



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANTEPROYECTO DE NORMA DE OPERACIÓN DE RADIOBASES
DE TELEFONIA CELULAR Y PCS.”**

TESIS.

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICO-ELECTRONICO.
PRESENTA:**

DANIEL ORDOÑEZ CARMONA.



**DIRECTOR DE TESIS.
ING. ALEJANDRO VELÁZQUEZ MENA**

CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO 2006

A MIS PADRES, POR OCUPARSE DE MI FORMACIÓN Y BRINDARME TODO SU APOYO INCONDICIONAL.

A MIS HERMANOS POR BRINDARME TODO SU APOYO EN TODO ESTE TRAYECTO TAN LARGO.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA.

A ALEJANDRO VELÁZQUEZ MENA, QUE ME BRINDO TODO SU APOYO Y PACIENCIA PARA REALIZAR ESTE PROYECTO.

A DAN POR TODO SU APOYO AL TRABAJO DE REDACCION, QUE SIN EL NO HUBIESE SIDO POSIBLE, TERMINAR A TIEMPO.

Y A TODOS AQUELLOS AMIGOS TANTO DE LA FACULTAD, COMO DEL TRABAJO, QUE EN DIVERSAS SITUACIONES Y VARIAS FORMAS, CONTRIBUYERON CON LA MEJOR DE LAS INTENSIONES, A LA FINALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO.

I N D I C E

Pagina.

1. INTRODUCCION.....	1
2. CAMPOS DE APLICACIÓN.....	17
2.1 Características de los sistemas celulares.....	18
2.2 Características de la red celular.....	22
2.3 Tecnologías y técnicas de acceso.....	27
2.3.1 AMPS. (Advanced Mobile Phone Service).....	27
2.3.2 CDMA (Code Division Multiple Access).....	32
2.3.3 TDMA (Time Division Multiple Access).....	38
2.3.4 Servicios de comunicaciones personales (PCS).....	39
3. ESPECIFICACIONES DE LAS RADIO BASES.....	46
3.1 Torres de radiocomunicación, efecto ambiental y de seguridad.....	47
3.1.2 Requisitos de Seguridad para las Antenas.....	48
3.2 Observaciones del anteproyecto de norma.....	49
3.3 Cálculo de la Altura Promedio por Encima del Terreno. (APET)....	50
3.4 Potencia y altura de la antena.....	51
3.5 Criterio de separación de co-canal.....	53
3.6 Banda ancha PCS.....	53
3.6.1. Potencia y altura de la antena.....	54
3.6.2. Los límites de los campos de fuerza.....	55
3.6.3. Protecciones de la interferencia.....	55
3.6.4. Límites de la Emisión.....	56
3.6.5. Procedimiento de Cálculo para los Niveles de Señales de PCS y Receptores de Microondas.....	57
3.7 Antecedentes de las torres.....	61
3.7.1 Torres autosoportadas.....	61
3.7.2 Estructura principal tubular triangular.....	64
3.7.3 Escaleras de ascenso y descenso.....	64
3.7.4 Sistema de seguridad o línea de vida.....	64
3.7.5 Cama de guía de ondas vertical y horizontal.....	64
3.7.6 Plataforma de trabajo.....	64

3.7.7	Sistema de protección contra descargas atmosféricas.....	65
3.7.8	Sistema de iluminación o balizamiento nocturno.....	65
3.7.9	Pintura o balizamiento diurno.....	65
3.8	Monopostes o monopolos.....	66
3.9	Monopostes Camuflageados.....	67
3.10	Arriostradas.....	67
3.11	Sistema profesional de tierras físicas.....	69
4.	PINTURA E ILUMINACION DE LAS RADIOBASES.....	70
4.1.	Propósito de la iluminación y pintura.....	71
4.1.1	Los estándares de las marcas de la torre.....	71
4.1.2	Las estructuras que requieren de pintura e iluminación....	72
4.1.3	El principio de cubrir.....	72
4.1.4	Se cubren dos estructuras similares adyacentes.....	73
4.1.5	Se cubre la torre pequeña y grande adyacente a las estructuras.....	73
4.2	Las marcas.....	73
4.2.1	Colores estándares de pintura.....	73
4.2.2	Las superficies que no requieren de pintura.....	74
4.2.3	La pintura de la estructura esquelética.....	74
4.2.4	Las características de bandas.....	74
4.3	Iluminación de día/noche.....	75
4.3.1	Especificaciones de la iluminación de la torre.....	75
4.3.2	Requisitos De Funcionamiento Fotométrico.....	75
4.3.3	Sistema de iluminación.....	76
4.3.4	El sistema de iluminación roja de la torre.....	76
4.3.5	Sistema de iluminación estroboscópica de intensidad media de la torre.....	77
4.3.6	Sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad de la torre.....	78
4.3.6.1	Niveles simultáneos de luces que destellan.....	78
4.3.7	Iluminación dual.....	79

4.4	Provisiones generales.....	79
4.4.1	Requisitos para destello del sistema.....	79
4.4.2	Las luces temporales de la torre.....	80
4.4.3	Iluminación con focos.....	81
4.4.4	Grupos de estructuras.....	81
4.4.5	Modificado del nivel del suelo.....	81
4.4.6	Supervisión de la iluminación de la torre.....	81
4.4.7	Intensidad de las luces de la torre que destellan.....	82
4.4.8	Especificación Fotométrica.....	82
4.5	Sistema de iluminación roja de la torre.....	83
4.5.1	Características de la iluminación roja de la torre.....	84
4.5.1.1	Operación de las luces rojas de la torre.....	84
4.5.2	Faros Rojos Que destellan.....	84
4.5.3	Luces rojas de quemado constante.....	84
4.5.3.1	Uso obligatorio de las luces constantes duales de la torre.....	85
4.5.3.2	Uso permitido de las unidades rojas de luz solas en la torre.....	86
4.5.4	Accesorios.....	86
4.5.5	Postes, torres y estructuras esqueléticas similares.....	87
4.5.5.1	Luz montada superior de la torre.....	87
4.5.5.2	Luces montadas en los niveles intermedios.....	87
4.5.6	Luces rojas.....	88
4.5.6.1	Luces rojas montadas en la parte superior de la torre.....	88
4.5.6.2	El montado de los niveles intermedios.....	89
4.5.7	Estructuras que exceden 45 m en cualquier dimensión horizontal.....	89
4.5.7.1	Estructuras que exceden 45 m ANS.....	89
4.6	Luces omnidireccionales estroboscópicas de media intensidad....	90
4.6.1	Características.....	91

4.6.1.1 Salida Fotometrica.....	91
4.6.1.2 Frecuencia de Destello.....	92
4.6.1.3 Duración del destello.....	92
4.6.1.4 Control de la Intensidad.....	93
4.6.2 Uso de la iluminación de intensidad media.....	93
4.6.2.1 Estructuras.....	93
4.6.2.2 El Apuntador Vertical.....	94
4.6.2.3 Niveles de unidades de iluminación.....	94
4.7. Alta intensidad de la iluminación estroboscópica.....	95
4.7.1 Características.....	95
4.7.1.1 Unidades de iluminación típicas.....	95
4.7.1.2 Salida Fotométrica.....	95
4.7.1.3 Extensión del Haz.....	96
4.7.1.4 Frecuencia de destello.....	96
4.7.1.5 Duración de destello.....	96
4.7.1.6 Control De la Intensidad.....	97
4.7.2 El apuntador vertical.....	97
4.7.2.1 Instalacion.....	97
4.7.2.2 El Apuntar más alto.....	98
4.7.2.3 Casos Especiales.....	98
4.7.3 Número de unidades de iluminación por nivel.....	99
4.7.4 Re-localización u omisión de unidades de iluminación.....	99
4.7.5 Uso de los protectores del hielo.....	101
4.7.5.1 Nivel superior de luces.....	101
5. METODOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS.....	106
5.1 Tolerancia en Potencia.....	107
5.1.1 Determinación de Potencia de Operación del Transmisor.....	107
5.2 Manejo algebraico de los valores de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia.....	108
5.2.1 Factor de Antena.....	108

5.2.2	Densidad de potencia.....	110
5.2.3	Impedancia en espacio libre.....	110
5.2.4	Región de campo Cercano.....	112
5.2.5	Región de campo lejano.....	113
5.2.6	Otros tipos de antenas.....	115
5.2.7	Potencia de recepción.....	117
5.3	Casos típicos de instalación de telefonía móvil.....	118
6.	CONCLUSIONES.....	120
A.	APENDICES.....	i

Capítulo 1

Introducción.

INTRODUCCIÓN.

El objetivo del presente trabajo es establecer un anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, (NOM) con las especificaciones técnicas mínimas y necesarias de instalación y operación que deben cumplir los sistemas de radio frecuencia de las radio bases que prestan el Servicio de Telefonía Celular y PCS (Personal Communication Service). Y proporcionar un criterio mínimo para la especificación, diseño de las radio bases y utilización de accesorios que sean necesarios como son las antenas y elementos estructurales de soporte de las radio bases. Estos estándares no tienen la intención de remplazar o suspender la aplicación de normas anteriores, solo de actualizar las ya existentes y de poner al día con las normas internacionales mas recientes.

El uso de teléfonos móviles celulares se ha incrementado rápidamente desde sus inicios. A nivel mundial se tuvo unos 500 millones de usuarios en el 2001, que se incrementaron hasta 700 millones en el 2003, en el 2004 se tuvieron aproximadamente 1000 millones de usuarios y en 2005 se tuvieron mas de 1200 millones de usuarios. Tecnologías similares, como el Servicio de Radio Especializado (SMR), los *Personal Communication Services* (PCS) han sido introducidos en varias regiones.

Los teléfonos celulares funcionan comunicándose con una estación base próxima, que contiene un transceptor de baja potencia y una antena. La antena está construida normalmente en una torre, en el techo de un edificio u otra estructura que tenga la suficiente altura para una cobertura adecuada. Los conmutadores de la estación base realizan la conexión entre el usuario y la red telefónica.

Dejando aparte las consideraciones estéticas y de impacto visual de las torres que soportan las antenas, muchas personas han expresado su preocupación por los posibles riesgos sanitarios asociados con la energía de radio frecuencia (RF), que generan estas instalaciones, especialmente para las persona que viven en sus cercanías.

Se explican las características básicas de la operación de los diversos sistemas de comunicación personal mediante energía de RF.

El sistema celular. Es un medio de alta capacidad automatizado de uno o más multi-canales a lo que las estaciones proporcionan los servicios de radiocomunicación a los equipos móviles por encima de una gran área de una manera eficaz espectralmente.

Los sistemas celulares emplean las técnicas como el poder transmitir a baja potencia y automático entre las estaciones base de comunicaciones para permitir el re-uso de los cauces (canales) a distancias relativamente cortas. Los sistemas celulares pueden también emplear las técnicas digitales como la codificación de la voz y descifrado, la condensación de los datos, corrección del error, y tiempo, o división del código de acceso múltiple (CDMA) para aumentar la capacidad del sistema.

ESTACIONES BASE.

Los sistemas de comunicación celular necesitan varias estaciones base repartidas por todo el territorio donde se da el servicio. Cuando un usuario realiza una llamada, su teléfono se comunica con una estación base próxima, la cual redirecciona la llamada a una central de conmutación y ésta a su vez se comunica con la red telefónica conmutada terrestre. Si el usuario se mueve entre celdas, la conexión se va traspasando de una estación base a otra.

En sí, cada estación base es una estación de radio de baja potencia que da servicio a una región territorial pequeña, llamada "celda o célula". La localización de una estación base se determina a partir de dos requerimientos del sistema. Por un lado debe proveer la suficiente cobertura en una región (la potencia de la señal debe ser suficiente en toda la celda). De otro lado debe tener la suficiente capacidad (tener suficiente número de canales para acomodar a todos los usuarios que quieren usar el sistema). A medida que el sistema crece las

estaciones base se sitúan más próximas, para aumentar la capacidad, pero la potencia de emisión disminuye para evitar interferencias. De esta manera, en zonas urbanas la densidad de estaciones base es mayor pero su potencia es baja, mientras que en zonas rurales las celdas son mayores y las potencias también.

La altura de la antena es un factor crítico. Debe ser suficientemente alta para dar cobertura a la zona deseada, pero no demasiado para evitar interferencias con estaciones remotas que usan los mismos canales radioeléctricos. Dependiendo de las necesidades del sistema, la altura de las antenas va de 10 a 100 metros sobre el suelo. Estas antenas están montadas frecuentemente en postes elevados, parecidos a farolas, o en torres de estructura metálica reticular, parecidas a las de alta tensión. También se pueden instalar en estructuras preexistentes, como depósitos de agua, torres de alta tensión o edificios. Para reducir el impacto visual de las instalaciones, los proveedores de servicio prefieren usar estructuras ya existentes y compartirlas entre varios.

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA TELEFONÍA CELULAR.

El termino **celular** se debe a la cobertura radioeléctrica de una zona geográfica completa se realiza cubriendo pequeñas regiones llamadas células. En cada una de estas células existe una Radio Base (Station Radio Base, ERB) que controla el tráfico de los teléfonos móviles que se desplazan en la zona correspondiente. A su vez estas estaciones están enlazadas con el Centro de Conmutación de Servicios móviles (Mobile Switching Center, MSC) y este a su vez esta conectado a la Red Telefónica Publica (Public Switched Telecommunications Network, PSTN). El centro de conmutación de servicios móviles a su vez se divide en un conmutador telefónico (PBX) y en el Subsistema de Telefonía Móvil (Mobile Telephony Subsystem, MTS).

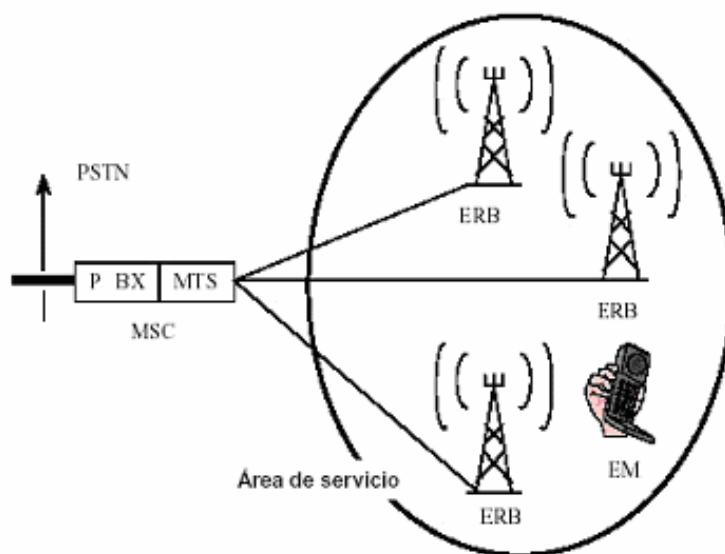


Figura. 1.1. Red celular básica.

Dependiendo del tipo de antena de transmisión empleada en la estación base, se puede cubrir una o más áreas por una estación base. Estas áreas reciben el nombre de células.

Existen dos tipos de células: omnidireccionales y sectoriales.

CÉLULA OMNIDIRECCIONAL.

Estas se producen cuando la estación base está equipada con una antena omnidireccional transmitiendo igualmente en todas direcciones y se forma una área en forma circular, con la estación base en el centro de la célula. La estación móvil dentro de esta área tendrá normalmente una buena conexión con la estación base. Para representar una célula, usualmente se utiliza un hexágono en forma teórica, pero en la realidad el área de cobertura es circular.

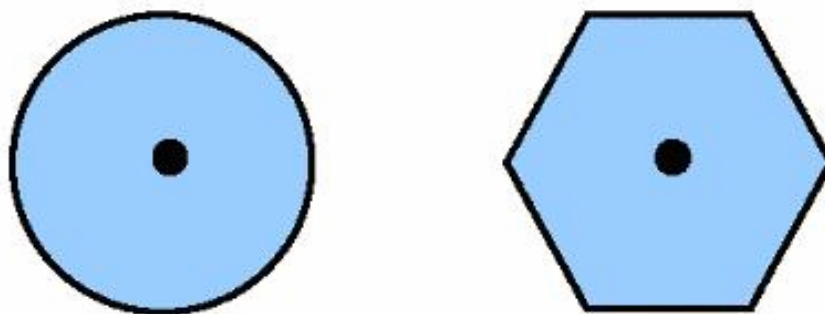


Figura. 1.2. Célula omnidireccional real y representación grafica de una célula omnidireccional.

CÉLULA SECTORIAL

Para formar este tipo de célula la estación base esta equipada con tres antenas direccionales, cada una cubriendo una célula sectorial de 120 grados. En cada una de las estaciones base, algunas unidades de canal están conectadas a una antena cubriendo una célula sectorial; otras unidades de canal están conectadas a la segunda antena cubriendo una segunda célula, y el resto a una antena para tener una tercera célula.

Por lo tanto, una estación base controla a tres células sectoriales. Cuando se muestran tres células sectoriales, se dibujan tres hexágonos, uno para cada célula, con la estación base localizada en la esquina de cada hexágono. Para que se lleve a cabo la cobertura total, las células vecinas deben traslaparse entre sí.

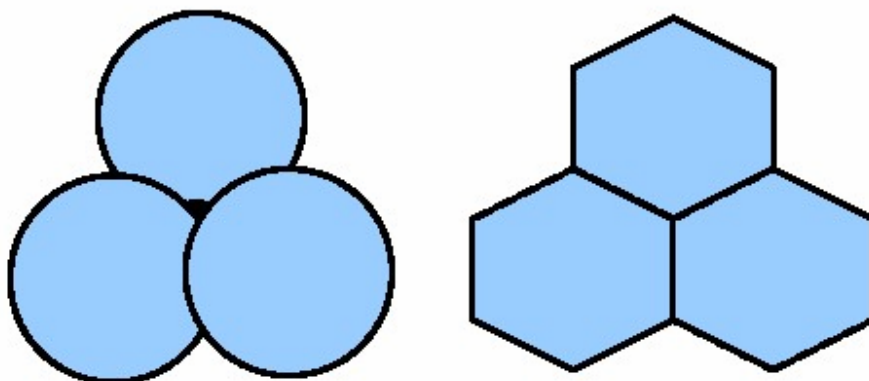


Figura. 1.3. Células sectoriales y representación grafica de células sectoriales.

La estación base esta conectada a un centro de conmutación de servicios móviles por medio de circuitos de enlace punto a punto. La estación base maneja la radiocomunicación con los teléfonos celulares o estaciones móviles y supervisa la calidad de la radio transmisión durante una llamada.

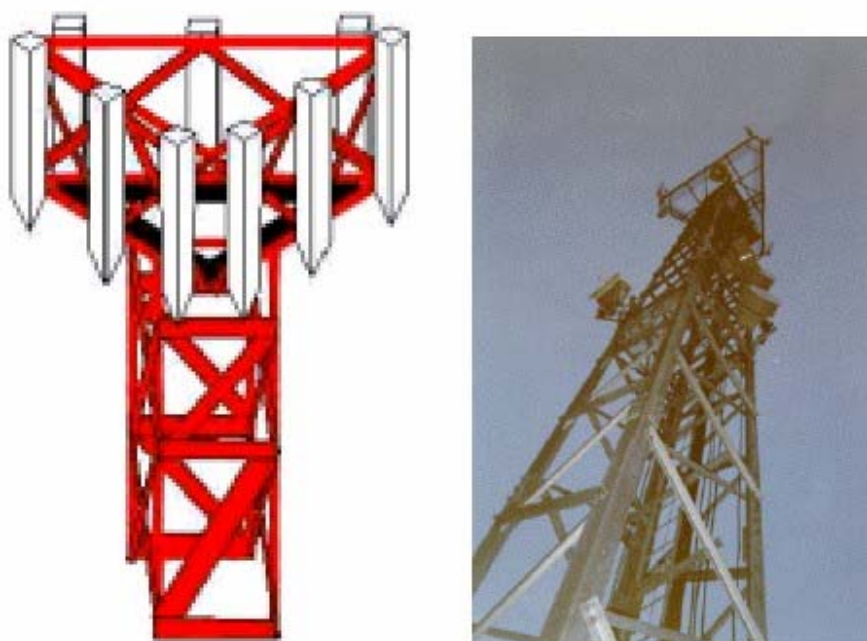


Figura. 1.4. Torre y antenas de la estación base.

Una de las principales características de los sistemas celulares es el reutilizar las frecuencias, que consiste en comunicar al teléfono celular con la estación base por medio de un canal telefónico con frecuencias disponibles en ese momento. El teléfono celular no contiene una frecuencia fija de enlace. Esta técnica permite hacer un eficiente uso del espectro electromagnético disponible, así como atender a más usuarios en un número determinado de canales de radio. Este reuso de frecuencias es posible utilizando canales de la misma frecuencia en varias células que no sean adyacentes, evitando así alguna interferencia.

Todos los teléfonos celulares pueden utilizar un canal de la estación base la cual detectara su desplazamiento en el área, asignándole una nueva frecuencia si cruza la frontera de la célula en que se encontraba y pasa a otra célula diferente, este cambio es imperceptible para el usuario, debido a que su teléfono continua funcionando normalmente.

SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR EN EL MUNDO.

Existen varios sistemas internacionales normalizados de telefonía celular y de servicios móviles en el mundo, los cuales se mencionan a continuación.

Para sistemas analógicos:

- AMPS Avanced Mobile Pone System (Servicio de Telefonía Móvil Avanzado).
- NMT Nordic Mobile Telephony (sistema nórdico telefónico móvil)
- TACS Total Access Communication System (Sistema de comunicación con acceso total).

Mientras para los sistemas digitales existentes son:

- CDMA Code Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Códigos)
- GSM Global System for Mobile (Sistema Global de Comunicaciones Móviles)
- PDC Personal Digital Cellular (Sistema Celular Digital Personal).
- PHS Personal Handyphone System (Sistema Personal de teléfono Práctica)
- TDMA Time Division Múltiple Access (Acceso Múltiple por División de Tiempo)

BENEFICIOS DE LA TELEFONÍA CELULAR DIGITAL.

Los principales beneficios son los siguientes:

- Llamadas de excelente calidad, sin ruido o estática.
- Mejor recepción, sobre todo en lugares cerrados
- Prácticamente libre de clonación.
- La duración de las baterías es mayor.
- Servicios de valor agregado.
- Seguridad y privacidad.

La necesidad de sistemas de telefonía celular digital es el resultado del crecimiento de los servicios de telefonía móvil. A pesar de que los sistemas analógicos funcionan bien, la demanda excede la capacidad en muchas regiones. Para minimizar la posibilidad de congestión de la red celular, se desarrollaron los sistemas digitales. La tecnología celular digital involucra la digitalización de la

señal de la voz y la transmisión sobre el aire de una cadena de bits seriales. Los sistemas digitales ofrecen mayor flexibilidad para servicios adicionales.

Los sistemas celulares digitales son más eficientes que los analógicos debido a que incluyen múltiples transmisiones simultáneas sobre un canal de radio simple.

SERVICIO DE TELEFONÍA MÓVIL AVANZADO (AMPS).

Este sistema es analógico patentado en los Estados Unidos a principio de la década de los ochentas del siglo pasado y fue el primer sistema celular existente. Este sistema trabaja en las bandas de frecuencias de 825 MHz a 845 MHz para la transmisión de la estación móvil a la estación base, y de 870 a 890 MHz en sentido inverso. Actualmente el sistema AMPS se encuentra evolucionando paulatinamente al sistema DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone System), sistema digital, el cual coexiste con el AMPS, en modo dual y funciona con acceso TDMA.

El espectro localizado para AMPS es compartido por dos portadoras celulares en cada área o región. Cada portadora divide el espectro en canales, utilizados para comunicar desde las estaciones bases a las celdas hasta los dispositivos móviles y canales de sentido inverso utilizados para la comunicación entre los dispositivos móviles y las estaciones base. Los canales son divididos en canales de voz de 30 kHz que emplean Frecuencia Modulada (Frequency Modulator, FM) para transmisión de voz.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA).

El estándar IS-136 TDMA define como un canal simple de 30 kHz es descompuesto en pequeños incrementos que pueden ser compartidos por uno o más usuarios. TDMA divide a canal simple en una serie sucesiva de espacios de

tiempo que pueden ser compartidos por un grupo de usuarios (cada espacio de tiempo porta una información de un usuario específico), como se muestra en la figura 1.5.



Figura.1.5. Espacios de tiempo en TDMA.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGOS (CDMA)

El estándar IS-95 CDMA, que equivale al IS-136 TDMA, define como un canal simple, puede ser acondicionado para soportar más de un usuario simultáneamente. Con CDMA todos los usuarios móviles transmiten en la misma frecuencia, pero cada señal de usuario móvil es combinada con una señal pseudo-aleatoria, o código, que hace que la señal aparezca como un ruido de bajo nivel para las otras transmisiones que ocurren al mismo tiempo. La señal original puede ser extraída solo por el conocimiento del código.

