibles sean convertidos a digital en un futuro cercano, esta tabla muestra que los costos serán un objetivo en el futuro para proyectar un razonable costo para el equipo del sistema celular .

La multiplexación de varios canales de radio a través de un equipo RF reduce el número de equipos RF requeridos, consumo de potencia y requerimientos de enfriamiento, también reduce el tamaño del local celular y requerimientos de respaldo de energía (Generador y batería) y finalmente el costo. Otro ahorro en los costos del sistema se puede obtener del uso de repetidores, considerando que cada canal RF ha incrementado su número de canales de voz, los repetidores pueden ser colocados en lugar de adicionar locales celulares, la figura siguiente muestra un área la cual es cubierta con un costoso local celular y varios repetidores no costosos.



NOTA: NO HAY ENLACES DE COMUNICACION RENTADOS ENTRE EL LOCAL CELULAR Y LOS REPETIDORES

Costo de operación

El uso de una tecnología celular eficiente permite reducir tanto los costos fijos como los de operación, una reducción de los costos de operación es requerida para incrementar el éxito de los sistemas celulares. Cada canal celular que es añadido incrementa los costos fijos y operacionales, en tecnología celular analógica mientras el número de subscriptores incrementa cuando ocurre la división celular también el costo promedio por subscriptor se incrementa, para la conversión a tecnología celular propuesta mientras el número de subscriptores incrementa el costo promedio decrece.

Una de las principales ventajas de la tecnología celular es la reducción de los costos operacionales debidos al ahorro de infraestructura, los beneficios de los costos operacionales por instalar equipo digital incluye una reducción del número total de enlaces de comunicación arrendados, menor número de locales celulares, reducción de requerimientos de arrendamiento de terrenos, reducción de consumo de potencia por estación base y menos fraudes debido a los avanzados procedimientos de verificación.

Enlaces de comunicación

El procesamiento de la señal digital para todas las tecnologías propuestas permite una reducción en el número de enlaces de comunicación requeridos, la información de voz es comprimida en una forma mucho menor que los canales de comunicación existentes, esto permite que varios usuarios (hasta 16 para TDMA de tasa media) compartir un canal de comunicaciones de 64 Kbps (DS0), reduciendo significativamente el número de líneas rentadas.

Arrendamiento de terrenos

En áreas rurales, no se requiere una ubicación exacta para los locales donde se instalan las torres, por lo que el arrendamiento de terrenos no es un problema, sin embargo en las áreas urbanas como son sistemas maduros se requiere de una ubicación exacta para los locales celulares, de esto resulta que exista un incremento en el arrendamiento de los mismos, al utilizar una tecnología RF mas eficiente un local celular puede ser usado para servir mas canales limitando el número total de locales celulares.

Consumo de potencia

Mientras cada canal digital RF consume mas potencia que un canal analógico, la eficiencia total del sistema para TDMA digital celular es mayor debido a la multiplexación de tres canales en un amplificador RF, esto produce una reducción total del consumo de potencia de los amplificadores, esta eficiencia se duplicara con la introducción de codecs de media velocidad y nuevamente se duplicara con el uso de DSI.

Fraude celular

Se estima que el fraude celular en 1990 estaba colocado entre \$100 - 400 millones de dólares, los nuevos estándares celulares han avanzado en la capacidad de validación con lo cual se limitara la habilidad de realizar fraudes en la red celular.

En la medida que los proveedores celulares se animen a desarrollar la tecnología celular para permitir una expansión efectiva de la capacidad del sistema, para que puedan mantener un ahorro en costos es necesario tener una base de subscriptores que puedan usar la tecnología avanzada, los factores clave de mercadotecnia que determinan el éxito del modo celular digital incluyen los costos de terminal al consumidor, confianza del consumidor, nuevas características, disponibilidad de equipos, retroajustes y mercadotecnia del equipo usado.

Costo de la terminal al consumidor

En 1984-1985 los precios de los teléfonos móviles estaban alrededor de \$2000 y \$2500 dolares, actualmente se puede obtener un celular al comprar en una tienda departamental o al contratar el servicio por un plazo determinado de tiempo.

Uno de las razones principales para la continua penetración del mercado celular es la baja en los costos de los equipos terminales y un tiempo aire estable, el alto costo de los equipos celulares impacta su distribución aunque para el cliente sea transparente, debido a que generalmente es subsidiado por los proveedores del servicio, el subsidio promedio en 1990 fue entre \$197 y 274 dolares, para ayudar a introducir estos sistemas en el mercado puede ser necesario incrementar el subsidio en los equipos terminales.