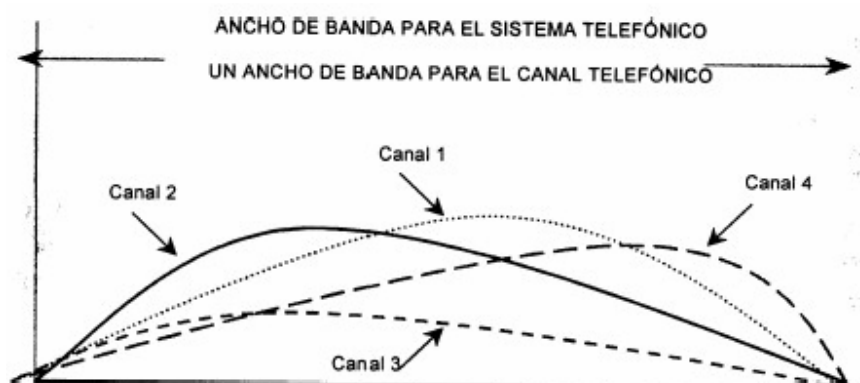


Figura. 1.6. Acceso múltiple por división de códigos.

LAS TECNOLOGÍAS TDMA Y CDMA.

Ambos sistemas TDMA y CDMA pueden ser progresivamente incorporados a las redes celulares existentes, coexistiendo las señales digitales y analógicas. Además, los teléfonos digitales poseen compatibilidad para ser usados en áreas celulares que solo soporten señales analógicas.

TDMA y CDMA fueron desarrollados inicialmente para soportar comunicaciones de voz. Pero con el transcurso del tiempo y uso han sido desarrollados estándares que especifican como usar canales digitales para transmisión de datos.

El sistema CDMA por su gran versatilidad y seguridad es utilizado como sistema de comunicación por el ejército de los Estados Unidos, porque es prácticamente imposible de decodificar.

SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)

El estándar GSM, a semejanza del estándar IS-136 TDMA utiliza acceso múltiple por división de tiempo, pero no son compatibles. Este sistema es uno de los más importantes del mundo, cubre todo el occidente de Europa y ofrece servicios de gran calidad. Uno de sus principales éxitos es que un usuario que se mueve a través de cualquier punto de Europa puede desplazarse sin perder el servicio.

Resumiendo, las características básicas de un sistema celular GSM son:

- Espaciamiento de portadora 30 kHz
- Esquema de acceso TDMA con tecnología digital
- Opera en las bandas de frecuencia de 930 a 960 MHz y de 890 a 915 MHz.
- Tecnología utilizada en más de 120 países en el mundo.
- Más de 160 millones de usuarios

Las nuevas bandas de telefonía denominadas sistema de comunicación personal (Personal Communication System, PCS), operan en la banda de frecuencia de 1850 y 1990 MHz, y solamente utiliza tecnología digital.

PCS. Es una nueva familia de servicios de telecomunicaciones digitales avanzadas, Estos se construyen bajo el concepto de un teléfono inalámbrico pequeño, económico, personal, que extenderá los beneficios de comunicaciones inalámbricas a un segmento más grande del mercado, y constituye a un organizador de nuevos servicios sofisticados. Los servicios de PCS digitales se ofrecen en los 800 MHz y 2 GHz que divide al espectro.

Los teléfonos celulares utilizan la misma tecnología radial en diferentes bandas de frecuencias, pero la información se transmite en forma digital. Esta comprensión permite un mejor aprovechamiento del canal telefónico y por tanto tener más canales disponibles a la vez. Estos teléfonos incluyen otras ventajas tales como el servicio de identificador de llamadas, correo electrónico, mensajes de texto, buzón de mensajes, Internet móvil, etc.

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.

Los sistemas celulares trabajan en la banda de los 800 MHz, específicamente de los 825 a los 845 MHz y de los 870 a los 890 MHz, de acuerdo con la norma NOM-081-SCT1-1993 de la secretaria de comunicaciones y transportes, emitida en nuestro país y avalada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

En las figuras 1.7 y 1.8 se observa la distribución de las frecuencias de las bandas A y B para los usos de telefonía celular. Cada banda dispone de 333 canales para diversos usuarios. El ancho de banda de cada canal telefónico es de 30 MHz.

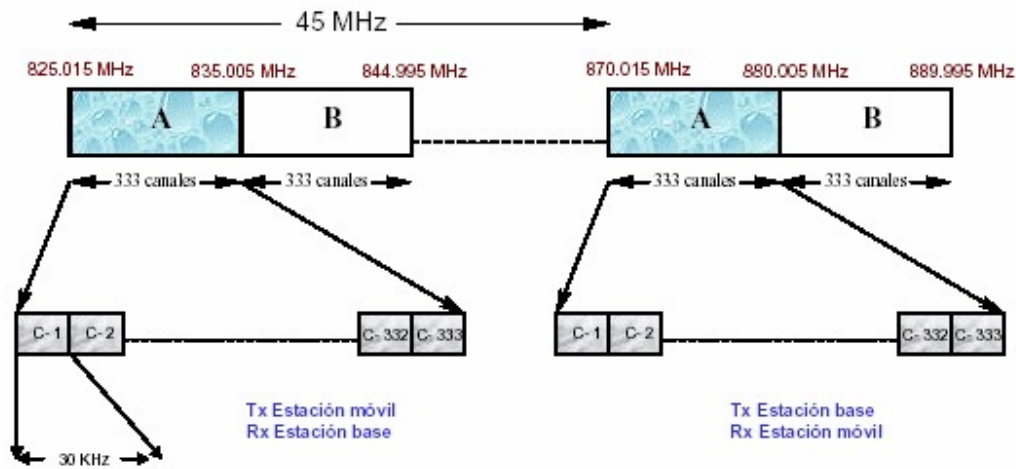


Figura. 1.7. Distribución de frecuencias en la banda A.

La banda celular A comienza a los 825.015 MHz para el canal 1, el cual transmite de la estación móvil a la estación base, mientras que la transmisión inversa se efectúa en forma simultánea a partir de los 870.015 MHz, es decir a una separación de 45 MHz. Cada canal tiene un ancho de banda de 30 MHz, por lo que el canal 333 de esta banda termina a los 835.005 MHz.

Mientras que la banda celular B comienza a los 835.005 MHz, esta frecuencia es el punto interior del canal 334, es decir, el canal 1 de la banda B, al igual que en la banda A, esta frecuencia corresponde al primer canal de transmisión de la banda B de la estación móvil a la recepción de la banda base. Mientras que el primer canal de transmisión de la banda base corresponde a 880.005 MHz, también a una separación de 45 MHz. Mientras que el último canal de esta banda, el 666 termina a los 899.995 MHz.

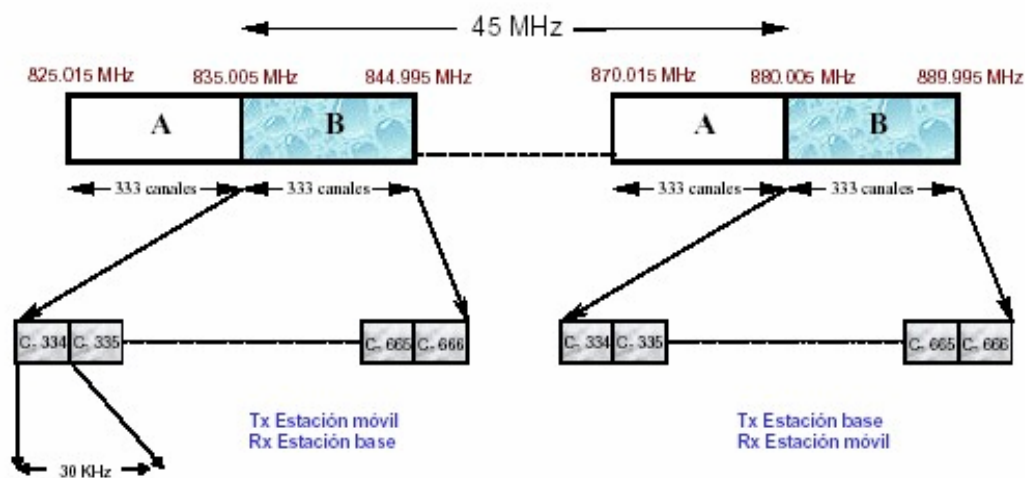


Figura. 1.8. Distribución de frecuencias en la banda B.

En nuestro país las regiones celulares se encuentran concesionadas por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) en las bandas A y B por regiones celulares.

CLONACIÓN DE LÍNEAS TELEFÓNICAS.

En los teléfonos celulares analógicos se puede genera un problema llamado clonación. Cuando una línea telefónica es clonada, es porque ha robado sus números de identificación o par de identificación, y hace mal uso de la cuenta original. Esto se produce porque al momento de realizar una llamada desde un teléfono celular analógico se transmiten dos datos de información a la red al inicio de la llamada:

- Un Mobile identification Number (MIN), ó numero de identificación móvil, que consiste de 10 dígitos que es el numero telefónico asignado al aparato.
- Un Electronic Serial Number ESN ó numero de serie telefónico, un numero de 32 bits programado en el teléfono cuando es fabricado.

El par de datos MIN/ESN es una marca única para identificación de cada teléfono y así la compañía sabe a quien cobrar la cuenta por el servicio. Cuando un teléfono analógico transmite su MIN/ESN es “posible escucharlo” y capturar el par. Esta deficiencia de la clonación en los teléfonos celulares analógicos, es mucho más difícil de realizar en los teléfonos digitales, debido a que estos, presentan encriptación de códigos.

Capítulo 2.

Campos de Aplicación.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS CELULARES.

Antes de la invención de las células, se usaban radioteléfonos que transmitían hacia una antena central en cada ciudad con 25 canales disponibles. Las desventajas de este sistema eran que exigían transmisores muy potentes, o al menos, lo suficiente para transmitir a 60 o a 80 km. Esto implicaba un sistema muy caro y frecuencias insuficientes.

Para facilitar los análisis matemáticos se adaptó como representación de la célula un hexágono, que es un polígono regular con perfil próximo al de un círculo.

También difiere de la teoría el límite entre células. En la práctica las áreas de cobertura de las células tienen los límites sobrepuestos, lo que hace posible la continuidad de la cobertura (Hand-off).

En cada célula existe una estación base transmisora, con lo cual, se pueden tener múltiples canales para el uso de decenas de celulares de manera simultánea. Cuando un usuario pasa de una célula a otra deja la frecuencia que estaba utilizando, para el uso de otro celular, y toma la frecuencia libre de la célula a la que pasó.

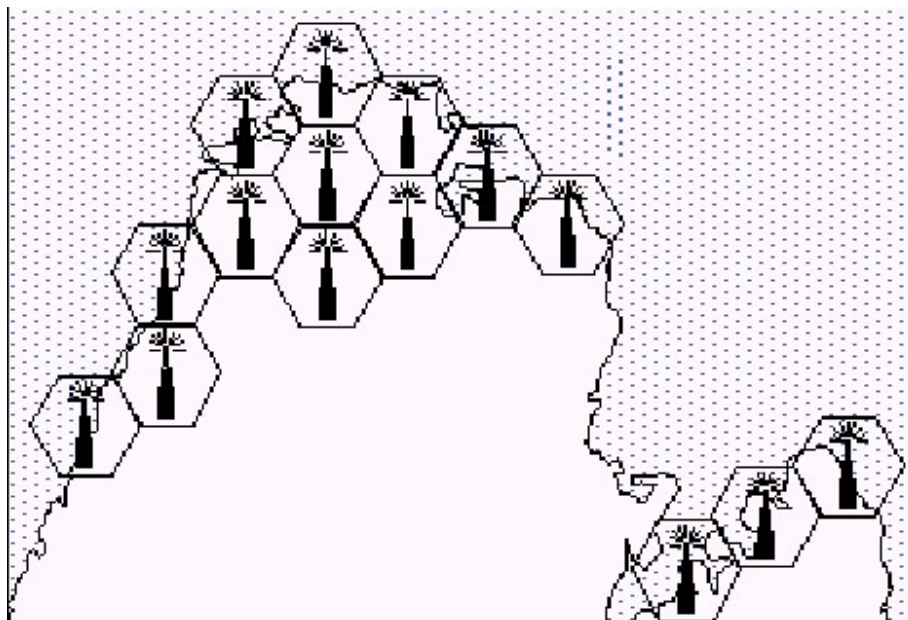


Figura. 2.1. Conjunto de células.

Como las distancias de transmisión no son muy grandes, los teléfonos móviles pueden transmitir con poca energía; por lo tanto, con pequeñas baterías que permiten un tamaño y peso reducido.

CENTRAL CELULAR. Es una central de conmutación especialmente dedicada al servicio celular, además de desempeñar las funciones relativas al tratamiento, monitoreo, manejo de los canales de control y voz del sistema, también sirve de interfaz entre el abonado celular y la red fija u otros sistemas celulares.

SITIO CELULAR. Es el elemento responsable de atender a las llamadas originadas o destinadas a su área de cobertura. Representa la interfaz entre la unidad móvil y el sistema. Desempeña funciones locales de control, monitoreo y supervisión de llamadas, además de iniciar el proceso de Hand-off cuando la unidad móvil se desplaza de un sitio celular a otro.

RED PÚBLICA TELEFONIA CONMUTADA (PSTN). La central celular está conectada por medio de troncales a una o más centrales de la red pública fija, a fin de integrar la red celular con las otras redes de comunicaciones existentes y permitir las llamadas entre los abonados móviles y los abonados de la red pública.

CANALES. Los canales utilizados en los sistemas móviles, se componen de un par de frecuencias, una destinada a la transmisión de la comunicación (forward), y otra para la recepción de la comunicación (reverse).

Para poder llevar a cabo una llamada es necesario que se comuniquen los sitios celulares con la central celular.

A su vez la Central Celular requiere comunicarse con otras centrales dentro de la Red o hacia la Red Pública y a través de ésta, también puede comunicarse con otras redes celulares.

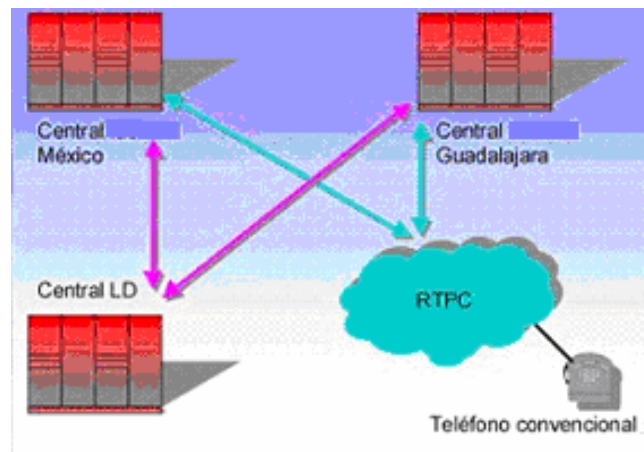


Figura. 2.2 Centrales de comunicación.

La combinación de diversos factores está fomentando continuamente una evolución en el ámbito de las telecomunicaciones y dentro de éstas, de los sistemas de comunicación móvil.

Se reconocen principalmente tres componentes para esta evolución:

- 1) Social (estilos de vida basados en información y movilidad).
- 2) Tecnológica (cada vez mayores velocidades en los sistemas, más aplicaciones multimedia y terminales cada vez más compactas y poderosas)
- 3) De mercado (crecimiento acelerado de la telefonía móvil, del Internet, del comercio electrónico y del uso de computadoras portátiles).

RED INALAMBRICA INTELIGENTE.

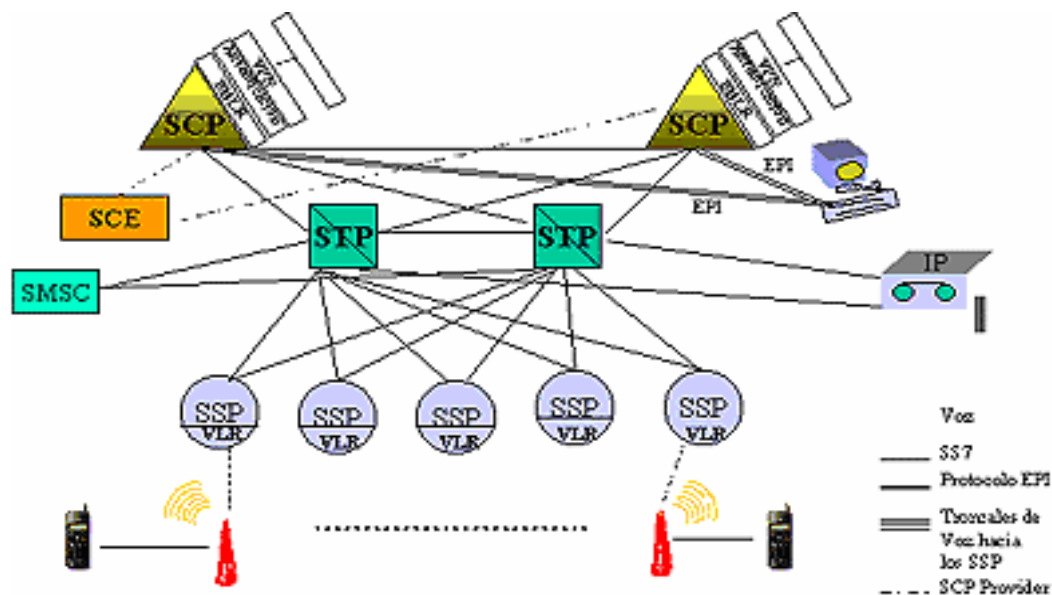


Figura 2.3 Red inteligente de telefonía celular

La Evolución hacia el concepto de WIN (Wireless Intelligent Network) la Red Inalámbrica Inteligente brinda servicios avanzados a los usuarios y mantener en el mercado una posición de liderazgo. Y los elementos que conforman la red son los siguientes:

1. **SSP** (Service Switching Point) Punto de Conmutación de los Servicios, es la parte de la central de conmutación encargada de demandar información sobre una llamada al SCP (Service Control Point ó Punto de Control de los Servicios) o IP (Intelligent Peripheral). De acuerdo a la información obtenida, realizará el procesamiento adecuado de la llamada.
2. **STP** (Service Transfer Point) el servicio de punto de transferencia es el conmutador de señalización (compuesta de mensajes para que los elementos de una red se comuniquen) de la red, maneja y distribuye la señalización entre los diferentes elementos de la red, como los SSPs, HLRs y SCPs.

3. **SCP** (Service Control Point) es el sistema de la red que proporciona información sobre algún servicio en particular al SSP, lo hace a través de los enlaces de señalización SS7.

4. **IP** (Intelligent Peripheral) interactúa entre la red y el usuario haciendo más flexible la información. Proporciona recursos como anuncios de voz, reconocimiento de voz.

Toma información traduciéndola a datos para que otro elemento la analice en la red (Por ejemplo el SCP).

5. **VLR** (Visitor Location Register) el registro de Localización de Visitantes mantiene registrada información sobre los usuarios visitantes Roamers. Puede haber un VLR por central celular o bien uno para un grupo de centrales o MSCs (Mobile Switching Center ó Central de Conmutación Móvil).

6. **HLR** (Home Location Visitor Register) el registro de Localización de Usuarios de Casa) contiene la información sobre el perfil y estado de cada suscriptor. Cuando el usuario está de visitante en otro MSC, el VLR visitado pregunta al HLR por la información del suscriptor visitante.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA RED CELULAR.

Roaming.

En los sistemas modernos, el teléfono móvil recibe una identificación del sistema del operador al encenderse. Si en ese momento, el teléfono móvil detecta que la identificación del sistema no es la de su operador, es porque esta en “roaming”; es decir, esta usando los servicios de otro operador; con lo cual se puede usar un teléfono móvil en diferentes países.

Cuando es encendido, el móvil también transmite un pedido de registro, con lo cual, la red no tendrá problemas para encontrar al móvil.

Handoff.

La transición del enlace de comunicación de una estación base a otra, aledaña, se conoce como “handoff”.

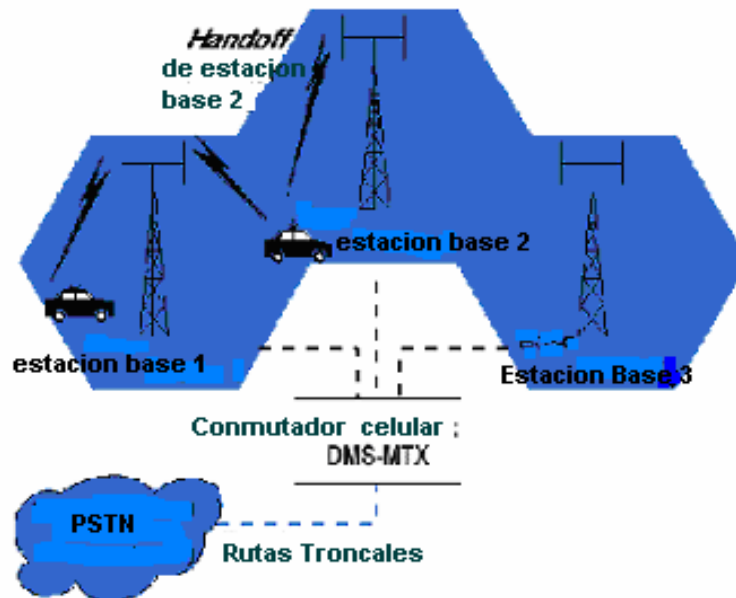


Figura. 2.4 Sistema Hand-off.

El sistema CDMA define diferentes procesos de “handoff”, que se explican a continuación.

1. El “handoff bajo”. Durante el “handoff”, un móvil mantiene, simultáneamente, conexión con dos o tres estaciones base. Cuando el móvil se mueve de su célula actual (fuente) a la siguiente célula (objetivo), siempre se mantiene una conexión de canal de tráfico con ambas células. En el enlace de bajada, el móvil usa el receptor múltiple para demodular dos señales separadas de dos estaciones base diferentes. Las dos señales se combinan para obtener una señal compuesta de mejor calidad. En el enlace de subida, la señal que transmite el móvil se recibe por ambas estaciones base. Las dos células demodulan la señal por separado y envían las tramas demoduladas al centro de conmutación móvil (MSC, “mobile switching center”). El MSC contiene un selector que obtiene la mejor trama de las dos.

El "handoff bajo". Este tipo de "handoff" ocurre cuando un móvil hace una transición entre dos sectores de la misma célula. En el enlace de bajada, el móvil mejora la misma clase de combinación de proceso que el "handoff bajo". En este caso, el móvil usa su receptor múltiple para combinar las señales recibidas de los dos sectores. En el enlace de subida, sin embargo, dos sectores de la misma célula reciben simultáneamente las dos señales del móvil. Estas señales son demoduladas y combinadas dentro de la célula, de tal forma que únicamente se envía una trama al MSC.

2. El "handoff firme". El sistema CDMA hace dos tipos de "handoffs firme". Un "handoff CDMA a CDMA" ocurre cuando el móvil hace una transición entre dos portadoras CDMA (por ejemplo, dos canales de espectro esparcido que están centrados en diferentes frecuencias). Este "handoff firme" ocurre también cuando el móvil hace una transición entre dos sistemas diferentes de operadores. Al "handoff CDMA a CDMA" también se le llama "D a D handoff". Y el "handoff CDMA a analógico" ocurre cuando una llamada CDMA se guía a una red analógica. Esto puede ocurrir cuando el móvil viaja en un área donde hay servicio analógico pero no hay servicio CDMA. El "handoff CDMA a analógico" se le llama "handoff D a A".

Es importante notar que cada sector en un sistema CDMA se distingue de cualquier otro por su canal piloto. Donde el canal piloto es uno de los cuatro canales, 'paging', 'sync' y canales de tráfico en el enlace de bajada, y sirve como un "faro" para el sector y ayuda al móvil a adquirir otros canales lógicos del sector. El canal piloto no contiene información más que en el código corto PN (Pseudo Noise) Pseudo ruido.

Se usa un término especial para describir la SNR del canal de piloto: energía por chip por densidad de interferencia, o E_c / I_0 . La energía por chip E_c / I_0 es diferente de la energía por bit E_b en que "chips" se refiere a los bits en las secuencias esparcidas PN. Dado que no hay información en banda base contenida en el canal de piloto, el piloto no pasa por el proceso opuesto al esparcimiento y estos bits no se recuperan.

El móvil constantemente notifica a la estación base las condiciones de la propagación local; la estación base hace uso de esta información para tomar decisiones sobre el “handoff”. Este “handoff” asistido del móvil (MAHO, “mobile-assisted handoff”) actúa cuando el móvil toma una medida del E_c/I_0 del enlace de bajada y reporta el resultado de la medida a la estación base. Dado que cada estación base transmite su propio piloto en un diferente “offset” PN, el E_c/I_0 de un piloto da una buena indicación de si un sector en particular puede o no ser el sector más apropiado para servir al móvil.

En el manejo del proceso de “handoff”, el móvil mantiene en su memoria cuatro listas que se excluyen entre sí compuestas por los sectores de las estaciones base. A estas listas también se les llama conjuntos. Los cuatro conjuntos son conjunto activo (“active”), conjunto candidato (“candidate”), conjunto vecino (“neighbor”), y conjunto residuo (“remaining”).

El conjunto de canales activo contiene los canales pilotos de aquellos sectores que se están comunicando con el móvil en los canales de tráfico. Si el conjunto activo contiene únicamente un piloto, entonces el móvil no está en “soft handoff”. Si el conjunto activo contiene más de un piloto, entonces el móvil mantiene la conexión con todos esos sectores en canales de tráfico separados. La estación base controla esencialmente el proceso de “handoff” porque se puede agregar únicamente un piloto al conjunto activo si la estación base envía un “mensaje de dirección de handoff” (“handoff direction message”) al móvil y el mensaje contiene el piloto en particular que se va a agregar al conjunto activo. El conjunto activo puede contener a lo más seis pilotos.

El conjunto de canales candidato contiene aquellos canales pilotos cuyos E_c/I_0 son suficientes para hacerlos candidatos de handoff. Esto significa que si el E_c/I_0 de un canal piloto en particular es más grande que el umbral de detección de piloto (“pilot detection threshold”) “T_ADD”, entonces ese piloto se agrega al conjunto candidato. El conjunto candidato solo puede contener seis pilotos.

El **conjunto vecino** contiene aquellos pilotos que están en la lista vecino del actual sector servidor del móvil. El conjunto vecino contiene a lo más 20 pilotos.

El **conjunto residuo** contiene todos los posibles pilotos en el sistema para esta frecuencia portadora, excluyendo a los pilotos que están en los conjuntos activo, candidato y vecino.

Proceso.

A continuación se muestra el proceso que sigue una llamada para entrar en “hand off”:

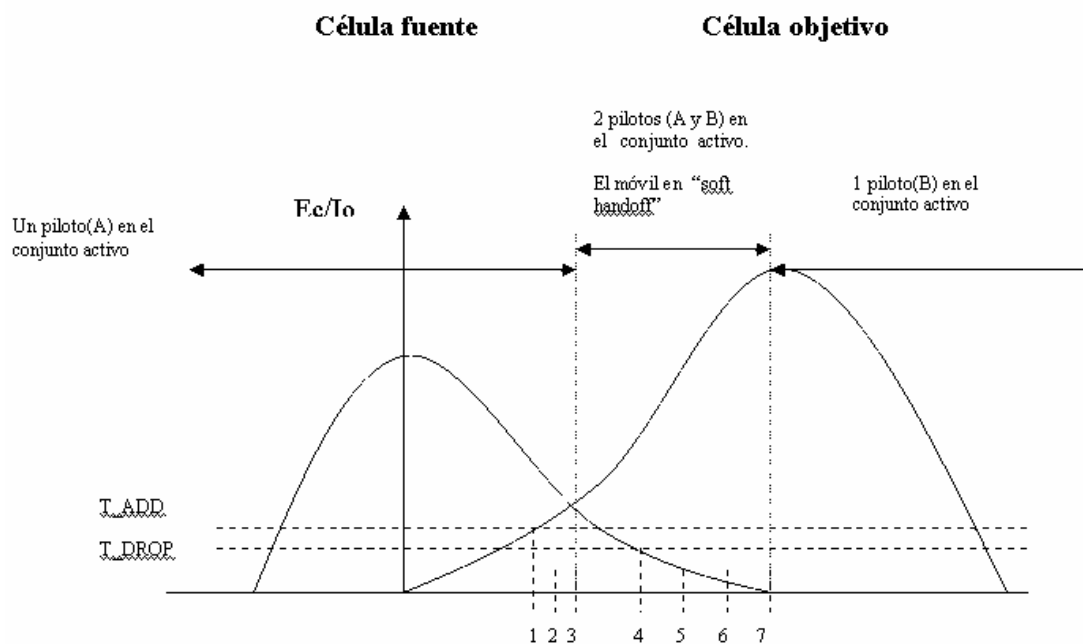


Figura. 2.5 Grafica del Proceso Handoff.

1. En primera instancia el móvil se encuentra alimentado únicamente por la célula fuente, y su conjunto activo contiene tan solo al piloto A(célula fuente). El móvil mide el nivel de E_c/I_0 del piloto B(célula objetivo) y si lo encuentra mayor que " T_{ADD} ", el móvil envía un mensaje de medida de fuerza de piloto ("pilot strength measurement message") y transfiere al piloto B del conjunto vecino al conjunto candidato.

2. Ahora el móvil recibe un “mensaje de dirección de handoff” (“handoff direction message”) de la célula fuente. Dicho mensaje ordena al móvil a comenzar la comunicación en un nuevo canal de tráfico con la célula objetivo. El mensaje contiene el “PN offset” de la célula objetivo y el código del nuevo canal de tráfico.
3. Entonces el móvil mueve el piloto del conjunto candidato al conjunto activo. En este momento el móvil envía un “mensaje de acabado de handoff” (“handoff completion message”) inmediatamente después de adquirir el canal de tráfico de bajada especificado en el “mensaje de dirección de handoff” (“handoff direction message”). Ahora el conjunto activo contiene dos pilotos en su lista.
4. Después de que tiene dos pilotos, el móvil detecta que el piloto A ha caído por debajo de “T_DROP” (Drop timer Threshold) y es entonces cuando el móvil inicia el contador de tiempo o “drop timer”.
5. Cuando el “drop timer” alcanza el valor correspondiente a “T_TDROD” el móvil envía un mensaje de medida de fuerza de piloto (“pilot strength measurement message”).
6. Una vez que el móvil recibe un “mensaje de dirección de handoff”, el mensaje contiene únicamente el PN offset de la célula objetivo.
7. Y finalmente el móvil tiene que cambiar el piloto fuente del conjunto activo al conjunto vecino, así como enviar un mensaje para indicar que el “handoff” ha terminado.

2.3 TECNOLOGÍAS Y TÉCNICAS DE ACCESO

2.3.1 AMPS. (Advanced Mobile Phone Service)

Arquitectura del Sistema

AMPS usa una red sitios de células “cell-sites” y oficinas de conmutación “switching offices” que funcionan como interfaz para conectarse con la red de línea de tierra “landline” del

sistema de telefonía existente y los móviles. Usa el concepto **celular** (Propuesto por primera vez en los laboratorios Bell por D. H. Ring en 1947) con células hexagonales para dividir el área total de los sistemas sin traslape.

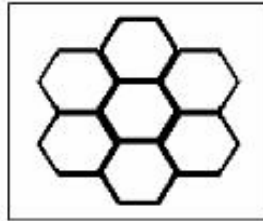


Figura. 2.6 Concepto de célula.

Sitios Celulares

Los sitios celulares fueron posicionados en el centro de la célula (cuando empezaba el sistema) y sobre esquinas alternadas de la célula (Fig. 2.7). Estos sitios de células cubrían a los usuarios móviles de estas específicas celdas en las cuales ellos estaban presentes. Cuando el sistema se fue madurando, cada sitio de célula presente sobre la esquina alterna de la célula usó antenas direccionales con un ancho de haz de 120° para iluminar porciones de las tres células adyacentes que conocían el sitio de célula. Este arreglo proveía una diversidad de radiación espacial y permitía la protección de una señal más uniforme en la presencia de obstáculos como edificios, colinas, etc. El uso de antenas direccionales más que omnidireccionales proveía una relación señal a ruido de 4 – 5 dB.

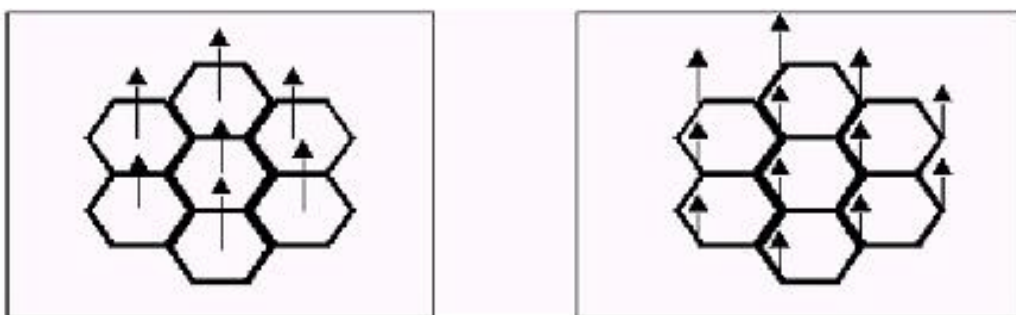


Figura. 2.7 Los comienzos hacia arriba y los sistemas maduros

Conmutación de las Telecomunicaciones Móviles (MTSO)

Mobile Telecommunications Switching Office

Los sitios de células son interconectados con la Oficina de Conmutación de las Telecomunicaciones Móviles (MTSO) por medio de cables. Las troncales que trabajan a la frecuencia de voz llevan las llamadas de voz y ligas de conexión de datos de 2.4kbps entre las MTSO (Fig. 2.8).

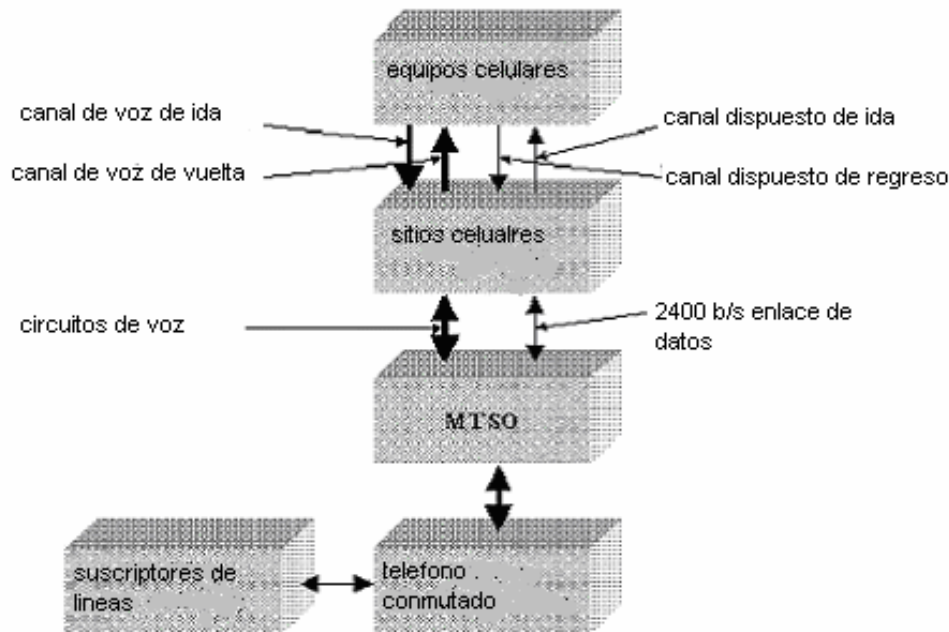


Figura. 2.8 Los elementos de una red móvil.

Frecuencia de Operación de AMPS

El sistema AMPS usó un ancho de banda del sistema total de 40MHz en la banda de los 800MHz (como se ubicó por la FCC, Federal Communication Commission) con 20MHz del sitio de célula a la comunicación móvil (enlace hacia abajo, "downlink") y 20 MHz del móvil al sitio de célula (enlace hacia arriba, "uplink"). Los canales "uplink" usaron la banda de frecuencia de 870-890 MHz y los canales "downlink" usaron la banda de frecuencia de 825-845 MHz. Cada canal consiste de un par de caminos separados por 45MHz. La modulación en frecuencia se utilizó para la comunicación y el ancho de banda por canal fue de 30 kHz con

una desviación de frecuencia máxima de 12kHz. Esto proporciona un total de 666 canales duplex disponibles para el sistema.

Frecuencia de Reuso

El sistema AMPS usó el concepto de la frecuencia de reuso en las comunicaciones celulares, donde, el número total de células son divididas dentro de "clusters" y cada célula dentro del "cluster" le serán asignada frecuencias las cuales son distintas y no interfieren con las frecuencias de las células adyacentes. El mismo patrón de asignación de canales es repetido en los "clusters" adyacentes. En tamaño mínimo de un "cluster" (N) fue determinado de acuerdo a las condiciones de interferencia co-canal y fue directamente relacionado a un parámetro llamado la relación d/r , donde 'd' es la distancia entre las células las cuales reusan los mismos canales y 'r' es el radio de la célula. Un valor de $d/r = 4.6$ fue encontrado adecuado para antenas direccionales y d/r de 6.0 fue requerido para antenas omnidireccionales para mantener una relación señal a ruido de 17 dB requerida para una buena calidad de transmisión. Esto corresponde a un valor de $N = 7$ para antenas direccionales y $N = 12$ para antenas omnidireccionales el cual fue utilizado como el tamaño de un "cluster" en el sistema AMPS (Fig. 2.9.).

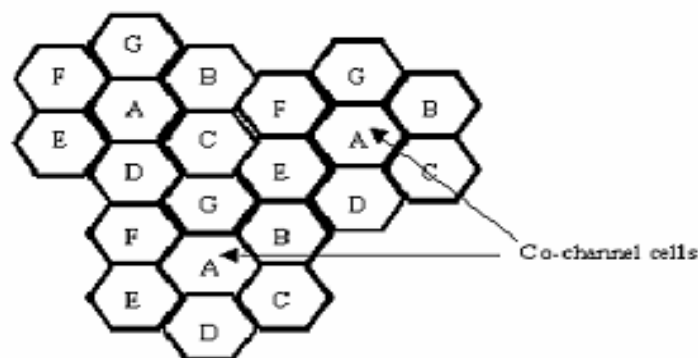


Figura. 2.9 El concepto de frecuencia de reuso y clusters de la célula (para $N = 7$).

División de la Célula

En áreas donde la densidad de tráfico es muy alta, nuevas células pueden ser agregadas entre los sitios de células ya existentes para obtener un nuevo patrón de células con la mitad

de dimensión lineal que los sitios de células originales. La división de células en este patrón incrementa el número de canales, desde que las células pequeñas pueden soportar varios canales y largos, manteniendo la misma relación d/r. Asignando apropiadamente las frecuencias de radio de canal, en sistema AMPS puede permitir la coexistencia de células largas y pequeñas. Cuando el crecimiento de un cliente se incrementa, las células pequeñas pueden ser subdivididas más para incrementar la capacidad del sistema. La eficiencia del espectro fue alcanzada en el sistema AMPS, por este método bajo el costo del número de sitios de células requeridos para un área particular.

Canales de Control

Hay dos tipos de canales de control:

1. “Paging” – Usado para determinar si un móvil estaba disponible para recibir una llamada entrante.
2. “Access” – Usado para la función de hacer una llamada originada desde un móvil (o) para responder a una señal “paging”.

Los 21 canales más altos son siempre usados para “paging” y “access” y hay un factor de reuso de N para controlar también los canales, el cual es, en general, diferente de los canales de voz. Esta frecuencia del factor de reuso varia de ciudad en ciudad y es transmitida a todos los móviles sobre los canales de configuración. Pero cuando el sistema crece, el número de canales de “access” y “paging” será incrementado para manejar la capacidad de tráfico.

Capacidad del Sistema

Con un total de 666 canales duplex (40 MHz/ 60MHz) disponibles, podemos calcular la capacidad del sistema como sigue:

- **Caso omnidireccional.** Con cada “cluster” teniendo 12 células, el número de canales por célula es aproximadamente 56.

- **Caso antena direccional.** Con cada “cluster” teniendo 7 células, el número de canales por célula es aproximadamente 96. Cada antena direccional ahora maneja 32 canales.

Es importante notar que esta capacidad incluye los canales de control también. Para calcular la capacidad debida a los canales de voz exclusivamente, podemos asumir que los 21 canales más altos son siempre usados para propósitos de control y proceder a derivar la nueva capacidad con 54 canales para el caso omnidireccional y 92 canales para el caso de las antenas direccionales.

2.3.2 CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS)

El servicio de acceso múltiple por división de tiempo nace en la industria militar, comienza a desarrollarse comercialmente en los 80's y logra su auge cuando la TIA (Telecommunications Industry Association) publica el estándar IS-95 diseñado para que las terminales móviles fueran duales (que funcionaran tanto en modo AMPS como en CDMA).

Características del sistema AMPS.

- Relacionados al sistema.
 - Numero de canales duplex: 2 grupos de 416
 - Radio de celdas de: 2-20 km.
 - Rango de frecuencias: MS-BS (824-894 MHz) y BS-MS (869-894 MHz)
 - Espaciamiento entre canales: 30 kHz. Ver figura 2.10.
 - Método de acceso: FDMA/FDD.
 - Transmisión de voz: FM.
 - Señalización: Datos: FSK a 10 kbps.
 - Numero de celdas: 50 (típico)
 - Máxima potencia radiada por la estación base: 100W por canal.
 - Separación entre canales Rx y Tx: 45 MHz.

- Sistema de comunicación.
 - Calidad de voz: similar a la telefonía convencional
 - Procesamiento de voz : compansor silábico 2:1
 - Grado de servicio: Probabilidad de bloqueo del 2%
- Unidad móvil.
 - Potencia de Tx: 1-3W (nominal)
 - Control de potencia de Tx:10 pasos con 4 dB de atenuación de cada uno.
 - Sensibilidad de Rx: -116 dBm para una fuente de 50W.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA CDMA.

1) **Alta capacidad.** CDMA cuenta con 5 a 8 veces mayor capacidad que AMPS y 4 a 5 veces más que GSM. Ver figuras comparativas

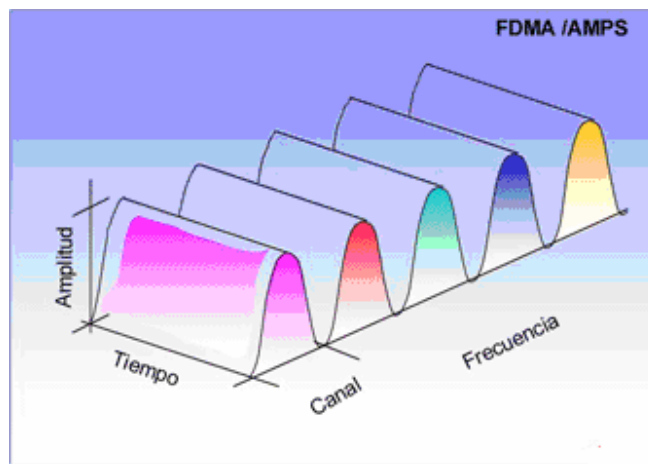


Figura. 2.10 En AMPS se asigna un usuario por canal de 30 KHz

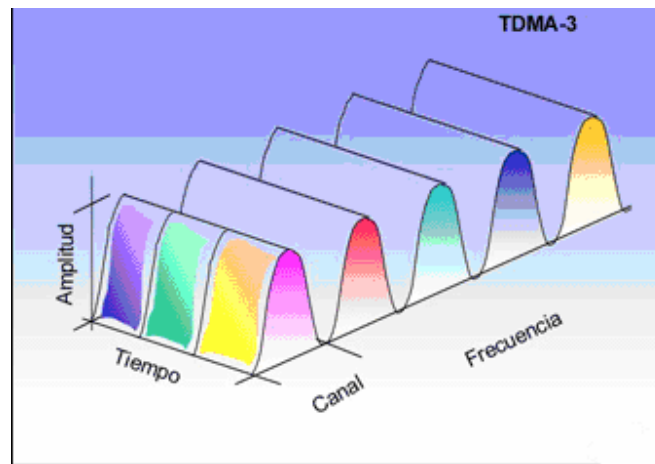


Figura. 2.11 TDMA Asigna tres usuarios por canal de 30 KHz

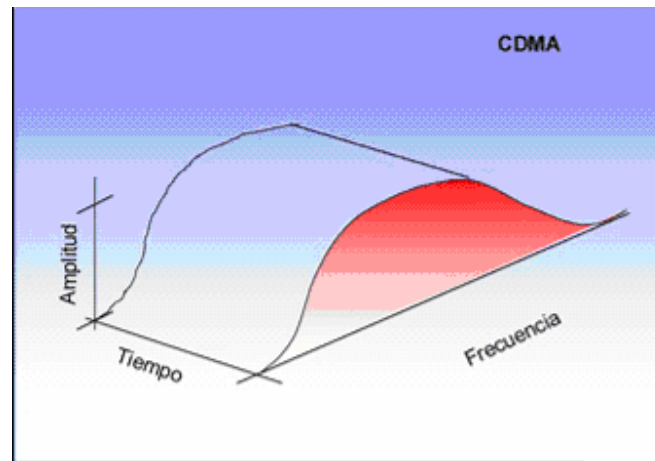


Figura. 2.12 CDMA puede alojar "n" usuarios por canal de 1.25 MHz

2) Transmisión en espectro disperso. CDMA utiliza códigos digitales para cada usuario en cada llamada. El espectro disponible (1.25 MHz) se "divide" virtualmente en canales de tráfico, los canales se distinguen asignando a cada usuario un código digital que sólo conoce el móvil y el receptor con el cuál pueden decodificar la señal apropiada. Ver figura 2.13

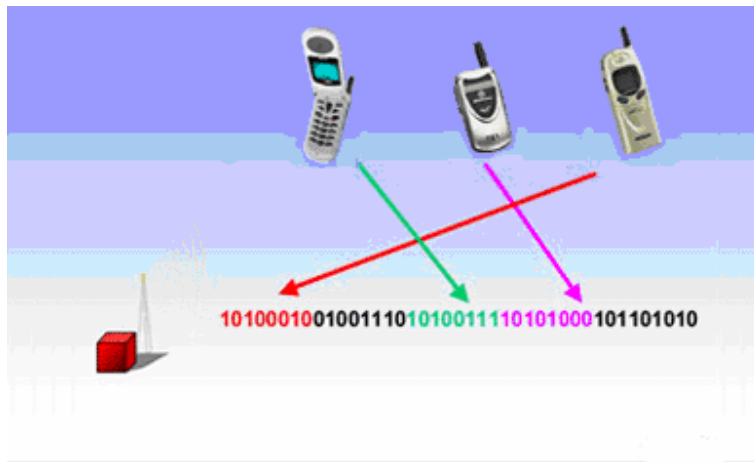


Figura.2.13 En CDMA múltiples usuarios transmiten en la misma frecuencia portadora, pero cada receptor y transmisor conoce su código (refiere a inciso 2)

EFICIENCIA ESPECTRAL. La eficiencia espectral de un sistema CDMA es mucho mayor que los sistemas AMPS o TDMA. Como se puede ver en la tabla siguiente.

	AMPS	TDMA	CDMA (8Kbps)
Ancho de Banda	1.25 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz
Canales de RF	42	42	1
Canales RF / Sitio	6	6	1
Canales de Voz / Sitio	6	18	39

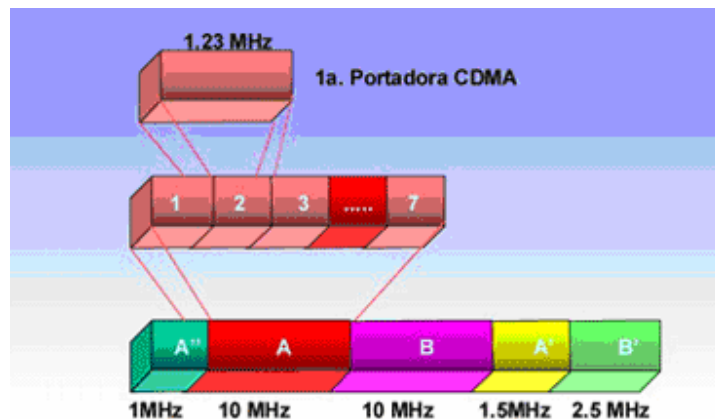


Figura 2.14 Capacidad del Espectro para CDMA

3) **Soft Handoff.** Cuando un móvil se aleja demasiado del sitio que lo está atendiendo y otro sitio detecta su señal, no le "pasa" la llamada al otro sitio como sucede en un sistema AMPS, sino que ambos sitios toman la señal del móvil y durante el procesamiento se "suman", obteniendo una señal con toda la información necesaria.

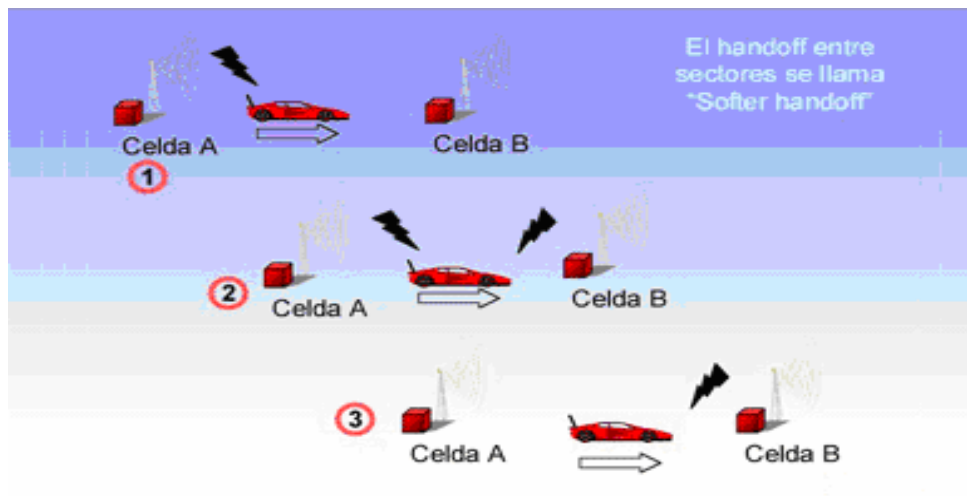


Figura. 2.15 "Hand Off" o Cambio de Antena Servidora en CDMA.