La mayoría de los proveedores de servicio no están preocupados por la ganancia de los equipos como una meta sino que se enfocan en la ganancia del servicio.

Confianza de los clientes

Para efectivamente desarrollar una nueva tecnología los clientes deben tener confianza en que la tecnología persista.

Nuevas características

Algunas de las nuevas características para vender teléfonos incluyen, vida de la batería, tamaño y capacidades de servicio, las cuales han ido mejorando con el paso del tiempo llegando a facilitar el manejo de los aparatos y añadiendo características que simplifican el uso del equipo al cliente.

Recolocación

Una de las formas más fáciles de reducir el bloqueo y rápidamente incrementar la eficiencia del sistema es por recolocar a los suscriptores de gran uso, el costo de convertir a un suscriptor analógico a digital incluye los cambios físicos de equipo y un posible incentivo de activación, el reto es reemplazar los equipos analógicos por digitales a un costo razonable, la recolocación incrementara la demanda total de equipos por varios años.

Instalación de los equipos

Mientras los nuevos suscriptores pueden esperar los mismos requerimientos de instalación que en los teléfonos existentes, los programas de recolocación pueden requerir menos esfuerzo de instalación si solo un transceptor necesita ser instalado, esto permitira que en el tiempo que el suscriptor llega al centro de servicio y se sustituye el transceptor y las preguntas son contestadas.

Incentivo de conversión

El servicio digital proporciona mejor calidad de voz y características avanzadas que no ofrecen los equipos analógicos, es posible que algunos clientes paguen mas por tecnología mas avanzada, de tal forma los estudios han mostrado que la satisfacción de los clientes con el servicio analógico es relativamente estable, por lo que se considera que una mayoría de clientes cambiarían su equipo.

Se pueden pagar altas comisiones o un reemplazo de teléfono para los clientes de alto uso como un incentivo de conversión, si se utiliza el incentivo para reemplazar el equipo analógico, puede ser posible requerir que se devuelva el equipo analógico.

Disponibilidad de equipos

El primer celular fue introducido por Motorola en 1984, con un peso de 30 ozs. y 30 minutos de tiempo aire, en inicio de 1991 Motorola lanzo el equipo MicroTac con un peso de 7.7'ozs. y 45 minutos de tiempo aire, la circuiteria adicional DSP que se requiere para operación DUAL tiene 3 ozs, por lo cual es posible contar con TDMA de 20 ozs.

Considerando lo anteriormente expuesto concluimos que el cambio a una tecnología digital es de gran conveniencia tanto para los proveedores como para los clientes, pues ambos obtienen grandes beneficios de la introducción de la tecnología digital .

El proveedor del servicio obtendrá un mejor aprovechamiento de la infraestructura instalada así como que a los clientes se le podran ofrecer mejoras en el servicio y características adicionales con lo cual podra tener mejor aprovechamiento de su servicio.

Bibliografía

- 1.- A. Bruce Carlson, "Sistemas de Comunicación", Mc Graw Hill
- 2.- M. Schwartz, " Information, Transmission, Modulation and Noise", Mc Graw Hill
- 3.- H. Taub and D. L. Shilling, "Principles of Communication Systems", Mc Graw Hill
- 4.- Seminario de Telecomunicaciones vía Microondas, Facultad de Ingeniería "U.N.A.M." 1981
- 5.- "CMS 88 Sistema de Telefonía Móvil Celular", Ericsson
- 6.- DYNA-T-A-C "Sistemas de Radiotelefonía Celular"
- 7.- Norma técnica para telefonía Celular de TELMEX
- 8.- The Cellular Concept, V.H. Mac Donald AT&T
- 9.- Adjacent and Co-Channel Interference in Large-Cell Cellular Systems S.W.Halpern , J.C. Feggeler, V. H. Mac Donald, J.F. Whitehead, Bell Laboratories Technical Note
- 10.-Recommended Minimum Standards for 800-MHZ (Cellular land stations, Cellular Subscriber Units) Nota Técnica
- 11.-Standard Radiated Signal Measurement Procedure Nota Técnica
- 12.- 800 Mhz Band Radio Propagation Characteristics for Cellular Land Mobile Telephone System, Kunio Watanabe
Nota Técnica
- 13.- Satellite Communication T.Pratt & Charles W. Bostian
- 14.- Revista Voces de Teléfonos de México núms. 295 a 305
- 15.- Dual cellular
- 16.- Cellular Handbook
- 17.-Libros de CCITT