4) **Futuro de CDMA.** En la actualidad la tecnología CDMA proporciona servicio a 30 millones de usuarios en todo el mundo y se posiciona como el estándar más fuerte dentro del grupo IMT-2000 encargado de definir el estándar de Tercera Generación (3G) que regirá para las comunicaciones inalámbricas mundiales en el nuevo milenio. El propósito de IMT-2000 es el

asegurar que en el futuro todo usuario inalámbrico cuente con todos sus servicios no importando el tipo de teléfono ni el país donde se encuentre.

CDMA cuenta con múltiples ventajas sobre otras tecnologías que se comercializan en la actualidad, como:

- **Baja Interferencia o Ruido.**

Debido a que la transmisión se realiza en un ancho de banda mucho mayor (1,250 KHz) que en los sistemas AMPS o TDMA (30 KHz) es posible recibir la información mediante técnicas de codificación redundantes y corrección de errores. Filtra los ruidos de fondo, cruces de llamadas e interferencias.

- **Mayor Duración De La Batería.**

Durante una conversación telefónica el usuario habla aproximadamente el 35% del tiempo total de su llamada, el tiempo restante escucha a su contraparte. Esto es aprovechado por el sistema CDMA que debido a la transmisión digital es capaz de no transmitir durante estos intervalos de silencio, lo que se traduce en ahorro de energía y menos interferencia hacia otros usuarios.

- **Total Privacidad.**

Las llamadas efectuadas en CDMA no pueden ser interceptadas por radioaficionados o intrusos debido a que la tecnología Digital CDMA se basa en un estándar que incluye técnicas de autenticación y encriptación digitales que derivan en un servicio virtualmente libre de fraude como el clonado.

5) Amplia gama de servicio. Debido a su naturaleza digital, es posible habilitar una gran gama de nuevos servicios entre los cuales se mencionan: la transmisión simultánea de voz y datos, el envío de mensajes cortos, etc. Con los sistemas de Tercera generación (3G), será posible aumentar las posibilidades de innovar en servicios cada vez más creativos.

2.3.3 TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS)

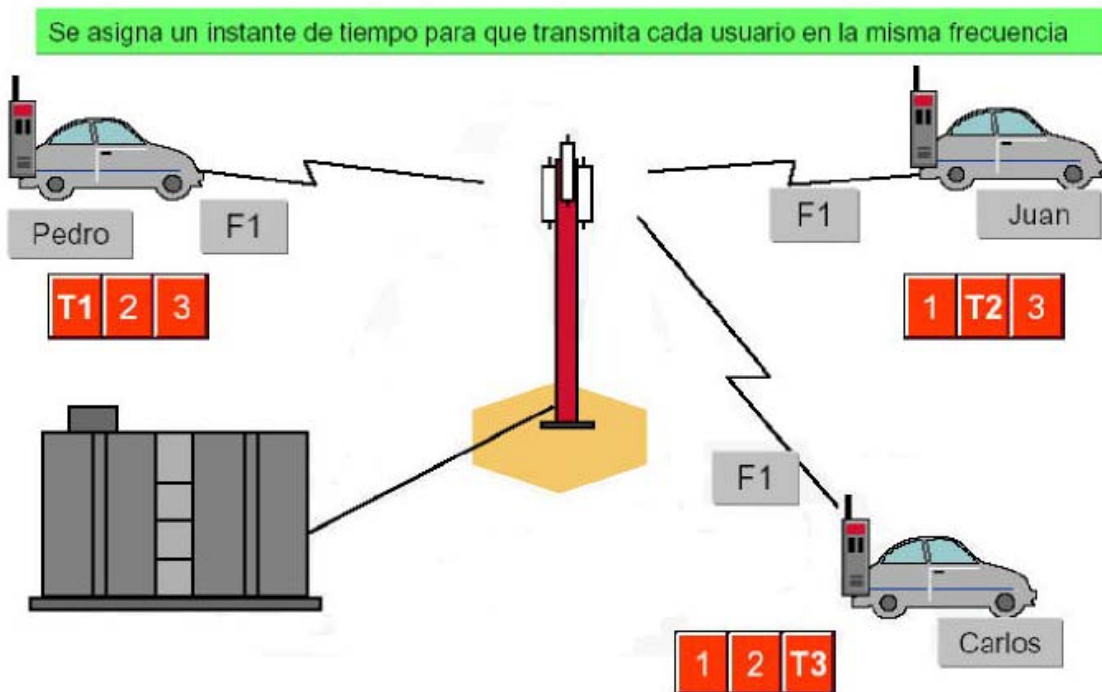


Figura. 2.16 Tecnología TDMA

- TDMA. Incluye un canal de control digital y características avanzadas.
- TDMA Banda A , para servicio celular sin interrupción entre las bandas de frecuencias de 800 MHz y 1900 MHz, y el desarrollo de activación sobre el aire y servicios de programación.
- TDMA Banda B, Introduce una gama de nuevas características (emisión SMS, paquete de datos)
- **Modulación**
 - $\pi/4$ DQPSK
 - Velocidad de *bit* por el aire = 48.6 Kbps.
- **Estructura de Marco**
 - Marco TDMA = 40ms.
 - Seis espacios de 6.67 ms por marco, dos espacios usados para velocidad plena de voz.

- **Dos códigos de habla definidos para TDMA**

- **VSELP** (*Vector Sum Excited Linear Predictive*). Diseñado originalmente para Tecnología IS-54B
- **ACELP** (*Algebraic Code Excited Linear Predictive*). Ofrece calidad de voz inalámbrica en condiciones limpias.

Características de TDMA.

- Faxes perfectos entregados en tiempo con una velocidad cerca de dos páginas por minuto.
- Las transferencias de archivos podrían ser hasta de 115,200 bit/s con canal de velocidad triple y compresión (dependiendo de los datos)
 - Velocidad plena - 9.6 kbit/s no comprimidos - 38.4 kbit/s comprimidos
- Detecta y corrige errores, comprime y cifra datos.
- No se requiere ningún modem o máquina fax especial por el lado de la línea alámbrica.
- El teléfono se parece a un fax/modem para datos de una línea alámbrica.
- Compatible con *software* existente.

2.3.4 SERVICIOS DE COMUNICACIONES PERSONALES (PCS)

Los sistemas de comunicaciones personales comprenden un amplio rango de servicios que, más allá de la simple movilidad, permiten al usuario disponer de conexión telefónica con independencia de su localización física, el terminal empleado y el medio de transmisión. Para ello, emplean tanto las tecnologías móviles como las funciones de red inteligente de la red fija, todas ellas tendentes a integrarse en la llamada UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

Las telecomunicaciones móviles durante los últimos años están experimentando un crecimiento espectacular, y cualquier previsión sobre su futuro se queda obsoleta en tan solo unos pocos años.

Las comunicaciones móviles son actualmente el área de crecimiento más rápido dentro del sector de las telecomunicaciones, especialmente la telefonía móvil celular.

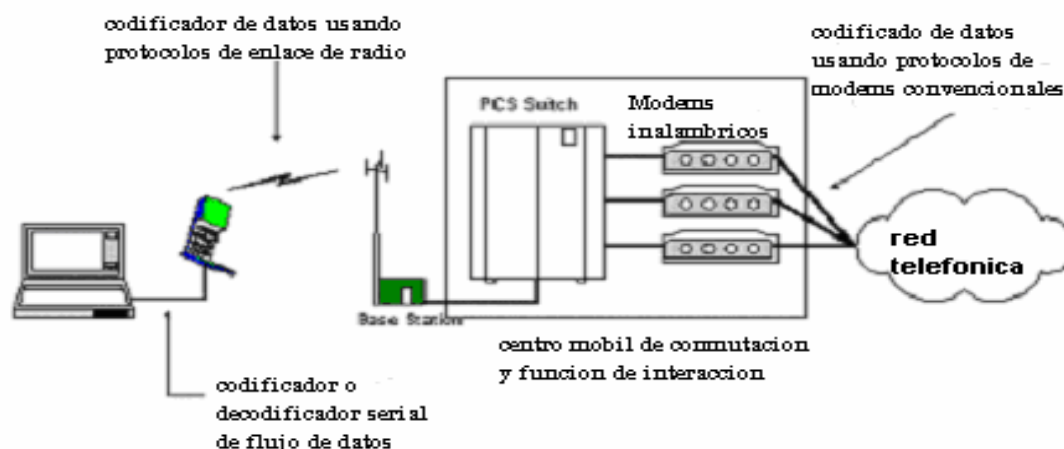


Figura. 2.17 Conexión de una red de PCS

La Comunicación Personal

En la evolución de las redes de telecomunicaciones la estrategia de trabajo que están siguiendo los distintos operadores consiste, por una parte, en dotar a los usuarios de “movilidad”, de tal manera que puedan establecer una comunicación independientemente del lugar donde se encuentren, y por otra, promover lo que se ha dado en llamar “comunicación personal”, en la que el perfil del usuario es el que impera, con independencia del terminal que utilice. Esto es posible gracias al empleo de la radio para establecer el enlace entre los elementos que se comunican, la interconexión entre redes, un plan de numeración, señalización y de encaminamiento coherente y la incorporación de cierto nivel de inteligencia en los nodos de la red, que permite efectuar el seguimiento del usuario y facilitarle los servicios apropiados a su perfil.

En la movilidad de la terminal, el usuario dispone de un teléfono asociado a un número de la red y puede hacer uso de él en cualquier lugar con cobertura; es lo que sucede con la telefonía móvil automática, en sus diversas modalidades. En la comunicación personal, por el contrario, es el usuario, al que se asocia un determinado número, de modo que la red, de forma inteligente, le “sigue” en sus desplazamientos, pudiendo hacer uso de cualquier

teléfono, conectado a cualquier red. Los servicios de comunicaciones personales o PCS no constituyen una tecnología definida ni un sistema concreto, sino una concepción de servicio que permite a los usuarios utilizar un número único y personal para hacer, recibir y mantener una conversación telefónica independientemente de su posición, en cualquier ámbito (oficina, casa, calle, entre otras), soportada por la funcionalidad que ofrece la red inteligente avanzada, en la disponibilidad de terminales portátiles y la existencia de cobertura radioeléctrica en la zona.

Ligado a la movilidad sobre la red fija aparece el concepto de Telecomunicación Personal Universal (UTP), definido por la ITU y ETSI como sistema que facilita el acceso a servicios de telecomunicaciones permitiendo la movilidad personal. Todos los usuarios pueden participar en una serie de servicios definidos por él mismo y realizar y recibir llamadas con un único número (SIM), personal e independiente de la red, a través de múltiples redes en cualquier terminal fijo o móvil sin tener en cuenta la localización geográfica, limitados únicamente por la capacidad de la terminal y las restricciones que imponga el operador de la red. La confluencia de redes y tecnologías con la combinación entre UTP y movilidad del terminal lleva al concepto de PCS.

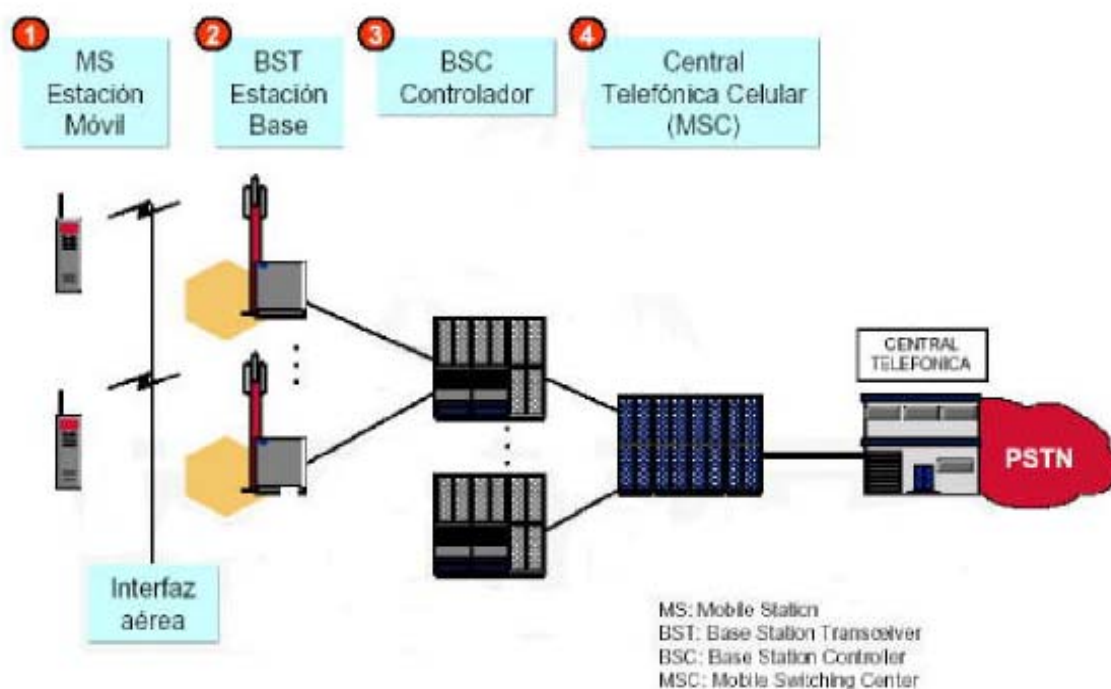


Figura. 2.18 Elementos que conforman la comunicación PCS.

El término PCS abarca un amplio rango de los servicios diseñados para permitir que las personas tengan acceso a la red telefónica pública (RTC y/o RDSI) sin importar su localización física, el terminal empleado, el medio de transmisión y la elección de tecnología. Para conseguirlo, tendrá que combinar muchas de las capacidades de inteligencia de red que emerge de las redes públicas con tecnología sofisticada de acceso inalámbrico y capacidades de radio relacionadas con el control de la movilidad de la red.

Gradualmente, las redes tienden a soportar la comunicación personal, en la que cada usuario tiene asignado su número y perfil de uso (perfil de servicio personalizado, independiente del acceso y programable dinámicamente). Este hecho facilita la movilidad de los servicios que pueden estar disponibles en diferentes puntos de acceso y horarios, sólo para los usuarios autorizados, etc. Para ello, se necesita disponer de grandes bases de datos, distribuidas, que guarden los perfiles de los usuarios y los servicios, accesibles en tiempo real.

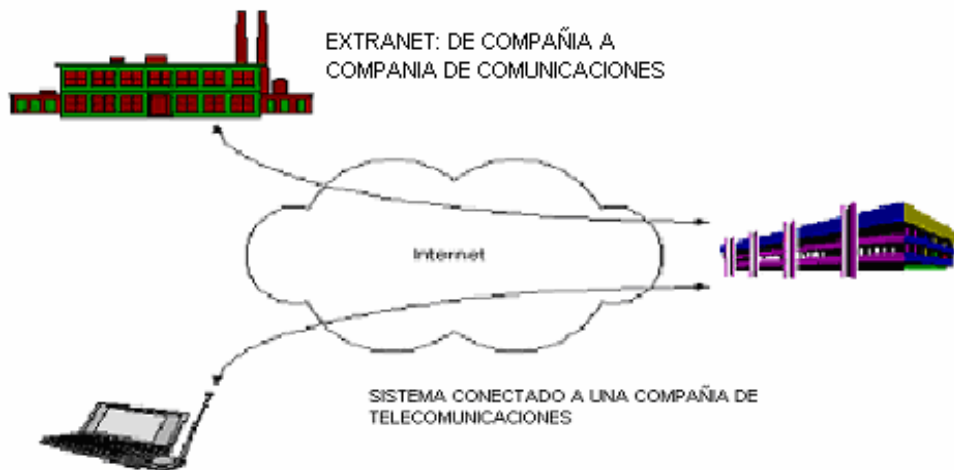


Figura. 2.19 PCS conectado a una base de datos.

Factores críticos para el despliegue.

Los servicios de comunicación personal sólo podrán ser suministrados mediante la combinación de diferentes tecnologías como, por ejemplo, la celular GSM y la inalámbrica DECT, y de éstas con las funciones de red inteligente sobre la red fija. En un futuro próximo se podrán suministrar más económicamente una única tecnología, la llamada UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), que integrará las actuales. Las funciones de movilidad asociadas con PCS pueden generar fuertes cargas de tráfico en la red telefónica conmutada, por lo que su capacidad para absorberla sin que disminuya su rendimiento es un factor crítico para el despliegue de la arquitectura adecuada que las soporten. Hay varios factores que necesitan ser tenidos en consideración:

Capacidad de conmutación.

Hoy en día las centrales de conmutación de la red pública conmutada procesan simultáneamente comunicaciones de la red fija y móvil; necesitan por tanto soportar movilidad continua, movilidad discreta (registro del terminal, actualización de la localización). y funciones asociadas con la privacidad, autenticación y validación de llamadas.

Para traspasar una llamada a un usuario móvil es necesario conocer cuál es su posición exacta, algo que en la arquitectura de red GSM se consigue con el registro local de visitantes (VLR) y el intercambio de información entre las centrales y las estaciones base de radio, lo que requiere de potentes sistemas de señalización y un intercambio masivo de datos.

Bases de datos.

PCS puede generar un flujo enorme de transacciones con las bases de datos que mantienen los registros de los usuarios y servicios, lo que hay que tener muy en cuenta a la hora de planificar las mismas, tanto en su velocidad de acceso y tiempo de respuesta como en el tamaño necesario para mantener los perfiles actuales y los nuevos que se vayan incorporando.

Capacidad y rendimiento de la red de radio.

Si se pretende obtener una excelente red de acceso inalámbrica, dentro de las alternativas posibles, hay que tener muy presente la capacidad para absorber tráfico y su rendimiento, el soporte de una red multicelular, los aspectos de gestión de la movilidad y la manera como se propagan las señales de radio para evitar que haya zonas sin cobertura o presenten una señal deficiente.

Principales estándares de comunicaciones móviles.

Como ejemplo de tecnologías actuales que soportan la movilidad del terminal podemos citar a GSM. A continuación veremos algunas de sus características.

Un sistema celular se forma al dividir el territorio al que se pretende dar servicio en celdas de mayor o menor tamaño, cada una de las cuales es atendida por una estación de radio que restringe su zona de cobertura a la misma, aprovechando el alcance limitado de la propagación de las ondas de radio a frecuencias elevadas. Así, el espectro de frecuencias puede volver a ser reutilizado en cada nueva célula, siempre teniendo cuidado de evitar las interferencias entre células próximas.

De esta manera se puede aumentar considerablemente el número de usuarios al no requerirse una frecuencia exclusiva para cada uno de ellos, como sucede, por ejemplo, en los sistemas trunking. Cuanto más pequeñas sean las células mayor será el número de canales que soporte el sistema, al asignar conjuntos de frecuencias diferentes para las distintas áreas.

Capítulo 3.

Especificación de las radiobases.

3.1 Torres de radiocomunicación, efecto ambiental y de seguridad.

La Comisión de Federal de Telecomunicaciones, requiere que las instalaciones de las radio bases estén funcionando de acuerdo a normas fijadas para proteger a la gente que habita o trabaja cerca de una torre de radiocomunicación.

Una antena de radio y la torre son las dos partes más importantes de un sistema de radiocomunicación. La antena es necesaria para enviar y recibir las señales para la estación de radio. La torre levanta la antena sobre obstrucciones tales como árboles y edificios de modo que pueda enviar y recibir estas señales claramente.

Cada estación de radio y su sistema de antena proporcionan la cobertura de radio a un área geográfica específica, llamada **célula**. El sistema de la antena se debe ubicar cuidadosamente para asegurarse de que proporciona una buena señal sobre el área entera de la célula, sin interferir con otras estaciones. En áreas donde hay muchas células, las antenas no necesitan ser muy altas. Donde son más grandes las células, las antenas deben ser más altas sobre el suelo para una buena cobertura de radio para el área entera. Si la estación es parte de una red de telefonía celular, el número de las estaciones necesarias también depende de cuánta gente está utilizando la red. Si el número de estaciones es demasiado pequeño, la gente tal vez no pueda conectarse con la red, o la calidad del servicio puede disminuir.

Dado que la demanda aumenta para los teléfonos móviles y los nuevos servicios de telecomunicaciones, se requiere torres adicionales para mantener o para mejorar la calidad del servicio al público. La COFETEL invita a los concesionarios a colocar una estación base, que localicen una estructura ya existente propuesta para colocar la antena en dicha estructura siempre que sea posible. Sin embargo, las consideraciones técnicas pueden hacerla imposible para que dos estaciones compartan la misma estructura. Por ejemplo, el tamaño del área que se cubrirán, o de los requisitos técnicos específicos para la estación propuesta, puede hacerla imposible utilizar una estructura existente para colocar dos o más antenas en ella.

Se debe diseñar y construir las torres usando prácticas de ingeniería. Los requisitos especiales para un sitio específico también se toman en consideración al diseñar la torre. La altura de una torre puede plantear un peligro para el tráfico aéreo. La pintura y los requisitos de iluminación son fijados por la SCT para asegurar seguridad aeronáutica.

La mayoría de las antenas de la radiocomunicación y sus estructuras de soporte no tienen ningún efecto significativo en el ambiente.

3.1.2. Requisitos de Seguridad para las Antenas.

Los sistemas de transmisión correspondientes al servicio público de telefonía móvil se deben instalar de tal manera que la densidad de potencia medida en los puntos a los cuales se tenga libre acceso las personas en general, sea inferior a $435 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (en unidades internacionales $0.435 \text{ mW}/\text{cm}^2$ o $4.35 \text{ W}/\text{m}^2$). Las concesionarias serán responsables de asegurar el cumplimiento de lo establecido.

En caso que, para efectos de lo anterior, sea necesario disponer de un perímetro de seguridad, este deberá contar con, al menos, un anuncio escrito ubicado en un lugar visible, que prohíba cruzar la infraestructura sólida dispuesta como cierre; así como también con señalización en el mismo sentido.

Las concesionarias deben proveer semestralmente a COFETEL un informe de medición respecto de la totalidad del parque instalado de antenas, el cual deberá actualizarse cada 6 meses, incorporando las nuevas instalaciones o las modificaciones efectuadas a las instalaciones ya existentes.

Para tales efectos, las concesionarias deben comunicar a la COFETEL el protocolo a utilizar en la confección del referido informe, debiendo informar con al menos 2 meses de anticipación, cualquier modificación a dicho protocolo.

Los antecedentes proporcionados a la COFETEL por el solicitante de una concesión o de una modificación a la misma, que contemple la instalación de

antenas o el cambio de la ubicación de antenas ya autorizadas, deberá contener documentación que dé cuenta de las instalaciones que comprende su proyecto técnico cumplen con la exigencia establecida de emisión.

Ingresados los antecedentes a la COFETEL, ésta verificará el cumplimiento de lo establecido y de las medidas conducentes a asegurar su cumplimiento. En caso de emitirse un pronunciamiento negativo, se notificara dicho informe al solicitante, quien, dentro de un plazo legal de 6 meses, deberá subsanar los reparos formulados.

Sin perjuicio de lo establecido en normas ya existentes, la COFETEL podrá fiscalizar en cualquier momento que las instalaciones de la concesionaria cumple con lo informado en su oportunidad, en cuyo caso efectuara las evaluaciones que sean procedentes.

3.2 Observaciones del Anteproyecto de Norma.

Este anteproyecto de norma formulado por la COFETEL esta tomado de valores propuestos por la comisión internacional para la protección contra la radiación no ionizante, reconocida por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Los valores recomendados de densidad de potencia para la banda considerada se determinan de acuerdo a la siguiente relación:

Banda de frecuencias	Relación aplicada para el estándar
400-2000 MHz	$\delta = f/200$ [W/m ²]

Así, para las bandas celular y PCS operativas en el País (820-930MHz y 1850-1990 MHz, respectivamente) se obtienen los siguientes valores para los umbrales de densidad de potencia:

Banda de frecuencias	Cota [W/m ²]		
	Inferior	Central	Superior
Banda celular	4.10	4.40	4.65
Banda PCS	9.25	9.60	9.95

Tabla 3.1. Limites de potencia para telefonía celular

Lo que permite la determinación de este trabajo técnico propuesto por la COFETEL corresponde a la frecuencia central de la banda celular. No obstante, dicha norma establece la aplicabilidad del valor límite para ambas bandas de frecuencia.

3.3. Cálculo de la Altura Promedio por Encima del Terreno. (APET).

- a) APET es determinado por la sustracción promedio de la elevación del terreno desde la altura de la antena anteriormente medida al nivel del mar.
 - b) En promedio la elevación desde el terreno puede ser calculada usando datos de elevación desde un arco de 30° o mejor con modelos de elevación digital. Estos archivos de datos se decodifican con arcos de 30° y es usado en datos de elevación. Estos son procesados por puntos intermedios usando técnicas de interpolación.
 - c) La situación de la posición de la antena en el sitio, se determinará con una exactitud de ± 5 metros en ambos lados en horizontal (la latitud y longitud) y vertical (elevación de tierra).
- 1) El radio de servicio de una estación base puede calcularse usando la siguiente la fórmula:

$$d_{KM} = 2.53 h_m^{0.34} * P^{0.17} \quad (1)$$

Donde:

d_{KM} es la distancia radial en kilómetros,

h_m es la altura de la antena (APET) de la estación base en kilómetros, y

P es el e.r.p. de la estación base en Watts.

e.r.p. Potencia Efectiva Radiada.

- 2) Alternativamente, los concesionarios pueden usar cualquier servicio de radio conforme la fórmula se desarrolló o generalmente se usa en la industria, ya que la fórmula se basa en las características técnicas de su sistema.

3.4. Potencia y altura de la antena.

Límites.

a) Estaciones que transmiten en los 901– 902 MHz se limita a 7 Watts e.r.p.

b) Los equipos móviles que transmiten en los 930–931 MHz y 940–941 MHz se limita a 7 Watts e.r.p.

c) Estaciones Base que transmiten en el 930–931 MHz y 940–941MHz son limitadas a 3500 watts e.r.p. por canal autorizado y es ilimitado en la altura de la antena. Excepto con lo dicho en el párrafo (d) de esta sección.

d) En las áreas de mayor tráfico aéreo las estaciones base regionales localizado entre 200 kilómetros y 80 kilómetros de su área frontera de servicio autorizado, como se indica en la tabla siguiente:

APET de la antena en Metros	Potencia efectiva radiada (e.r.p) en Watts
Menores de 183	3500
183 a 208	3500 a 2584
208 a 236	2584 a 1883
236 a 268	1883 a 1372
268 a 305	1372 a 1000
305 a 346	1000 a 729
346 a 394	729 a 531
394 a 447	531 a 387
447 a 508	387 a 282
508 a 578	282 a 206
578 a 656	206 a 150
656 a 746	150 a 109
746 a 848	109 a 80
848 a 963	80 a 58
963 a 1094	58 a 42
1094 a 1244	42 a 31
1244 a 1413	31 a 22
Posteriores a 1413	16

Tabla 3.2.Método de calculo para estos valores de la fórmula (1).

Para las alturas entre los valores listados se hace una interpolación lineal que se usara para determinar el máximo e.r.p.

e) Area de Mayor Trafico o comercio (**AMT**) y Areas Basicas de Trafico (**ABT**) y la región de las estaciones base localizadas a una distancia menor a 80 kilómetros desde el área de servicio muestran un límite de radiación de potencia efectiva en concordancia con la siguiente formula:

$$PW = 0.0175 * d_{KM} * 6.6666 * h_m - 3.1997 \quad (2)$$

Donde:

PW es la potencia radiada efectiva en Watts.

d_{KM} es la distancia en kilómetros.

h_m es la altura de la antena APET en metros.

Todos los niveles de potencia especificados en esta sección se expresan en términos de máxima potencia, en promedio por debajo de intervalos de 100 milisegundos y medidas con instrumentos calibrados y en términos de voltaje rms equivalente con una resolución de ancho de banda igual o mayor del autorizado ancho de banda

Adicionalmente las estaciones PCS están sujetas a los límites de exposición de potencia por los reglamentos internacionales.

3.5. Criterio de separación de co-canal.

La mínima distancia de separación entre el co-canal y la estación base en diferentes áreas de servicio es 113 Km. La distancia de separación del co-canal no requiere de una estación base de la misma licencia o que sea afectado por parte de otro co-canal que se agregué a la distancia de separación.

3.6. Banda ancha PCS.

Se ofrecerán servicios PCS principalmente por medio de la banda ancha para PCS, o por medio de telefonía inalámbrica avanzada.

La demanda proyectada para los mercados residencial e internacional, corporativo varía entre los 100 y los 500 millones para el 2005.

PCS estará integrada por varias tecnologías dominantes. Las favoritas en cuanto a volumen de demanda en el mercado son GSM: DCS-1800, PCS-1900, IS-661; PHS: IS-54/136 TDMA y CDMA. Desde el punto de vista tecnológico, los sistemas basados en GSM, principalmente PCS-1900 y DCS-1800 dominarán el mercado de consumo en masa para comunicaciones personales. Los sistemas basados en CDMA tomarán más tiempo en establecerse y podrían requerir variantes de banda ancha en frecuencias más altas para entrar con capacidad incremental al mercado antes de volverse completamente comerciales.

Los servicios PCS en modo dual podrían cerrar la división entre PCS intramuros/extramuros de área extensa y PCS de movilidad global. Los sistemas GSM/DECT, GSM/PHS y CDMA-PACS, por ejemplo, comienzan a aparecer en el mercado en la medida en que aumenta la demanda y los precios disminuyen. Los servicios de comunicación personal por satélite (S-PCS), PCS de banda angosta (N-PCS) y PCS sin licencia (U-PCS) formarán parte también de la familia más amplia de tecnologías y servicios PCS dentro de segmentos y nichos de mercado de acuerdo con la demanda.

El crecimiento de PCS estará favorecido por las oportunidades disponibles en áreas con poca cobertura de sistemas de comunicación. Los adelantos en poder de procesamiento de cómputo y la integración a larga escala abatirá los costos de manufactura y permitirá la creación de productos PCS que sean atractivos y comercializables.

3.6.1. Potencia y altura de la antena

Los límites.

a) Se limitan las estaciones base a alcanzar los 1640 Watts como máximo equivalente isotropico radiado, la potencia (e.i.r.p.) con una antena que mide de

altura 300m APET. Las alturas de antena de estación base pueden exceder los 300 metros con un correspondiente reducción en la potencia; (vea tabla 3.3). En ningún caso el rendimiento máximo de transmisión puede exceder los 100 Watts de potencia en la estación base. El área de servicio se limita para protección por microonda.

APET En metros	máximo e.i.r.p. (Watts)
≤300	1,640
≤500	1,070
≤1,000	490
≤1,500	270
≤2,000	160

Tabla 3.3. Potencia reducida para la estación base para alturas de antena encima de 300m.

b) Las estaciones móviles / portátiles están limitadas a 2 Watts e.i.r.p. el poder máximo y los equipos deben emplear los medios con un límite en potencia al requisito mínimo para las comunicaciones exitosas.

3.6.2. Los límites de los campos de fuerza.

Al predecir o medir en el medio la fuerza del campo en cualquier situación en la frontera del área servicio PCS servicio no debe exceder los 47 dBuV/m a menos que los elementos acepten una fuerza del campo más alta.

3.6.3. Protecciones de la Interferencia.

a) A todos los concesionarios se les exigen coordinar su uso de frecuencia con el co-canal, o el titular del canal adyacente; los concesionarios de microondas fijas en la banda de 1850–1990 MHz. La coordinación deberá ocurrir antes de comenzar el funcionamiento de cualquier estación de la base. Los problemas que se susciten durante el proceso de coordinación será resuelto por las partes de la misma coordinación.

b) Los resultados de la coordinación del proceso necesitan ser informados a la COFETEL sólo si las partes fallan a favor de este. Porque los concesionarios de la banda ancha de PCS se exigen el proteger las microondas fijas de los 1850–1990 MHz ante la comisión. Será involucrada en el proceso de coordinación sólo en la queja de interferencia de una microonda fija. En tal caso, La comisión resolverá los problemas.

(La antena de estación base de PCS APET en Metros)

e.i.r.p. (W)	5	10	20	50	100	150	200	250	300	500	1000	1500	2000
0.1	90	93	99	110	122	131	139	146	152	173	210	239	263
0.5	96	100	105	116	128	137	145	152	158	179	216	245	269
1	99	103	108	119	131	140	148	155	161	182	219	248	272
2	120	122	126	133	142	148	154	159	164	184	222	250	274
5	154	157	161	168	177	183	189	194	198	213	241	263	282
10	180	183	187	194	203	210	215	220	225	240	268	291	310
20	206	209	213	221	229	236	242	247	251	267	296	318	337
50	241	244	248	255	264	271	277	282	287	302	331	354	374
100	267	270	274	282	291	297	303	308	313	329	358	382	401
200	293	296	300	308	317	324	330	335	340	356	386	409	
500	328	331	335	343	352	359	365	370	375	391	421		
1000	354	357	361	369	378	385	391	397	402	418			
1200	361	364	368	376	385	392	398	404	409				
1640	372	375	379	388	397	404	410	416	421				

Tabla 3.4. Coordinación de distancias en kilómetros

Nota: Si el valor real no empareja con los valores de la tabla, se redondea al valor máximo o mínimo en esta tabla.

3.6.4 Límites de la Emisión.

a) En cualquier frecuencia asignada a un concesionario que este fuera del bloque de frecuencia, la potencia de cualquier emisión se atenuará por debajo de la potencia del transmisor (P).

b) Los instrumentos de medición son empleados para una resolución de banda ancha de 1 MHz o mayor. Sin embargo, fuera de las bandas de 1MHz inmediatas y adyacentes a la frecuencia se bloquea el ancho de banda de resolución menor de 1% del ancho de banda de la emisión fundamental del transmisor.

El ancho de banda de la emisión se define como la amplitud de la señal entre dos puntos, uno debajo de la frecuencia de portadora y otro sobre la frecuencia de portadora, fuera de que todas las emisiones se atenúa 26dB por lo menos debajo la potencia del transmisor.

c) Al medir la emisión de los límites, la frecuencia de portadora nominal, se ajustará cerca de los bordes de los bloques de frecuencias, ambos superior e inferior.

d) Las dimensiones de la emisión puede expresarse en potencia máxima o valores promedio, con tal de que ellos se expresen en los mismos parámetros que la potencia del transmisor.

e) Cuando una emisión fuera del ancho de banda autorizado causa daños de interferencia, la Comisión puede, a su discreción, requerir de grandes atenuaciones, especificadas en esta sección.

3.6.5. Procedimiento de Calculo para los Niveles de Señales de PCS y Receptores de Microondas.

Se estima que la interferencia establece los funcionamientos de las microondas y del funcionamiento de PCS. Y será basado en la suma de señales recibidas por un receptor de microonda que funcione con PCS. En general, el procedimiento involucra cuatro pasos:

1. Determinar las coordenadas geográficas de todos los receptores de microondas que operan en el co-canal y las frecuencias adyacentes dentro de la distancia de coordinación de cada estación base y las características de cada

receptor; es decir, la susceptibilidad del canal adyacente, la antena, la ganancia, el modelo y altura, y línea y otras pérdidas.

2. Determinar su equivalente isotropico de potencia radiado (e.i.r.p.) para cada estación base y los valores e.i.r.p equivalentes para los móviles asociados con cada estación base.

3. Determinar los valores de corrección pertinente y pensando en factores basados en las alturas de construcción y densidad y distribución de los equipos móviles. Situaciones de cierre, prominente, colinas, y los edificios altos requieren tratamiento especial.

4. Finalmente, la potencia total de interferencia de un equipo PCS a un receptor de microondas dado en las estaciones base en una banda de frecuencia dada es sumada. Igualmente, la potencia total de interferencia a un receptor de microondas dado, de todos los equipos móviles que operan en una banda de frecuencia dada, se suman las contribuciones de los móviles y los portátiles asociados con cada célula.

$$P_{rb} = \sum_i P_{rbi} \text{ miliwatts.}$$

$$P_{rm} = \sum_i (P_{rmi} + P_{rpsi} + P_{rpbi} + P_{rpri}) \text{ miliwatts}$$

$$P = 10 \text{ Log } (p) \text{ dBm}$$

Las Estaciones base. La interferencia de cada estación base a cada microonda normalmente se debe considerar independientemente. Un grupo de estaciones base que tienen más o menos (dentro de $\pm 50 \%$) la misma altura sobre el terreno, tienen el mismo e.i.r.p; básicamente en el mismo canal en el sitio de recepción de la microonda, y subtendiendo un ángulo en este sitio de la recepción de menos de 5° , puede tratarse como un grupo, mientras se usa la potencia total del grupo y la altura media de la antena del grupo para calcular el camino de la pérdida, L.

Las Estaciones móviles. Los transmisores móviles con e.i.r.p. se catalogan según el número de canales de la estación base esperando se obtenga el funcionamiento del móvil a cualquiera tiempo dado. La altura de la antena de las estaciones asume que la pérdida (L) del canal interesado es dos metros.

Las Estaciones portátiles. La potencia radiada isotropicamente equivalente del equipo portátil, sus unidades asociadas con cada estación base se basan según la porción estimada de equipos portátiles asociado con la célula que se espera ser utilizados dentro de los edificios, en cualquier momento y estas estaciones se puedan operar en situaciones elevadas, como los balcones o en las azoteas.

Por ejemplo, en el caso de servicio pensado para el uso de negocio en una área urbana, se pueda esperar quizás 85% de los portátiles en uso en cualquier momento, serían operando los edificios desde dentro y quizás 5% podrían estar operando desde las azoteas o balcones. Y 10% fuera del nivel callejero.

El cálculo de un e.i.r.p equivalente para las células en las áreas suburbanas involucrará diferentes criterios.

El Factor de la corrección urbano (CU). Depende de la altura y la densidad de edificios que rodean una estación base.

Para el área céntrica de ciudades grandes, es asumido para ser 35 dB. Para las ciudades de tamaño medio y áreas de la franja de ciudades grandes es supuesto sea 25 dB; para las ciudades pequeñas y los pueblos, 15dB, y para las áreas suburbanas residenciales de 10 dB.

El factor de la corrección urbano sin ajustar, no debe emplearse para basar la altura de la antena de la estación que es mayor al 50 % de la altura media del edificio para una célula.

Los factores de la altura del edificio y la penetración. La corrección de altura de edificio, BH, es una función de la altura media del edificio dentro del área de fondo nominal de la estación base. Se usa junto con la pérdida de penetración, BP, para ajustar la contribución de la interferencia esperada de esto la porción de portátiles que transmite dentro de los edificios. El ajuste se da por:

El dB de BP = 20 en las áreas urbanas

El dB de BP = 10 en las áreas suburbanas

$$BH = 2.5(nf - 1)[dB]$$

Donde:

nf es la altura media (el número de pisos) de los edificios en el área.

(Nota: Esta fórmula implica una ganancia neta cuando la altura media del edificio es mayor de 8 pisos). Todos los edificios más de dos veces la altura media deben ser considerados individualmente.

La contribución a BH de la porción de portátiles en el edificio anteriormente la altura media del edificio debe aumentarse por un factor de $20 \log(h)$ dB dónde h es la altura del portátil sobre el promedio de la altura del edificio en metros.

El Factor de la discriminación del canal. Esta basado en la selectividad de la interferencia del receptor de microondas.

Las situaciones especiales. Si el tamaño de una célula es grande comparado a la distancia entre la célula y un sitio receptor de microondas para que tenga un ángulo mayor que 5° , la célula debe subdividirse y los cálculos deben ser basados en la distribución esperada de móviles y portátiles dentro de cada subdivisión.

Si las elevaciones del terreno dentro de una célula difieren por más de un factor de dos a uno, la célula debe subdividirse para evitar la interferencia de microondas.

Los cálculos deben ser basados en la elevación media del terreno para cada subdivisión.

Si en un co-canal de las estaciones base de PCS dentro de la línea principal de una antena del microonda ($\pm 5^\circ$), no hay ninguna obstrucción del terreno intermedia, y la potencia de la microonda del receptor de esa estación base, asumiendo la propagación espacial libre, sería 3dB o menos debajo del umbral de la interferencia existente.

Las obstrucciones y el acumulativo de la potencia de 5% o menos de móviles, ocupando, la propagación espacial libre sería 3dB o menos debajo del umbral de la interferencia existente.

3.7. Antecedentes de las torres.

El uso generalizado de servicios de comunicación inalámbrica ha tenido como consecuencia la construcción de torres de telecomunicaciones que contienen dispositivos de transmisión para teléfonos celulares, servicios personales de comunicaciones. Por lo que las torres de telecomunicaciones pueden ser de varios tipos y su altura varía desde 30 hasta 655 metros o más. En general, existen tres tipos de torres de telecomunicaciones:

- **Monopolos** formados por tubos cónicos de acero que encajan unos sobre otros a fin de formar un polo estable.
- **Torres tirantes** (arriostradas) estabilizadas por medio de cables de sujeción, y
- **Torres autoportantes o autosoportadas**, estructuras auto-estables reticuladas.

Las torres de telecomunicaciones generalmente se fabrican en secciones y se arman en el terreno, elevando cada sección a su lugar y asegurándolas por medio de pernos. Algunos modelos de torres de menor altura son auto-erigibles. En el caso de la mayoría de las torres que se arman en terreno, generalmente se utilizan grúas y postes grúa acoplados a la torre que se está construyendo para izar cada sección y colocarla en su lugar.

Además de las torres de telecomunicaciones, los dispositivos de transmisión de servicios de comunicación inalámbrica se montan con frecuencia en el perímetro de los techos de edificios

3.7.1. Torres autosoportadas.

Una torre auto soportada o auto sustentada, se le denomina a aquella estructura metálica que se puede soportar por si misma, es decir, no requiere de elementos

externos para sostenerse como en el caso de las torres arriostradas, las cuales necesitan de sujeciones para mantenerse en pie.

Las torres autosoportadas, que pueden tener alturas de hasta 175 metros, pueden ser fabricadas con montantes tubulares o de chapa plegada. Todas las estructuras serán de acero tipo F24 o superior.

Los bulones de unión de tramos y elementos deberán ser de calidad 8.8 o superior.

Las estructuras deberán ser galvanizadas, con recubrimientos de variados espesores (70µm, 80µm, etc.) dándole a las estructuras la protección contra la corrosión.

Las torres se diseñarán para satisfacer la necesidad de espacio que posea el solicitante ya que las torres pueden ser diseñadas con 3 ó 4 montantes o "patas" (sección triangular o cuadrada respectivamente) y con distancias entre montantes variables. Estas estructuras serán de acuerdo a la norma o reglamento vigente en el momento del levantamiento de ésta, de acuerdo al lugar geográfico de instalación.



Figura. 3.1. Torre autosoportada.

Las estructuras se proveen en forma estándar con balizamiento diurno (pintura reglamentaria acorde a COFETEL), balizamiento nocturno (luces a tope e intermedias reglamentarias y componentes eléctricos), sistema salva caídas (para cumplir con las normas de seguridad en el ascenso y descenso de los operarios

del montaje y mantenimiento de la estructura) y puesta a tierra completa al pie de la torre (pararrayos, cable de cobre, jabalina, morsetos).

Todos los accesorios para estas estructuras son por ejemplo soportes para antenas (paneles celulares, antenas parabólicas, etc.), plataformas (de trabajo, de descanso), accesorios para la seguridad de los operarios (arneses, cinturones, mosquetones), sistemas anti-ascenso a las estructuras, etc.

Las torres autosoportadas se implementan cuando el área o terreno disponible para desplantarse es mínimo y básicamente se componen de:

1. Estructura principal tubular triangular.
2. Escaleras de ascenso y descenso.
3. Equipamiento de seguridad o línea de vida.
4. Cama de guía de ondas vertical y horizontal.
5. Plataforma de trabajo.
6. Sistema de protección contra descargas atmosféricas.
7. Sistema de iluminación o balizamiento nocturno.
8. Pintura o balizamiento diurno.
9. Aterrizaje de la torre.
10. Sistema profesional de tierra.

Los factores que intervienen para fabricarla:

1. Ubicación geográfica del sitio.
2. Altura de la torre y área existente para su instalación.
3. Velocidad de vientos (región).
4. Cargas que soportara la estructura (microondas, etc.).
5. Altura de las cargas sobre la torre.
6. Accesorios y ubicación sobre la torre.
7. Normatividad que aplica para su cálculo y diseño.
8. Memoria de cálculo estructural y de cimentación.
9. Análisis estructural.
10. Galvanizado en caliente.

La cimentación o anclaje necesaria para colocar una torre auto soportada es de suma importancia, ya que de esta depende la seguridad de la torre, sobre todo el momento de volteo y su resistencia a las fuerzas que presentan las cargas que soporta la torre (resistencia al viento) y del peso de toda la estructura.

Para la memoria de cálculo de la cimentación, se necesitan de los resultados de la mecánica de suelo del área donde se instalara la torre con el objeto de efectuar los cálculos más realistas posibles y en congruencia con las características del terreno.

3.7.2. Estructura principal tubular triangular

La conforman las piernas, cerramientos horizontales, diagonales, secundarios, placas de unión de cerramientos diagonales y secundarios, diafragmas y tornillería.

3.7.3. Escaleras de ascenso y descenso

Piernas. Se colocan tramos de escalera, placa de unión de escalera, ángulo y solera para detención de escalera con cruces de diagonales, varillas roscadas y tornillería.

3.7.4. Sistema de seguridad o línea de vida

Cable de sujeción, herraje superior e inferior, placas de seguridad, tensor de ojillo, separador de cable de seguridad, abrazaderas, placa de unión de escalera.

3.7.5. Cama de guía de ondas vertical y horizontal

Tramos de cama de guía de onda, "L" mixta, jota, "L" reforzada, placa de sujeción en mástil de cúspide, placa de unión de escalera, curva vertical de cama de guía de onda, curva horizontal de cama de guía de onda, herraje de sujeción de mensula, casco giratorio, abrazaderas, poste soporte tipo universal y tornillería.

3.7.6. Plataforma de trabajo

Plataforma de trabajo, tubos de 3" de diámetro, ced. 40, l = 3mts, abrazaderas para colocación de soportes en plataforma para colocar antenas, base para plataforma y tornillería y herrajes para su correcta instalación.

3.7.7. Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Pararrayos dipolo con mástil de duraluminio de 3m, cable de 2/0 de cobre forrado thw, abrazaderas metálicas sin fin, electrodo profesional para la fosa de descarga con relleno especial ep-tr, agregado electrolítico y soldadura.

3.8. Sistema de iluminación o balizamiento nocturno

Faro beacon en la punta y cuatro lámparas de obstrucción (2 a la mitad y dos a $\frac{3}{4}$ de la torre) certificados ante la SCT a través de la COFETEL con mica roja, fotocelda de control, cableado correspondiente para su correcta instalación y controlador alarmado.

3.9. Pintura o balizamiento diurno

Pintura acrílica o látex base agua o poliuretano en colores naranja y blanco.

Aplicar conforme a norma internacional, es decir, 7 franjas, 4 naranjas y tres blancos, siempre se inician con naranja y se termina con naranja.

Aterrizaje de la torre

Soldar con cable de 2/0 de cobre forrado a cada una de las piernas de la torre y con soldadura aterrizarlas al sistema de tierras.

Sistema profesional de tierra

Es un arreglo de electrodos, conductores, materiales intensificadores, rellenos especiales, agregados electrolíticos, y difusores que basados en normas internacionales para su diseño y por medio de memorias de calculo, considerando el análisis y criterios correspondientes, lograr obtener un sistema que sea capaz de reducir la resistencia a tierra cubriendo un área en especifico, asegurando que el valor de la resistencia a tierra será el mismo en cualquier punto de la malla, pretendiendo de esta manera que la disipación de las descargas sea la máxima, evitando cualquier diferencia de potencial, y que el riesgo de daño al personal, equipo o sistema, disminuya.

3.8. Monopostes o monopolos.

Estos postes de acero son diseñados especialmente para celulares, PCS, microondas y otras aplicaciones. Estos postes pueden ser configurados para sostener plataformas de una gran variedad de brazos curvilíneos, brazos derechos y el montaje de otro tipo de estructuras de antenas.



Figura. 3.2 Torres Monopolo.

Características de las Estructuras:

- Fuste facetado con 8; 12 y 16 caras.
- Sistema de unión de tramos tipo "slip joint"(por encastre).
- Sistema de nivelación de la placa base a través de tuercas niveladoras en cada bulón de anclaje.
- Todos los monopostes están fabricados en acero tipo F24 o superior.
- Todo los monopostes serán galvanizados con espesores de 70 u 80 micrones como mínimo.
- Todos los monopostes serán acompañados por los planos de fabricación y montaje y memoria de cálculo de acuerdo a normas vigentes.

Accesorios de Monopostes.

- **Ascenso:** Los monopostes poseen escalones fijados al fuste. (step bolts)
- **Líneas de Transmisión:** Las bajadas de guía de onda o coaxiales pueden ser internas o externas al fuste.

- **Soporte de Antenas:** Los accesorios para la instalación de antenas como por ejemplo, tri-bracket, brazos curvos y rectos (para paneles celulares) y soportes para parábolas.
- **Terminación:** El área galvanizada de los monopostes podrán ser pintada con pintura epoxica reglamentaria.
- **Balizamiento nocturno:** Se proveen los kits de balizamientos estándar reglamentarios.
- **Puesta a tierra:** Está compuesta por el conjunto de pararrayos, soporte, cable de cobre, jabalina, morsetos.

3.9. Monopostes Camuflageados.

En grandes centros urbanos, donde la contaminación visual y las reglamentaciones urbanísticas complican la instalación de nuevas estructuras, se utilizarán los monopostes ecológicos. Se trata de monopostes camuflados, específicamente diseñados para soluciones particulares. Son estructuras que se asemejan a campanarios de iglesia con cruces, clásicos faroles de parques o plazas, palmeras o árboles de distintas especies.



Figura 3.3. Torres Camuflajeadas.

3.10. Arriostradas

Todas las estructuras serán de acero tipo F24 o superior en el caso que sea requerido, tanto en perfiles, chapas y tubos. Los mástiles van desde una altura mínima de 6 metros hasta alturas superiores a los 150 metros. Pueden ser instalados directamente apoyados en el nivel de terreno o pueden montarse sobre azoteas de edificios.



Figura 3.4. Torres arriostradas

Las estructuras son galvanizadas en caliente, con recubrimientos de variados espesores (70 u 80 micrones) según requerimiento de protección contra la corrosión.

El fuste del mástil está compuesto básicamente por montantes, diagonales y travesaños. Los mástiles son de sección triangular (3 montantes). Los mástiles de menor porte poseen tanto montantes, diagonales o travesaños de hierro redondo liso. Estos mástiles son aptos hasta una altura de treinta y seis metros aproximadamente dependiendo de las antenas que deban soportar. Los modelos siguientes en capacidad portante los constituyen los mástiles tubulares, cuyos montantes son materializados con tubos y sus diagonales o travesaños con hierro redondo liso. El mayor de este grupo, de sesenta centímetros de ancho de cara, es apto hasta una altura de cien metros aproximadamente, dependiendo de su carga de antenas.

Los mástiles de mayor porte son construidos con montantes de chapa plegada a 60°, con diagonales y travesaños en perfiles laminados en caliente. Estos mástiles pueden tener un ancho de cara de hasta dos metros. En todos los casos, los bulones de unión de tramos y elementos son de calidad 8.8 o superior. Estas estructuras serán calculadas de acuerdo a normas o reglamentos vigentes.

Todas estas estructuras tendrán obligatoriamente con balizamiento diurno y nocturno, sistema salva caídas y puesta a tierra completa al pie de mástil y en cada uno de sus anclajes.

Los accesorios para los mástiles (estrella estabilizadora, cinturones para riendas, base pivot, plataformas de trabajo, plataformas y soportes para antenas de diversos tipos, etc.)

Las riendas y sus accesorios también están fabricadas con acero de alta resistencia (pretensado).

- Cada torre autoportada está especialmente diseñada para cumplir con los requerimientos de cada proyecto en específico.
- Las patas serán fabricadas por alguno de los siguientes materiales: con tubería estándar, tubería pesada o barra sólida de diferentes resistencias de acuerdo a los requerimientos del diseño.
- Diversidad de escaleras: Mixtas (para cables y acceso, facilita el alcance a las líneas de transmisión), escaleras sencillas para cables y escaleras sencillas para acceso.
- Toda la tornillería es A-325 galvanizada en caliente para mayor resistencia.
- Todas las torres y cualquiera de sus partes son galvanizadas en caliente después de su fabricación.
- Las plataformas y monturas para platos y antenas, como también los demás accesorios pueden ser instalados en cualquier torre.

3.11. Sistema profesional de tierras físicas.

La combinación de sustancias y materiales usados, garantizan un óptimo funcionamiento al momento de necesitar dispersar sobrecorrientes provocadas por rayos, sobretensiones en la línea de potencia, conexiones inadecuadas, etc.

Los pararrayos complementan la protección, ya que son los que dan más área de cobertura. Su diseño ha sido concebido por métodos científicos, y probados con la misma rigidez de la ciencia.

Capítulo 4.

Pintura e iluminación de las radiobases

4.1 Propósito de la iluminación y pintura.

El propósito de la marca de pintura y la iluminación de la torre es proporcionar medios eficaces para indicar la presencia de peligros probables para la seguridad de la aviación. Más específicamente, las marcas y los estándares de la iluminación de una torre aseguran a la navegación aérea la visibilidad en una gama suficiente y permitir que un piloto tome la acción apropiada para evitar la torre por lo menos de 305 m verticalmente dentro de un radio horizontal de 610 m de la torre.

Los estándares en pintura de la torre se han puesto al día y se han revisado para incluir las especificaciones que gobernarán los requisitos del diseño y las pruebas de garantía de calidad para cualquier luz requerida bajo estos estándares. Al igual, la norma deberá cumplir con la estructura de las regulaciones de la aviación y otros estándares relacionados.

Donde es probable que una torre sea peligrosa a la seguridad de la aviación debido a su altura y localización, la comisión puede, por medio de una orden, dar aviso al dueño, o a la persona en posesión o el control de la torre, para que sea marcada y encendida de acuerdo con los estándares especificados para las torres.

4.1.1 Los estándares de las marcas de la torre.

Las compañías que planean erigir una torre, o cualquier estructura u objeto, permanentemente o temporalmente, deben entrar en contacto con la autoridad regional y federal apropiada, para proporcionar la información siguiente de la torre prevista:

- (a) Localización;
 - (i) latitud y longitud,
 - (ii) Indicado en 8 porciones de 1/2"x 11" del mapa de la escala de 1:50,000;
- (b) Altura total en metros sobre nivel del mar;(ANM)

- (c) Altura total en metros sobre el nivel del suelo; (ANS)
 - (i) la vista lateral se dibuja con dimensiones,
 - (ii) Los objetos pintados indicados en vista lateral y localización en mapa indicando el objeto pintado y si es iluminado;
- (d) Fechas del comienzo y de la terminación de la construcción;
- (e) Fecha del retiro propuesto, si la torre está de una naturaleza temporal; y
- (f) Nombrar dirección y número de teléfono del dueño o persona en control de la torre.

4.1.2. Las estructuras que requieren de pintura e iluminación

Las estructuras que componen las torres de telecomunicaciones deben ser pintadas o iluminadas de acuerdo con los estándares especificados:

- (a) Cualquier torre que penetra una superficie de la limitación del aeropuerto debe cumplir según lo especificado en los estándares y normas recomendados, por la Secretaria de Comunicación y Transportes;
- (b) Cualquier torre mayor de 90 m (ANS) de la línea central imaginaria de una ruta reconocida de vuelo no limitado por ejemplo, de un valle, de un ferrocarril, de una línea de la transmisión, de una tubería, de un río o de una carretera;
- (c) Cualquier torre mayor de 150 m (ANS);

4.1.3. El principio de cubrir

Este principio se puede aplicar a una estructura o un objeto que permanece elevado, que está pintado o encendido, para evitar la necesidad de pintar o de iluminar otras estructuras u objetos en los alrededores inmediatos, que se pudieron tratar de otra manera como estructuras individuales. Más específicamente, el principio de cubrir puede ser aplicado si la pintura o la iluminación de una estructura o de un objeto que permanece dominante se determina como un objeto de la superficie que advierte al avión para evitar la torre

dominante, también evitarán la falta de marca o falta de iluminación de las estructuras en los alrededores inmediatos para evitar el riesgo de colisión.

4.1.4 Se cubren dos estructuras similares adyacentes

Donde dos estructuras similares de altura igual que se sitúan adyacentes una de la otra, una de dos estructuras proporcionara las separaciones enumeradas en la tabla 4-1 que no se excedan.

ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS ANS(altura a nivel de suelo)	SEPARACIÓN
METROS	METROS
30 a 75	15
76 a 122	23
123 a 198	30
199 a 290	45
291 y mayores	60

Tabla 4-1

4.1.5. Se cubre la torre pequeña y grande adyacente a las estructuras.

Cuando se sitúa con respecto a una torre grande una torre pequeña que lleva una trayectoria de vuelo para la aviación, hacia la torre, si evita la torre grande, en consecuencia, también evitaría la pequeña. La eficacia de pintar e iluminar dependerá de la manera en la cual las estructuras grandes y pequeñas estén orientadas y de la trayectoria normal del avión.

4.2 LAS MARCAS

4.2.1 Colores estándares de pintura.

Generalmente las secciones se marcan de pintura, anaranjada y blanca, ya que proporcionan visibilidad máxima de una torre por el contrario de colores. Los

colores de las marcas de la pintura deben conformarse con el estándar de pinturas que a continuación se describe:

- (a) Anaranjado No. 12197; y
- (b) Blanco No. 17875.

4.2.2 Las superficies que no requieren de pintura

Donde la superficie pintada crearía un peligro potencial al personal de mantenimiento, las escaleras, las cubiertas y las calzadas de la estructuras están exentas del requisito de pintura, a condición de que la eficacia de la marca total en una estructura no se reduzca perceptiblemente. La pintura se puede también omitir de otras superficies críticas, si tiene un efecto nocivo sobre transmisiones de la señal.

4.2.3 La pintura de la estructura esquelética.

Las estructuras que se pintan se deben aplicar a todas las superficies internas y externas de estructuras esqueléticas. Este estándar se aplica a las torres de comunicaciones, y de las estructuras esqueléticas similares.

4.2.4 Las características de bandas.

La anchura de bandas en las estructuras 3,2 m a 150 m de altura deben ser iguales, a condición de que cada banda tenga una anchura no menos de 0,5 m ni más de 30 m. Las bandas deben ser perpendiculares al eje vertical, y éstas en la tapa y el fondo coloreado de naranja. Debe haber un número impar de bandas en la estructura. Cada banda debe ser aproximadamente 1/7 de la altura de la estructura hasta 213,5 m y 30,5m en la anchura para las estructuras sobre 213,5 m. La anchura de todas las bandas debe ser igual y en proporción con la altura de las estructuras. Para acomodar aproximaciones en anchuras proporcionadas de la banda; la pre-pintura de las secciones estructurales de longitud estándar individual se debe terminar en secciones incrementales de 3.2 m o de 7.5 m con el uso según lo detallado en la figura 4.1.

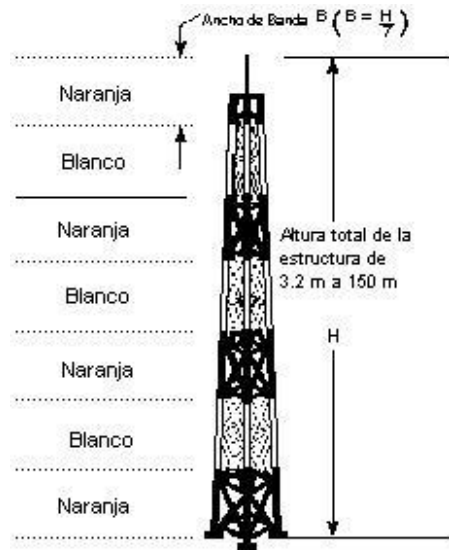


Figura 4.1. (Pintura de la torre) Bandas Alternas.

4.3 ILUMINACIÓN DE DIA/NOCHE.

4.3.1. Especificaciones de la iluminación de la torre.

1. Requisitos Del Diseño.

(a) General.

Se resaltan las especificaciones técnicas del diseño aplicable a los estándares de pintura y de iluminación de la torre.

(b) Clasificación de las luces de la torre.

Nombre	Color	Intensidad	Tipo
CL-810	Rojo	Bajo	Constante encendido de luces rojas
CL-864	Rojo	Medio	Destello de luz roja
CL-865	Blanco	Medio	Luz blanca de destello
CL-856	Blanco	Alto	Destellos blancos

Tabla 4.2

4.3.2. Requisitos De Funcionamiento Fotométrico.

Los sistemas de iluminación resuelven los requisitos fotométricos siguientes:

Para las luces estroboscópicas, el equipo proporciona la salida de iluminación especificada en los extremos especificados de la temperatura mientras que el voltaje de entrada varía simultáneamente el $\pm 10\%$ del nominal. Los requisitos de la distribución de la intensidad de luz y del haz para el equipo de iluminación de la torre se especifican abajo. Todas las intensidades enumeradas son intensidades eficaces (excepto la de constante encendido de luces rojas de la torre).

<i>Angulo (grados sobre la horizontal)</i>	<i>Intensidad (%) (1)</i>
<i>15 a 0</i>	<i>5</i>
<i>0 a 2.5</i>	<i>40</i>
<i>2.5 a 12.5</i>	<i>100</i>
<i>12.5 a 15</i>	<i>40</i>
<i>15 a 30</i>	<i>15</i>
<i>30 a 90</i>	<i>5</i>

Tabla 4.3

Nota: 100 % son 32.5 candelas.

4.3.3 Sistema de iluminación.

La iluminación está instalada sobre todo en estructuras para advertir a pilotos de una colisión potencial durante operaciones de noche. Si la iluminación es de suficiente intensidad, sin embargo, puede también servir para dar la advertencia durante operaciones del día, en lugar de otros medios de la marca del día.

4.3.4 El sistema de iluminación roja de la torre.

Un sistema de iluminación rojo de la torre se debe utilizar para la marca de la noche en las estructuras de 150 m (ANS) o menos, y consiste en iluminar de luces rojas según lo ilustrado en la figura 4.2(a) y faros rojos que destellan según lo

ilustrado en la figura 4.2(b), cuando la pintura anaranjada y blanca se requiere para ser utilizada para la marca del día.

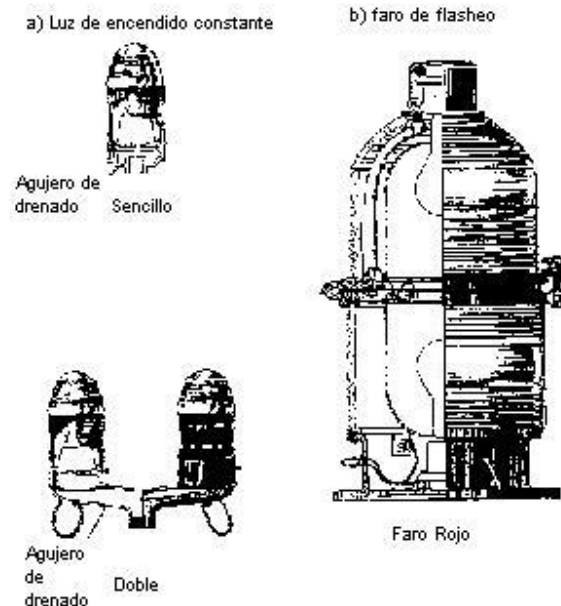


Figura 4.2. Tipo de faros.

4.3.5 Sistema de iluminación estroboscópica de intensidad media de la torre.

Un sistema de iluminación estroboscópica de intensidad media de la torre debe tener una salida fotométrica omnidireccional y modos automáticamente seleccionados de la intensidad de día /crepúsculo (20,000 candelas eficaces) y de la noche (2,000 candelas eficaces).

- (a) Los sistemas de iluminación estroboscópicos de intensidad media de la torre se pueden utilizar en vez de un sistema de iluminación rojo y en lugar de los sistemas de iluminación estroboscópica de alta intensidad.
- (b) Donde un sistema de iluminación estroboscópica de intensidad media, funciona las 24 horas al día en las estructuras de 150 m (ANS) o menos, los estándares de la marca del día no se aplican.
- (c) Un sistema de iluminación estroboscópica de intensidad media se puede utilizar en las estructuras que exceden 150 m (ANS) solamente si la marca del día también se utiliza.

- (d) Debido a fulgor de distracción, los operadores de la estructura, y los pilotos en acercamiento a un aeropuerto, a un medio o al sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad no deben ser instalados en las alturas menores de 60 m (ANS), a menos que estén determinados como aceptables en una evaluación aeronáutica.
- (e) Donde la altura de una estructura hace necesario la instalación de un sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad, un sistema de iluminación estroboscópico de intensidad media se puede utilizar para marcar sus pertenencias.

4.3.6 Sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad de la torre.

Un sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad debe tener una salida fotométrica unidireccional y modos operacionales automáticamente seleccionados para el día (100,000 o 200,000 candelas eficaces), al crepúsculo (20,000 candelas eficaces) y para la noche (2,000 candelas eficaces).

- (a) Un sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad se debe utilizar solamente para la iluminación de una estructura que excede 150 m (ANS) de altura, a menos que esté determinado como necesario para una estructura más baja en una evaluación aeronáutica. Cuando este sistema funciona 24 horas al día, los estándares de la marca del día no se aplican.
- (b) Un sistema de iluminación estroboscópica de alta intensidad debe ser cualquiera de los dos tipos:

4.3.6.1 Niveles simultáneos de luces que destellan.

Donde hay una estructura mayor de 12 m sobre una estructura que requiere de iluminación estroboscópica de alta intensidad; una unidad estroboscópica omnidireccional de luz con intensidad media se debe instalar encima de la tapa y con flash en unísono con los niveles de las luces de la torre de la alta intensidad.

4.3.7 Iluminación dual.

Debido a los problemas de brillantez, el instalar los sistemas de iluminación, no es tan práctico la luz estroboscópica de intensidad media o alta para la iluminación de noche. Un sistema de iluminación dual que consiste en la iluminación roja para la marca de noche y la iluminación estroboscópica es aplicable a la torre para la marca del día.

4.4 PROVISIONES GENERALES.

4.4.1. Requisitos para destello del sistema.

A) Sistemas que destellan simultáneamente. Todas las luces de la torre en los sistemas integrados por CI-856, o destello de iluminación de las unidades CI-864, o CI-865 simultáneamente.

B) Sistemas que destellan ordenados. Los sistemas integrados por (estroboscopio de intensidad alta) las unidades de iluminación CI-857 tienen una característica de destello ordenada. Este sistema consiste en tres niveles que se encienden o acerca a cada estructura de soporte:

- Un nivel está cerca de la tapa;
- Un nivel situado a mitad del camino entre la tapa y el fondo; y
- Un nivel en el punto inferior o más bajo de la catenaria.

C) La secuencia de destello media, superior e inferior. El intervalo entre la tapa y los destellos del fondo está sobre dos veces el intervalo entre los destellos medios y superiores. El intervalo entre el final de una secuencia y el principio del siguiente es cerca de 10 veces el intervalo entre los destellos medios y superiores. El intervalo para la terminación de un ciclo es un segundo $\pm$ el 5%.

D) El cambiar del paso de la intensidad. El cambio de la intensidad o de modo (encendido / apagado.). El cambio de la intensidad es controlado por medio de un dispositivo de la fotocélula que esté instalado para detectar la iluminación

ambiente del fondo (lux). Los ajustes de la fotocélula están de acuerdo con la tabla 4.4.

Paso	Luminancia del ambiente
día a crepúsculo	600 – 300
crepúsculo a la noche	50 – 20
Noche a crepúsculo	20 – 50
crepúsculo a día	300 – 600

Tabla 4.4

4.4.2 Las luces temporales de la torre.

- (a) Cuando un peligro probable a la seguridad de la aviación está presente durante la construcción de una estructura, por lo menos dos luces en la torre se deben instalar en la parte más alta de la estructura, para permitir la visión sin obstáculo por lo menos de una luz.
- (b) A excepción de períodos, cuando interfieran con la construcción, las luces rojas temporales deben funcionar durante períodos de oscuridad y de la visibilidad reducida del vuelo. Las luces estroboscópicas temporales de intensidad alta o media deben funcionar 24 horas al día o permanecer en operación las luces todo el día. Las luces permanentes de la torre se deben instalar y funcionar en cada nivel mientras que progresa la construcción.

Luces rojas de la torre.

Cada luz temporal de encendido constante debe emitir por lo menos 32,5 candelas de luz roja de aviación en todas las direcciones horizontales.

- (c) Cuando la instalación de luces temporales no es posible, la iluminación con focos puede ser utilizada.

4.4.3 Iluminación con focos.

Una torre que no excede 150 m (ANS) puede ser iluminada por medio de proyectores de iluminación de búsqueda fija que se deben instalar en tres o más puntos equidistantes sobre la base de la torre y proporcionar una iluminación media de 150 lux sobre la mitad superior de la torre.

4.4.4 Grupos de estructuras.

Si los objetos individuales dentro de un grupo de estructuras no son de la misma altura y se espacian más de 45 m, los objetos prominentes dentro del grupo se deben encender de acuerdo con los estándares para las estructuras individuales de una altura correspondiente. Además, por lo menos un faro rojo de destello o luz estroboscópica de intensidad media se debe instalar en la tapa de una torre prominente del centro.

4.4.5 Modificado del nivel del suelo.

La elevación de las tapas de los edificios en áreas congestionadas se debe utilizar, como el equivalente del nivel del suelo cuando la determinación del número apropiado de niveles de iluminación requerido para encender adecuadamente una torre.

4.4.6 Supervisión de la iluminación de la torre.

Aunque algunos sistemas de iluminación de la torre tienen características redundantes, el cierre que supervisa por medios visuales o automáticos sigue siendo una característica esencial de la seguridad en la aviación. Por lo tanto, el estándar siguiente. Los sistemas de iluminación de la torre se deben supervisar de cerca por medios visuales o automáticos como sigue:

- (a) La iluminación de la torre sin supervisión automática se debe supervisar visualmente una vez cada 24 horas;
- (b) Donde no esté accesible la iluminación de la torre para la supervisión visual, un monitor automático correctamente mantenido se debe utilizar

para proporcionar la indicación de que no está funcionando el sistema o que funciona correctamente. El monitor se debe diseñar para detectar el malfuncionamiento de cualquier luz en la torre sin importar su posición;

- (c) La salida del monitor se debe situar en un área ocupada generalmente por el personal autorizado. Los sistemas de iluminación rojos y estroboscópicos deben ser supervisados;
- (d) Toda la iluminación de la torre se debe examinar visualmente sobre una base regular. Las lámparas deben ser substituidas después de haber funcionado no más que 75 % de su vida clasificada. El flash electrónico se exime de este estándar de reemplazo; y
- (e) El propietario u operador de la torre debe notificar a la autoridad regional más cercana de aviación civil, cuanto antes, de cualquier falla en el servicio de la iluminación de la torre para poder iniciar una acción apropiada.

4.4.7 Intensidad de las luces de la torre que destellan.

- (a) Donde sea probable que la iluminación de la torre distrae a operadores del avión, o si la iluminación está en un área residencial congestionada, un protector se debe instalar en las luces apropiadas para reducir al mínimo los efectos nocivos de la luz.
- (b) En la proximidad de canales navegables o a lo largo de regiones costeras, la instalación de un sistema de iluminación de la torre se debe coordinar con autoridades marinas para evitar interferencia con la navegación marina.

4.4.8 Especificación Fotométrica.

La iluminación estroboscópica debe conformarse con las especificaciones de la salida fotométrica de accesorios de iluminación, la cual especifica los requisitos para la intensidad eficaz en las extensiones horizontales y verticales del haz.

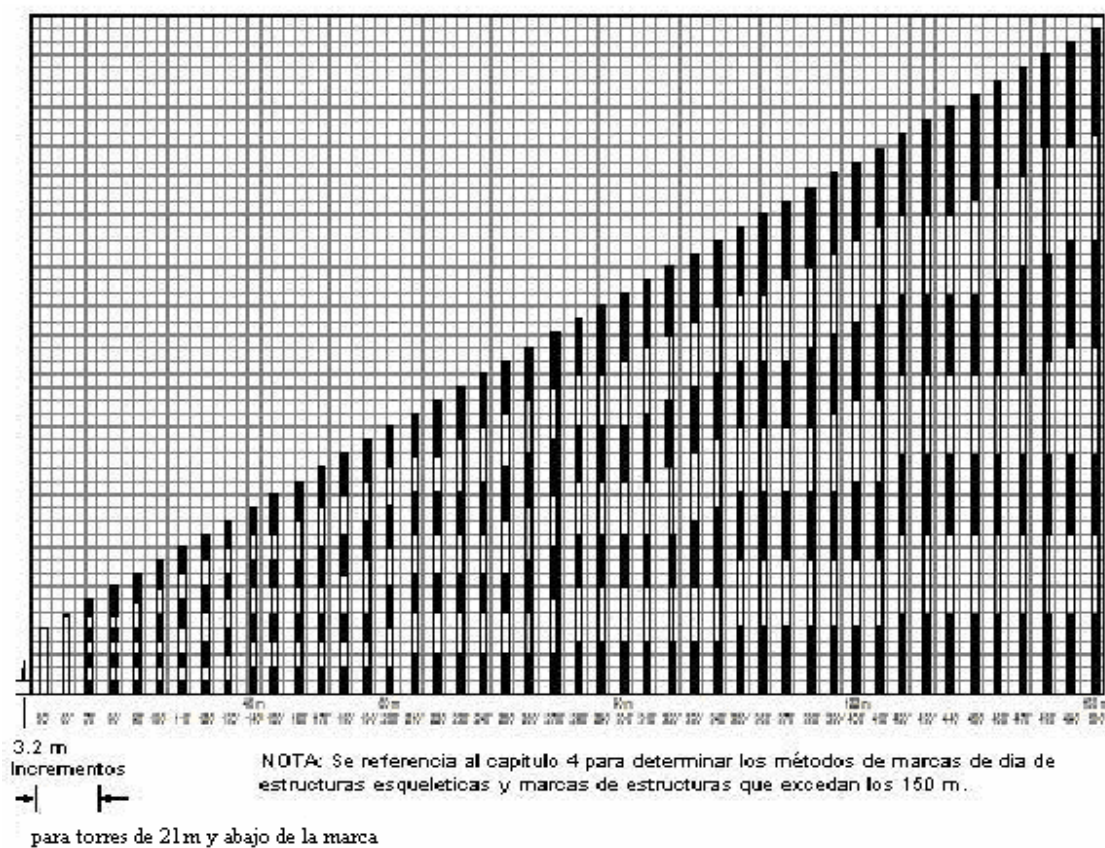


Figura 4.3. Tipos de marca de día.

4. 5. Sistema de iluminación roja de la torre.

Faro que destella rojo unidad de iluminación. La extensión vertical del haz tiene 3° mínimos. El borde más bajo de la extensión vertical del haz esta entre -1.5 y -0.5° . Los requisitos fotométricos están de acuerdo con la tabla 4.5.

	Extensión del Haz		
<i>Paso</i>	<i>Horizontal (grados)</i>	<i>Vertical (grados)</i>	<i>Intensidad pico (candelas)</i>
<i>Sencillo</i>	<i>360</i>	<i>3 mínimo</i>	<i>2,000 ± 25 %</i>

Tabla 4.5.

4.5.1 Características de la iluminación roja de la torre.

Salvo especificación de lo contrario en los estándares, un sistema de iluminación rojo debe consistir en una combinación de luces rojas de encendido constante y de los faros rojos que destellan.

4.5.1.1 Operación de las luces rojas de la torre.

Un sistema de iluminación roja de la torre debe funcionar continuamente o dar vuelta en intervalos por medio de un dispositivo fotoeléctrico automático que tiene un ajuste encendido apagado entre 300 lux y 600 lux de iluminación.

4.5.2 Faros Rojos Que destellan.

Un faro rojo que destella usado en un sistema de iluminación rojo debe:

- (a) Producir luz roja para la aviación;
- (b) Producir destellos de la luz roja teniendo cada una intensidad eficaz máxima por lo menos de 1,500 candelas, medida a cualquier ángulo horizontal del azimut;
- (c) Tener un mecanismo que destella que no permita más de 40 ni menos de 20 destellos por minuto; y
- (d) Encender a partir de la mitad a dos tercios del ciclo encendido / apagado total.

4.5.3 Luces rojas de quemado constante.

La intensidad de la luz emitida por cada lámpara dentro de una unidad encendido constante de la luz roja no debe ser menos de 32.5 candelas en color rojo, con la distribución de la luz según lo indicado en la tabla 4.6 (refiere a la figura 4.2).

ANGULO (Grados sobre la horizontal)	INTENSIDAD (porcentaje del total de la intensidad)
-15 a 0	5
0 a 2.5	40
2.5 a 12.5	100
12.5 a 15	40
15 a 30	15
30 a 90	5

Tabla 4.6.

4.5.3.1 Uso obligatorio de las luces constantes duales de la torre.

Para los propósitos de este trabajo, " una sola unidad de iluminación " significa que solo contiene una lámpara, y una "unidad de iluminación dual" significa una unidad de iluminación que contiene dos lámparas. Las unidades de iluminación duales que contienen por lo menos dos lámparas, cada una incluida dentro de un globo rojo, deben ser utilizadas como sigue:

- (a) Una unidad de iluminación roja dual se debe instalar como unidad de iluminación superior, en cada final de una fila de unidades solas de iluminación en su nivel superior, en áreas o localizaciones en donde la falta de una lámpara causaría que la torre estaría sin luz totalmente cuando sean vistas por el piloto de un avión que se acerca;
- (b) El nivel superior de una estructura de 45 m (ANS) o menos, debe tener una o más unidades duales de luces instaladas en el punto más alto y funcionando simultáneamente; y
- (c) Cuando un malfuncionamiento de una sola unidad de iluminación podría crear una condición insegura, y en las áreas alejadas donde el mantenimiento no se puede realizar dentro de un período de tiempo razonable, por lo menos dos unidades de iluminación duales se deben instalar en cada nivel intermedio en una estructura. Ambas unidades de

iluminación deben estar funcionando simultáneamente o con relevador de transferencia para cambiar a la luz de repuesto.

4.5.3.2 Uso permitido de las unidades rojas de luz solas en la torre.

Donde más que una luz roja de encendido constante se requiere para ser instalada horizontalmente o verticalmente para la iluminación roja de la torre, una sola unidad de la luz roja puede ser utilizada:

- (a) En el nivel superior de estructuras horizontales tales como torres, faros; y
- (b) En niveles intermedios de la estructura esquelética y sólida que tiene más de un nivel de iluminación y más de una sola unidad de iluminación en cada nivel; a condición de tener mantenimiento para el reemplazo o la reparación de la lámpara, que se pueda lograr dentro de un período de tiempo razonable.

4.5.4 Accesorios.

La localización de los niveles de iluminación que se instalarán en un sistema de iluminación rojo de la torre debe ser en función de la altura combinada de la estructura principal y de cualquier otra.

Donde está una estructura de menos de 12 m, la localización resuelta de niveles de iluminación intermedios debe ser mantenida, pero la luz superior se puede poner en la base de la estructura. Si tal colocación no permite la visión sin obstáculo de la luz superior del piloto, luces adicionales deben ser instaladas.

Donde está la estructura a más de 12 m, la luz superior se debe instalar en la tapa de la estructura. Si la estructura no es capaz de llevar la unidad de iluminación, la luz se puede montar en la tapa de un mástil adyacente.

4.5.5 Postes, torres y estructuras esqueléticas similares.

Los estándares siguientes se aplican a las torres de comunicaciones, a las estructuras de soporte, y a las estructuras esqueléticas similares.

4.5.5.1 Luz montada superior de la torre.

- (a) En las estructuras de 45 m (ANS) o menos, deben ser instalados dos o más luces encendidos constantes.
- (b) En las estructuras que exceden 45 m (ANS), por lo menos un faro que destella rojo debe ser instalado.

4.5.5.2 Luces montadas en los niveles intermedios.

El número de niveles de luces debe estar de acuerdo con la figura 4.3. El número de luces en cada nivel se debe determinar por la forma y la altura de la estructura. Las luces se deben instalar para proporcionar una vista sin obstáculo por lo menos de una luz. Más específicamente:

- (a) En el caso de luces rojas de quemado constantes:
 - (i) Para las estructuras de 107 m (ANS) o menos, se debe instalar luces rojas de quemado constante, con encendido diagonalmente o diametralmente enfrente de las posiciones.
 - (ii) Para las estructuras de formas triangulares 107 m (ANS) o menos, dos unidades de luz roja, sola o doble, debe ser instalada a condición de que por lo menos una se pueda ver sin obstáculo de cualquier ángulo normal de acercamiento. Si esto no es posible, entonces tres unidades de luz roja se deben instalar, una en cada ápice de la sección representativa triangular, y
 - (iii) Para las estructuras que exceden 107 m (ANS), las luces rojas de quemado constantes se deben instalar en cada esquina exterior de cada nivel; y
- (b) En el caso de faros rojos que destellan en las estructuras que exceden 107 m (ANS) pero que no exceden 150 m (ANS), un faro que destella rojo se debe instalar dentro de la estructura apropiada, excepto si los miembros

estructurales deterioran la visión del faro, después dos faros rojos que destellen se deben instalar en el exterior diagonalmente o diametralmente enfrente de posiciones en cada nivel.

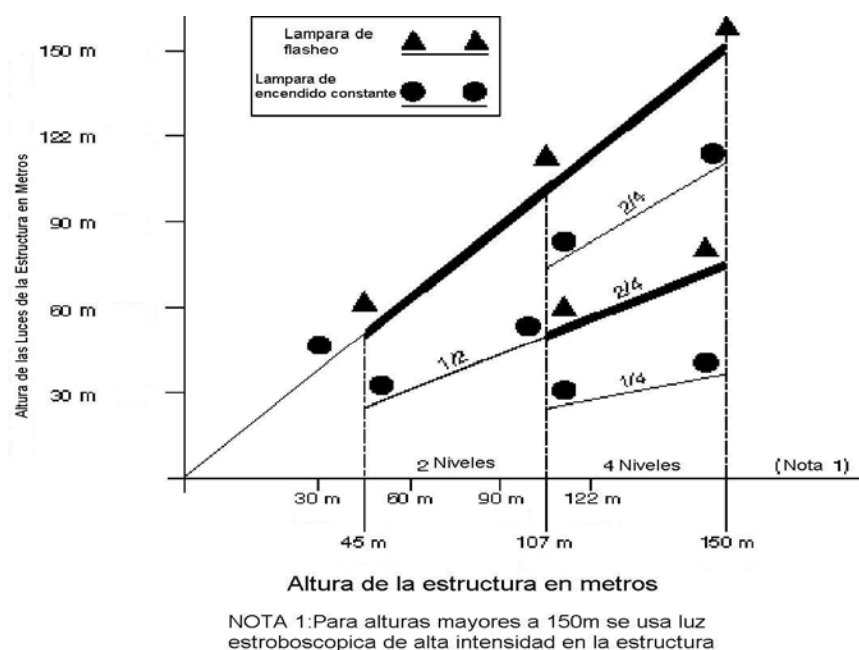


Figura 4.4. Tipos de luces para las torres.

4.5.6 Luces Rojas

4.5.6.1 Luces rojas montadas en la parte superior de la torre.

Las luces rojas de las estructuras montadas en la tapa de torres, deben cumplir los requisitos siguientes:

- En las estructuras de 45 m (ANS) o menos, por lo menos tres luces rojas de encendido constante en la torre. Se deben instalar en los intervalos regulares en el plano horizontal o cerca de la tapa, para asegurar una visión sin obstáculo por el piloto de un avión que se acerca;
- En las estructuras que exceden 45 m (ANS), dos o más faros rojos que destellan se debe instalar para asegurar una visión sin obstáculo por el piloto de un aeronave que se acerca.

4.5.6.2 El montado de los niveles intermedios.

- (a) En el caso de luces de encendido constante, por lo menos tres luces se deben montar en cada nivel intermedio para asegurar una vista sin obstáculo por lo menos de dos luces en cada nivel por el piloto de un avión que se acerca. El número recomendado de niveles de iluminación se contiene en la figura 4.5.
- (b) En el caso de faros que destellan, el número requerido en cada uno de los niveles debe estar de acuerdo con la figura 4.4. Donde la estructura excede 107 m (ANS), dos o más faros que destellan se deben instalar en cada nivel para permitir una vista sin obstáculo por lo menos de un faro por el piloto de un avión que se acerca.

4.5.7. Estructuras que exceden 45 m en cualquier dimensión horizontal.

Si la torre excede 45 m (ANS) en cualquier dimensión horizontal, por lo menos una luz de encendido constante en la torre se debe exhibir para cada 45 m o la fracción de eso, del largo total del eje principal de la torre. Por lo menos una de estas luces se debe exhibir en el punto más alto en cada punta de la torre. Las luces adicionales se deben exhibir en los puntos más altos a lo largo del borde entre las luces del extremo. Si hay dos o más bordes de la misma altura en una torre situada cerca de una zona de aterrizaje, el borde lo más cerca posible la zona de aterrizaje debe ser encendido (refiera a la figura 4.4).

4.5.7.1 Estructuras que exceden 45 m ANS.

Las luces de encendido constante de la torre se deben instalar en la tapa de una torre según lo especificado en las secciones 4.5.5.1 y 4.5.5.2. En los niveles intermedios, las luces de encendido constante se deben exhibir para cada 45 m o la fracción de eso. La posición de estas luces respecto al plano vertical debe ser equidistante entre las luces superiores y el nivel del suelo como la forma y el tipo de torre permita. Una luz tal se debe exhibir en la esquina exterior en cada nivel

con las luces restantes espaciadas uniformemente entre las luces de la esquina (figura 4.5).

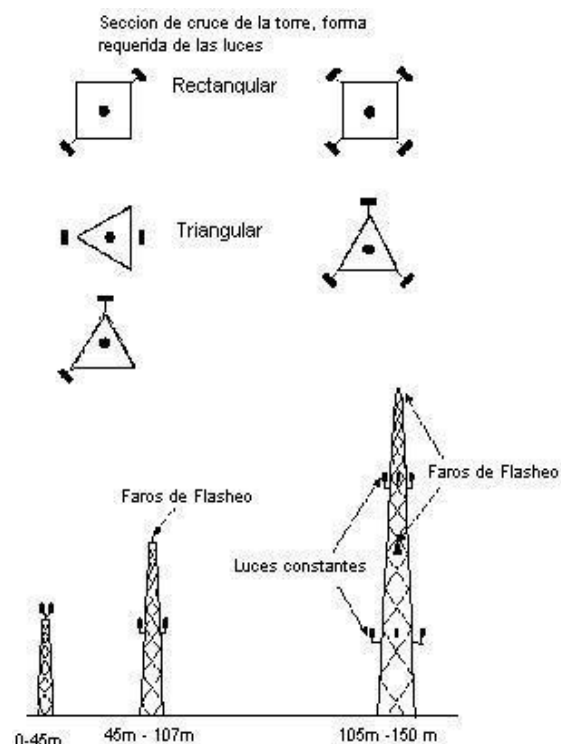


Figura 4.5. Forma requerida de las luces.

4.6. Luces omnidireccionales estroboscópicas de media intensidad.

Intensidad media del blanco destellante (CI-865).

Unidad de iluminación- la extensión vertical del haz es 3° mínimo. Mientras el borde más bajo de las verticales de la extensión del haz esta entre -1.5° y -0.5° los requisitos fotométricos de está de acuerdo con la tabla 4-6.

	Extensión del Haz		
Paso	Horizontal (grados)	Vertical (grados)	Intensidad pico (candelas)
Día / crepúsculo	360	3 mínimo	20,000 ± 25%
Noche	360	3 mínimo	2,000 ± 25%

Tabla 4.7.

Frecuencia y duración de destello. La frecuencia y duración de destello está de acuerdo con la tabla 4.8.

<i>Tipo</i>	<i>Intensidad de paso</i>	<i>Rango de Flash (fpm)(1)</i>	<i>Duración del destello (2)</i>
<i>CL-856</i>	<i>día y crepúsculo</i>	<i>40</i>	<i>Menor a 10 ms</i>
<i>CL-856</i>	<i>Noche</i>	<i>40</i>	<i>Entre 100 y 250 ms inclusive</i>
<i>CL-857</i>	<i>día y crepúsculo</i>	<i>60</i>	<i>Menor a 10 ms</i>
<i>CL-857</i>	<i>Noche</i>	<i>60</i>	<i>Entre 100 y 250 ms inclusive</i>
<i>CL-810</i>	<i>Sencillo</i>	<i>20 – 40</i>	<i>1/2 a 2/3 del periodo de flash, nota (3)</i>
<i>CL-865</i>	<i>día y crepúsculo</i>	<i>40</i>	<i>Menor a 10 ms</i>
<i>CL-865</i>	<i>Noche</i>	<i>40</i>	<i>entre 100 y 250 ms inclusive</i>

Tabla 4.8. Características del destello de las luces de la torre

Nota (1): Los intervalos de destello tienen una tolerancia del $\pm 5\%$.

Nota (2): Cuando la duración de destello eficaz es alcanzada por un grupo de destellos cortos, los destellos cortos se emiten en no menos que 30 por segundo.

Nota (3): La intensidad de luz durante el período no es menos del 10% de la intensidad eficaz máxima. El periodo de apagado es por lo menos 1/3 del período de destello.

4.6.1 Características.

4.6.1.1 Salida Fotométrica.

Un sistema de luz estroboscópica de intensidad media debe proveer a la salida del estroboscopio las características fotométricas especificadas en la tabla 4.9.

Modo Operación	Intensidad Mínima Efectiva (candelas)	Intensidad Pico Efectiva (candelas)	Mínima Extensión del Haz (grados) Horizontal - Vertical
día /crepúsculo	7500	20,000 ⁽¹⁾	360 ⁽²⁾ 3 ⁽³⁾
noche	750	2,000 ⁽¹⁾	360 ⁽²⁾ 3 ⁽³⁾

Tabla 4.9.

Nota (1): Tolerancia del $\pm 25\%$.

Nota (2): Las unidades de iluminación múltiples se pueden requerir para alcanzar la cobertura horizontal donde la estructura cubriría parcialmente una sola unidad.

4.6.1.2 Frecuencia de Destello.

El índice de destello de un sistema estroboscópico de intensidad media debe ser 40 destellos por minuto, $\pm 5\%$.

4.6.1.3 Duración del destello.

La duración de destello de un sistema estroboscópico de intensidad media debe ser 0.1 a 0.25 segundos para la intensidad de la noche solamente. Cuando la duración de destello eficaz es alcanzada por un grupo de destellos cortos, los destellos cortos se deben emitir en un índice de no menos de 30 por segundo.

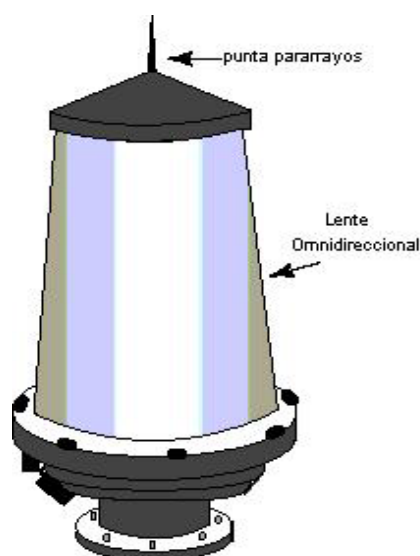


Figura 4.6. Tipo de luz Omnidireccional.

4.6.1.4 Control de la Intensidad.

El sistema estroboscópico de intensidad media debe ser controlado para proveer el modo de operación de día, el crepúsculo y de la noche, en conformidad los valores de la iluminación especificada en la tabla 4.10.

MODO	CAMBIO DE ILUMINANCIA (lux)
día a crepúsculo	Entre 300 y 600
crepúsculo a noche	entre 20 y 50
noche a crepúsculo	entre 20 y 50
crepúsculo a día	entre 300 y 600

Tabla 4.10

4.6.2 Uso de la iluminación de intensidad media.

4.6.2.1 Estructuras.

Una unidad de iluminación omnidireccional estroboscópica de intensidad media se debe utilizar para la indicación superior de la estructura más arriba de 12 m donde

la estructura principal se requiere bajo estos estándares para tener iluminación estroboscópica de la torre de alta intensidad.

4.6.2.2 El Apuntador Vertical.

Para la instalación, el límite más bajo del haz se debe fijar entre el -1 grado y más $0,5^\circ$ del horizontal, el límite más bajo que es el punto en el cual la intensidad del haz excede los requisitos mínimos.

4.6.2.3 Niveles de unidades de iluminación.

Los niveles de las unidades de iluminación estroboscópica de la torre de intensidad media deben resolver las especificaciones de la figura 4.7.

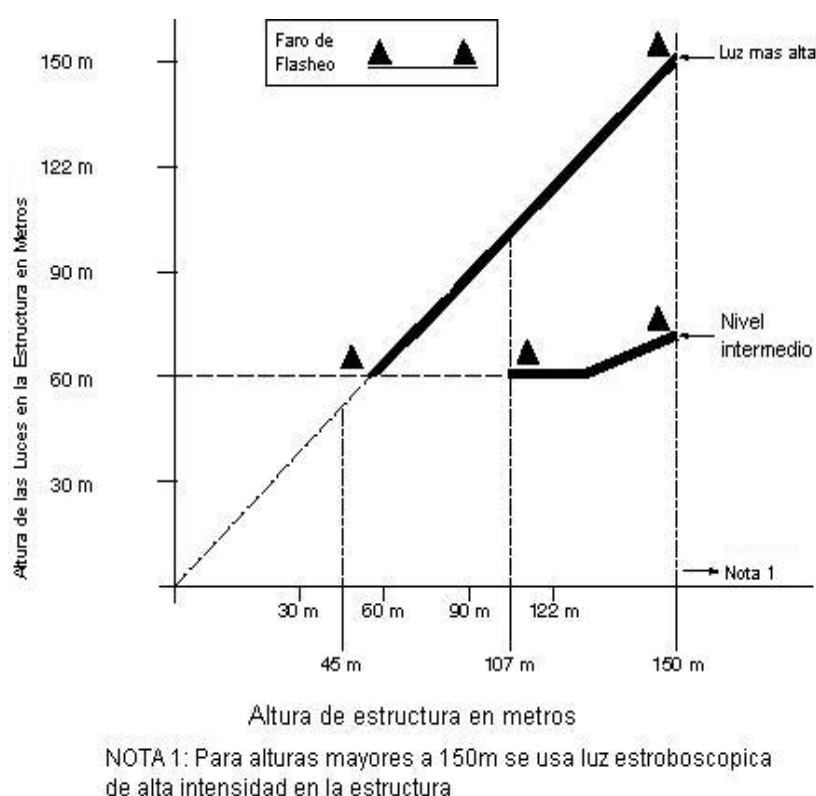


Figura 4.7. Posiciones para los faros de destello.

Esta figura es similar a la figura 4.4, para la iluminación roja de la torre, a menos que la altura más baja del montaje se limita normalmente a 60 m (ANS).

4.7. Alta intensidad de la iluminación estroboscópica.

4.7.1 Características.

4.7.1.1 Unidades de iluminación típicas.

En un sistema de iluminación estroboscópico de alta intensidad de la torre, un mínimo de tres unidades de iluminación se debe instalar en cada nivel del montaje para proporcionar cobertura de 360°. Este estándar proviene del hecho de que las unidades de iluminación individuales en un sistema estroboscópico de alta intensidad no son omnidireccionales.

4.7.1.2 Salida Fotométrica.

Un sistema de iluminación estroboscópico de la torre de alta intensidad debe proveer a la salida de destello las características fotométricas especificadas en la tabla 4.11.

Modo Operación	Intensidad Mínima Efectiva (candelas)	Intensidad Pico Efectiva (candelas)	Mínima Extensión del haz (grados) Horizontal – Vertical
Día	100,000	200,000 (1)	360 (3) 3 a 7
crepúsculo	7500	20,000 (2)	360 (3) 3 a 7
noche	750	2,000 (2)	360 (3) 3 a 7

Tabla 4.11

Nota (1): Mínimo.

Nota (2): Tolerancia del más o menos el 25%.

Nota (3): Cobertura eficaz de la Haz.

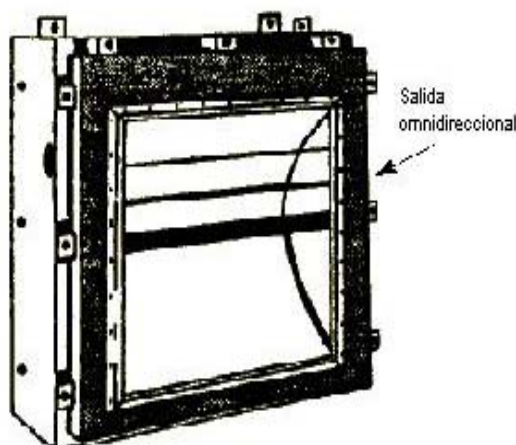


Figura 4.8. Iluminación estroboscópica de alta intensidad, unidad de iluminación típica.

4.7.1.3 Extensión del Haz.

Deber emitir una extensión vertical relativamente estrecha del haz según lo especificado en la tabla 4-11 para proporcionar intensidad de luz completa en las altitudes de posibles colisiones con la estructura. La extensión horizontal real de las unidades de iluminación manufactureras debe ser 90° o 120°, tales que 3 o 4 luces son necesarias para proporcionar la cobertura eficaz de 360° en cada nivel.

4.7.1.4 Frecuencia de destello.

Todas las unidades de iluminación deben destellar simultáneamente en 40 destellos por minuto, $\pm 5\%$.

4.7.1.5 Duración de destello.

La duración de destello de un sistema estroboscópico de alta intensidad debe ser 0.1 a 0.25 segundos para la intensidad de la noche solamente. Cuando la duración de destello eficaz es alcanzada por un grupo de destellos cortos, los destellos cortos se deben emitir en un índice de no menos de 30 por segundo.

4.7.1.6 Control De la Intensidad.

La iluminación estroboscópica de la torre de alta intensidad se debe controlar de manera para proporcionar el modo de operación del día, del crepúsculo y de la noche. El control debe ser tal que la operación para un modo particular ocurre para los valores especificados en la tabla 4.12.

Modo	Cambio de Iluminancia (lux)
día a crepúsculo	Entre 300 y 600
crepúsculo a noche	Entre 20 y 50
noche a crepúsculo	Entre 20 y 50
crepúsculo a día	Entre 300 y 600

Tabla 4.12

4.7.2 El apuntador vertical.

4.7.2.1 Instalación.

La luz superior se debe fijar en los grados cero al horizontal y el resto de las luces se deben instalar de acuerdo con las especificaciones de la tabla 4-13. Las especificaciones de fabricación prevén la intensidad máxima del rayo de luz que se ajustará a partir de 0 a 8° sobre el horizonte.

Altura de unidades de luz en metros ANS	Grados de Elevación
Excediendo 150	0
122 a 150	1
90 a 122	2
menores a 90	3

Tabla 4.13

4.7.2.2 El Apuntar más alto.

Donde el terreno, las áreas residenciales próximas u otras situaciones dictan, el rayo de luz se debe elevar más lejos sobre el horizonte. El haz de luz principal en el nivel más bajo no debe pulsar lo más de cerca de 5 kilómetros de tierra de la estructura. Si los ajustes adicionales son necesarios, las luces se deben ajustar individualmente hacia arriba, en los incrementos de un grado, comenzando en el fondo.

PRECAUCIÓN: Los ángulos de elevación más altos pueden reducir evidencia levantando el haz sobre la trayectoria de vuelo en curso de colisión. Este ajuste no debe abolirse del propósito previsto del sistema de iluminación.

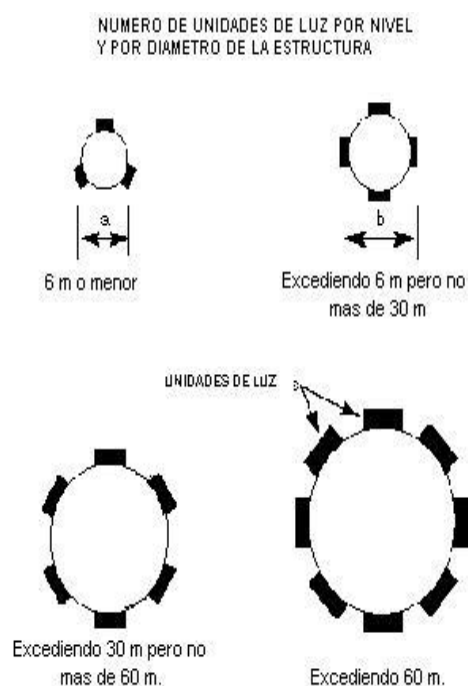


Figura 4.9. Iluminación estroboscópica de la torre de alta intensidad.

4.7.2.3 Casos Especiales.

Donde un sistema de iluminación estroboscópico de alta intensidad está instalado en una estructura situada cerca de las carreteras, de los canales, de las áreas del

acercamiento al aeropuerto y de las áreas sensibles similares, el cubrir o ajuste en apuntar vertical u horizontal puede ser aprobado con una evaluación aeronáutica para asegurar que las luces no distraen ni causan de otra manera un peligro a los automotores, operadores del lugar, o pilotos en un acercamiento a un aeropuerto.

PRECAUCIÓN: Este ajuste no debe abolirse del propósito previsto del sistema de iluminación.

4.7.3 Número de unidades de iluminación por nivel.

Por lo menos tres luces se deben instalar en el diámetro exterior de la torre. Las unidades de iluminación se deben instalar en cada nivel en una manera para asegurar una vista sin obstáculo por un piloto. El número de las unidades de iluminación recomendadas por nivel es dependiente de la cobertura horizontal de cada unidad de iluminación y es más a fondo dependiente del diámetro exterior medio de la estructura específica y de la anchura horizontal de la viga de la unidad de iluminación. El número de las unidades de iluminación indicadas en la tabla 4.14 es el mínimo.

Diámetro de la estructura Metros	Unidades de luz por nivel
Menores a 6	3
6 a 30	4
31 a 60	6
mas de 60	8

Tabla 4.14

4.7.4 Re-localización u omisión de unidades de iluminación.

Las unidades de iluminación se deben instalar en una estructura de manera que la distribución de iluminación y la intensidad no sea interrumpida por la estructura.

- (a) **El nivel más bajo de luces:** El nivel más bajo de unidades de iluminación se puede instalar en una elevación más alta a la normal en una estructura si el

terreno circundante, los árboles o los edificios adyacentes obscurecerían las luces. En circunstancias excepcionales.

- (b) **Dos Estructuras Adyacentes:** Cuando dos estructuras se sitúan 150 m o menos uno del otro y las unidades de iluminación están instaladas en los mismos niveles, en lados de las estructuras para no necesitar ser encendidos; por lo tanto, las luces interiores pueden ser omitidas, a condición de que destellan todas las luces en ambas estructuras simultáneamente. Los ajustes de menor importancia en la colocación vertical de las luces a cualquiera o a ambos niveles intermedios de las estructuras. Donde está más alta una estructura que la otra, uno o más del nivel completo de luces se debe instalar en esa parte de la estructura más alta que extiende sobre la estructura más baja. Si las estructuras son de tal altura que los niveles de luces no se pueden poner en planos horizontales idénticos, después las unidades de iluminación deben ser puestas de una manera tal que el centro de los patrones horizontales de la viga de cada estructura no haga frente hacia la estructura adyacente.

Por ejemplo, si nos situamos al norte y al sur de alguna estructura está debe tener las unidades de iluminación instaladas en una orientación de Noreste / suroeste y de Noroeste / sueste.

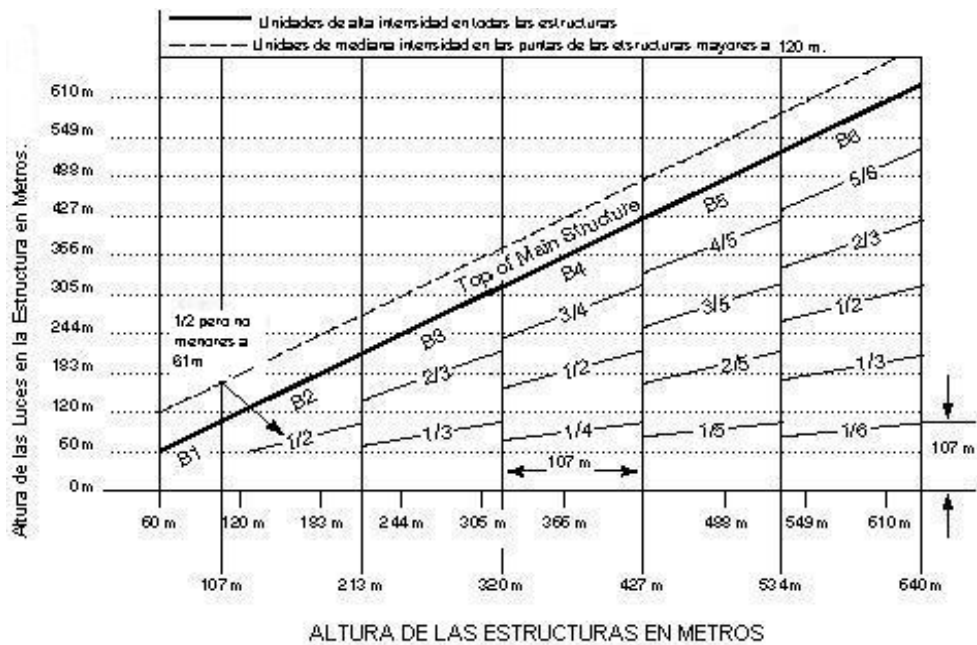


Figura 4.10. Iluminación estroboscópica de la torre de alta intensidad.

4.7.5 Uso de los protectores del hielo.

Donde es probable que ocurra la formación de hielo, el metal raya o los protectores similares del hielo se deben instalar directamente sobre cada unidad de iluminación para evitar que las acumulaciones del hielo o el hielo que cae dañen las unidades de iluminación, a condición de que no se oscurezca ninguna luz para que sea vista por los pilotos de las aeronaves que se acercan.

4.7.5.1 Nivel superior de luces.

Un nivel de luces se debe instalar en el punto más alto de la estructura. Si el punto más alto es una barra o una antena incapaz de apoyar un sistema de iluminación, el nivel superior de luces se debe instalar en la porción más alta de la estructura esquelética principal. Debido al tipo de construcción de algunas torres, sin embargo, donde los alambres individuales vienen juntos en la tapa, este nivel de luces se puede instalar tan bajo como 3 m debajo de la tapa. Si la barra, la antena o la estructura similar excede 12 m sobre la estructura principal, una luz estroboscópica de la torre de intensidad media se debe montar en la tapa de esta

estructura. Si la estructura, tal como una antena, no puede apoyar una luz estroboscópica en la torre de intensidad media, una o más de estas luces se puede instalar en un poste adyacente a la pertenencia para proporcionar una vista sin obstáculo por lo menos de una luz.

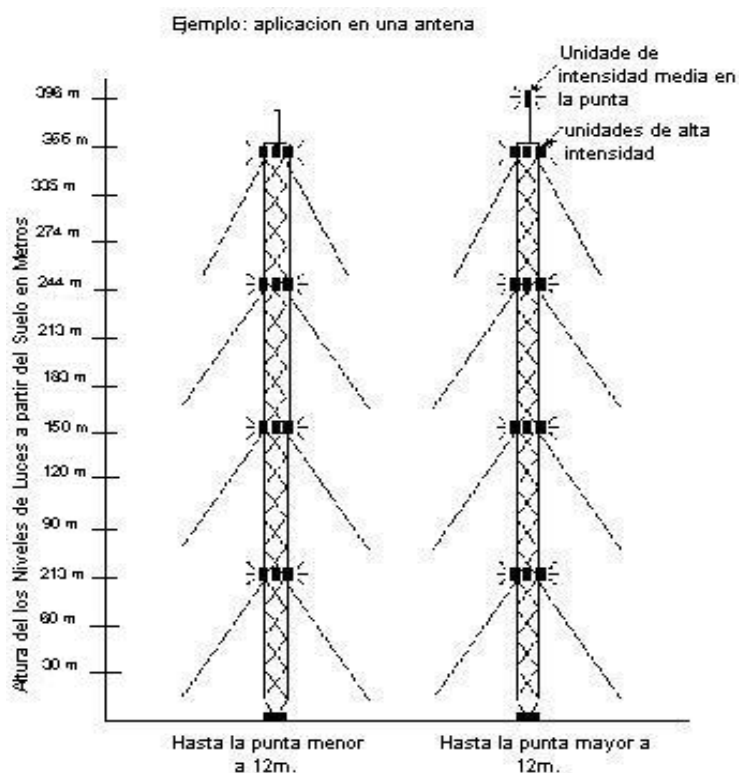


Figura 4.11. Iluminación estroboscópica de la torre de alta intensidad.

El destellar blanco de alta intensidad (CI-856)

Unidad de iluminación - se separó y la intensidad eficaz está de acuerdo con la tabla 4.15.

	Extensión del Haz		
<i>Pasos</i>	<i>Horizontal (grados) (1)</i>	<i>Vertical (grados)</i>	<i>Intensidad Pico (candelas)</i>
<i>Día</i>	<i>90 a 120</i>	<i>3-7</i>	<i>270,000 ± 25%</i>
<i>Crepúsculo</i>	<i>90 a 120</i>	<i>3-7</i>	<i>20,000 ± 25%</i>
<i>Noche</i>	<i>90 a 120</i>	<i>3-7</i>	<i>2,000 ± 25%</i>

Tabla 4.15

Nota (1): Las unidades de iluminación múltiples se pueden utilizar para alcanzar una cobertura horizontal de 180° o 360°.

Nota de Especificación: En el punto 4.7 de este documento se estipula una intensidad máxima de 200,000 candelas. El valor de día de la tabla 4.2 se da como 270,000 candelas para las cuales 75 % sean 202,500 candelas.

El destellar blanco de la alta intensidad. (CL-857)

Unidad de iluminación - La unidad de luz estroboscópica de alta intensidad tiene una extensión del haz y una intensidad eficaz de acuerdo con la tabla 4.16

	Extensión del Haz		
<i>Pasos</i>	<i>Horizontal (grados) (1)</i>	<i>Vertical (grados)</i>	<i>Intensidad Pico (candelas)</i>
<i>Día</i>	<i>90 a 120</i>	<i>3-7</i>	<i>140,000 ± 25%</i>
<i>Crepúsculo</i>	<i>90 a 120</i>	<i>3-7</i>	<i>20,000 ± 25%</i>
<i>Noche</i>	<i>90 a 120</i>	<i>3-7</i>	<i>2,000 ± 25%</i>

Tabla 4.16

Nota (1): Las unidades de iluminación múltiples se pueden utilizar para alcanzar una cobertura horizontal de 180° o 360°.

Nota De Especificaciones: En este trabajo se estipulan una intensidad eficaz máxima de 100,000 candelas. El valor de día de la tabla 3 se da como 140,000 candelas para las cuales el 75% sea 105.000 candelas.

Capítulo 5.

Métodos utilizados para las pruebas

5.1. Tolerancia en Potencia

La potencia de operación de la estación, se debe mantener tan cerca como sea posible del valor autorizado. La potencia de la estación no debe ser superior al 10% ni inferior al 15% de la potencia autorizada.

5.1.1. Determinación de Potencia de Operación del Transmisor.

Con objeto de verificar los niveles de tensión que se reciben en la estación, previo a la determinación de la potencia de operación, se verificará el voltaje de la línea de alimentación de energía eléctrica a la entrada del transmisor.

La potencia de operación del transmisor de una estación, se podrá determinar mediante la aplicación de cualquiera de los métodos directo ó indirecto, que se describen a continuación. Cuando debido al tipo de tecnología utilizada por el transmisor, se emplee otro tipo de medidores, fórmulas o procedimientos para obtener la potencia por el método directo o indirecto, deberá contarse con el previo registro ante la S.C.T.

a) Método directo:

Este método, consiste en medir la potencia de salida del transmisor, utilizando un medidor de potencia en la línea de transmisión, conectado entre la salida del transmisor y una carga artificial cuyo valor resistivo sea igual a la impedancia característica de la línea de transmisión y con una reactancia despreciable.

En caso de no estar disponible la carga artificial, se puede realizar la medición con el medidor conectado a la antena de la estación, siempre y cuando la antena produzca una potencia reflejada menor al 3% de la potencia incidente.

b) Método indirecto

Este método, consiste en determinar la potencia del transmisor, siempre y cuando el primero no se pueda realizar, aplicando un factor de eficiencia a la potencia de entrada de la etapa final de potencia de radiofrecuencia, aplicando la siguiente formula:

$$\text{Potencia de operación} = (E_P)(I_P)(F)$$

En donde:

E_P = Tensión continua que alimenta al paso final

I_P = Corriente continua que toma el paso final

F = Factor de eficiencia del amplificador ($0 < F < 1$)

El factor de eficiencia (F), debe proporcionarlo el fabricante del equipo transmisor y se infiere que la S.C.T., toma como factor el valor que se indique en el instructivo del equipo.

En el caso de transmisores que se operen con potencias diferentes de la nominal para la que fueron diseñados, y que el instructivo del equipo no indique el factor de eficiencia para tal situación, el factor (F) debe establecerse por mediciones realizadas con el método directo, registrándose como referencia para aplicar el método indirecto.

En los casos en que por alguna innovación tecnológica, las características del transmisor, no permitan aplicar la fórmula anterior, entonces se aplicará el procedimiento especificado por el fabricante del equipo, para la determinación indirecta de la potencia de operación.

5.2. Manejo algebraico de los valores de campo eléctrico, magnético y densidad de potencia.

5.2.1 Factor de Antena (K).

Para convertir una lectura de voltaje del receptor a intensidad de campo en V/m o en $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, se requiere adicionar un factor de conversión (en dB) a dicha lectura. A este número se le denomina Factor de Antena y es usualmente suministrado por el fabricante. Así:

$$E = K + V_r \quad (1)$$

O bien:

$$E \left[\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} \right] = K \left[\frac{\text{dB}}{\text{m}} \right] + V_r [\text{dB}\mu\text{V}] \quad (2)$$

Donde:

E: Intensidad de campo en [V/m] o [dB μ V/m]

K: Factor de antena [1/m] o [dB/m]

V_r : Voltaje receptor [V] o [dB(V)]

En mediciones de radiación electromagnética utilizando analizadores de espectros, el receptor en cuestión es este instrumento, que comúnmente se calibra a dBm (decibels referidos a 1[mW]) de manera que se requiere una conversión de voltaje.

Si en lugar del factor de antena el fabricante suministra su ganancia, la ecuación 3 permite determinarlo a partir de ella.

$$K = 20 \text{ Log } f \text{ (MHz)} - G \text{ (dB)} - 29.8 \text{ [dB]} \quad (3)$$

Donde:

K: Factor de la antena [dB/m].

f: Frecuencia de medida [MHz]

G: Ganancia de la antena [dB](razón de potencias).

La relación anterior es válida para un sistema en que la impedancia de entrada al receptor (Z₀) es de 50[Ω]. Para sistemas con Z₀ igual a 75[Ω], debe aplicarse la ecuación 4.

$$K = 20 \text{ Log } f \text{ (MHz)} - G \text{ (dB)} - 31.54 \text{ dB} \quad (4)$$

Así, si se tiene una lectura del analizador de espectros expresada en dBm. La ecuación 5 permite convertirla en unidades de dB(V/m para un sistema de 50[Ω] dB referenciados a 1 μ V.

$$\text{dB}\mu\text{V} = \text{dBm} + 107 \text{ dB} \quad (5)$$

Para convertir la lectura a unidades de intensidad de campo, debe ajustarse la lectura del analizador por medio del factor de antena, es decir:

$$E \left[\frac{dB\mu V}{m} \right] = Lectura [dB\mu V] + K \left[\frac{dB}{m} \right] \quad (6)$$

5.2.2 Densidad de potencia (δ)

Finalmente, utilizando el resultado obtenido en 6, se determina el valor de la densidad de potencia asociada al campo bajo condiciones de campo lejano mediante 7 y 8.

$$E \left[\frac{\mu V}{m} \right] = 10^{\frac{E \left[\frac{dB\mu V}{m} \right]}{20}} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{E^2}{377} \quad (8)$$

Donde:

δ : Densidad de potencia [W/m²]

E: campo eléctrico [V/m]

377: impedancia de espacio libre (campo lejano)

5.2.3 Impedancia en espacio libre (Z_0)

La magnitud de la densidad de potencia en una onda puede ser calculada a partir del producto vectorial:

$$| E \times H | = | E | \cdot | H | \cdot (\sin \theta) \quad (9)$$

Para un ángulo de 90°, como el caso de campo lejano (E y H son perpendiculares):

$$| E \times H | = | E | \cdot | H | \quad (10)$$

Cuando se tiene una onda electromagnética en espacio libre, el vector campo eléctrico (E), el vector campo magnético (H) y la dirección de propagación pueden considerarse mutuamente ortogonales (condiciones de onda plana). Aquí, la razón entre los campos, independientes de sus magnitudes, es la impedancia del espacio libre:

$$Z_0 = | E / H | \quad (11)$$

El espacio libre opone una resistencia a la radiación electromagnética, por lo tanto, posee una permeabilidad (razón de densidad de flujo magnético producto en un medio a la intensidad de campo magnético que se produce) y una permitividad (razón de densidad de flujo eléctrico en un medio al campo eléctrico producido). De aquí, vía ecuaciones de Maxwell.

$$\begin{aligned} Z_0 &= \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \\ Z_0 &= \sqrt{\frac{1.257 \times 10^{-6} \text{ [F/m]} }{8.855 \times 10^{-12} \text{ [H/m]} }} = \sqrt{14195.6985} \\ Z_0 &= 376.767 \text{ } [\Omega] \end{aligned} \quad (12)$$

La impedancia característica del espacio libre es, por lo tanto, 377[Ω].

Por definición, la densidad de potencia a través de una superficie esta dada por:

$$\delta = \text{Re}\{\hat{u} \cdot \delta\} = \text{Re} \{ \hat{u} \cdot (E \times H^*) \} \quad (13)$$

$$\delta = E \times H \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$\delta = 377 \times H^2 \left[\frac{W}{m^2} \right] = 37.70 \times H \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (14)$$

$$\delta = E^2 / 377 \left[\frac{W}{m^2} \right] = E^2 / 3770 \left[\frac{mW}{cm^2} \right] \quad (15)$$

Donde.

Re: parte real de la expresión entre paréntesis.

δ : Vector de Poyting complejo (densidad de potencia) (mW/cm²).

$\hat{u}$: vector unitario perpendicular a la superficie en cuestión.

E: intensidad de campo eléctrico complejo $\left(\frac{V}{m}\right)$.

H*: complejo conjugado intensidad de campo magnético complejo $\left(\frac{A}{m}\right)$.

Cuando se habla de densidad de potencia, en realidad se hace referencia al valor promedio o RMS (Root Mean Square) de ella, el cual es la raíz media cuadrada de la amplitud máxima del campo multiplicado por $1/\sqrt{2}$:

$$\delta = \frac{H_0}{\sqrt{2}} \times \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{E_0 \cdot H_0}{\sqrt{2}} \quad (16)$$

La densidad de potencia mide la intensidad de una onda electromagnética incidente y es la métrica preferida para exposiciones externas a campos UHF, en parte por que es relativamente fácil de medir.

Aunque los campos eléctrico y magnético pueden ser matemáticamente convertidos a valores de onda plana en el campo lejano de una antena (ecs. 14-15), donde estas ecuaciones son generalmente exactas, no predicen la densidad de potencia en el campo cercano, y las relaciones dadas no pueden ser aplicadas en dicha región. En este caso, las intensidades de campo eléctrico y magnético deben ser medidas de forma independiente, y la aplicabilidad de las ecuaciones de onda plana solo serian útiles para realizar una predicción conservativa a de “peor caso”.

5.2.4 Región de campo Cercano (cc)

En el campo cercano, o región de Fresnel del lóbulo principal, la densidad de potencia puede alcanzar un máximo antes de comenzar a disminuir con la distancia. La distancia hasta la cual se extiende la región de campo cercano (cc) depende de las dimensiones de la fuente (criterio de Rayleigh). Así, para las antenas pequeñas ($D < \lambda$) esta dada por la ec. 17 y para antenas grandes ($D > \lambda$), por la 18 (D y λ en las mismas unidades):

$$R_{cc} = \frac{\theta}{2\sigma} \quad (17)$$

$$R_{cc} = \frac{2D^2}{\theta} \quad (18)$$

Donde:

R_{cc} : magnitud de campo cercano.

D: dimensión máxima de la antena (diámetro si es circular).

λ : Longitud de onda, determinada por la ecuación 19.

$$\theta(m) = \frac{300}{f_{MHz}} \quad (19)$$

En general, para antenas pequeñas la estimación teórica de la exposición en campo cercano es compleja, y solo las mediciones pueden proporcionar información real del campo. Por ejemplo, en el caso de las antenas de teléfonos móviles, cuyas longitudes (D) oscilan entre 5 y 15 cm aproximadamente, el límite entre regiones de campo cercano y lejano se deriva de la ec. 17, pues se trata de antenas pequeñas ($\lambda=34.5$ cm banda celular, $\lambda= 15.6$ cm banda PCS). Así, R_{cc} toma los valores de 5.5 y 2.5 cm para las bandas celular y PCS, respectivamente.

5.2.5 Región de campo lejano (cl)

Los cálculos pueden ser hechos para predecir la intensidad de campo y los niveles de densidad de potencia alrededor de fuentes típicas de RF. Por ejemplo, en el caso de una antena no direccional (omnidireccional) puede hacerse una predicción de la densidad de potencia en el campo lejano de la antena, dividiendo la potencia total irradiada (P) por el área (A) de una esfera (para conversión a campo eléctrico o magnético, ver ecs. 14-15):

$$\delta_{cl} = \frac{P_t}{A} = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (20)$$

Mirando esta ecuación se puede decir que la densidad de potencia decrece al aumentar la distancia desde la fuente, pues es inversamente proporcional al cuadrado de dicho valor.

La potencia irradiada total de la antena es, en realidad el efecto de su potencia de entrada y su ganancia. Es decir:

$$\delta_{cl} = \frac{PG}{4 * \delta * R^2} \quad (21)$$

Donde

δ : Densidad de potencia $\left(\frac{W}{m^2} \right)$.

P: potencia de entrada a la antena (W).

G: ganancia en potencia de la antena en la dirección de interés relativa a un radiador isotrópico (dBi).

R: distancia desde el punto de interés al centro de radiación de la antena (m).

O bien:

$$\delta_{cl} = \frac{EIRP}{4 * \delta * R^2} \quad (22)$$

Donde:

EIRP: potencia equivalente radiada isotropicamente (o efectiva).

Notar que la ganancia G se expresa en forma de ganancia numérica. Por lo tanto, si ella viene dada en términos logarítmicos, es decir, dB, debe realizarse la conversión dada por la ec. 23. Además, la ganancia se relaciona a las dimensiones de la antena de acuerdo a la ec. 24.

$$G = 10^{\frac{dB}{10}} \quad (23)$$

$$G = \left(\frac{4 * \delta}{\theta^2}\right) A_e \quad (24)$$

Donde.

A_e : área efectiva de la antena ($A_e = \epsilon A$)

A : área de apertura física de la antena (m^2)

δ : Eficiencia de la antena (típicamente $0.5 \leq \delta \leq 0.75$).

λ : Longitud de onda (m).

En muchos casos, la potencia de operación puede estar dada en términos de potencia radiada efectiva o ERP en vez de EIRP. ERP se refiere a un radiador dipolo media onda en lugar de un radiador isotrópico. La conversión se realiza multiplicando la ERP por un factor igual a 1.64. Así:

$$\delta_{cl} = \frac{EIRP}{4 * \delta * R^2} = \frac{1.64 * EIRP}{4 * \delta * R^2} = \frac{0.41 * EIRP}{\delta * R^2} \quad (25)$$

Notar que este tipo de análisis no considera el patrón de radiación vertical de la antena. Es decir, no se toma en cuanto las características direccionales de propagación de la señal, información que eventualmente podría tenerse, en cuyo caso habría que aplicar el factor de campo relativo (ganancia relativa) correspondiente. Aun así, estas ecuaciones son usadas para realizar predicciones conservadoras del peor caso del campo en un punto dado.

5.2.6 Otros tipos de antenas

Diversos métodos de predicción han sido desarrollados para las antenas especiales, como las usadas en Paging, sistemas celulares y PCS. El uso de un modelo cilíndrico puede ser útil en la evaluación de campos RF cerca de las antenas dipolo colineales verticales, similares a las usadas por sistemas celulares, PCS, Paging y comunicaciones de radio. También puede utilizarse en la estimación de exposiciones de campo cercano adyacentes a antenas de televisión y FM donde los operarios realizan su tarea. En general, este modelo es un predictor más exacto de la exposición cerca de una antena, donde las ecuaciones para campo lejano (ec. 14 y 15) pueden sobreestimar en forma significativa el ambiente RF. Sin

embargo, conforme se aleja el punto de interés de la fuente de radiación, dichas relaciones se vuelven más exactas.

Para el modelo cilíndrico, las densidades de potencia equivalentes de onda plana, promediadas espacialmente paralelas a la antena, pueden estimarse dividiendo la potencia de entrada neta a la antena por el área superficial de un cilindro imaginario que rodea su longitud. Aun cuando la densidad de potencia real variará a lo largo de la altura de la antena, el valor promedio seguirá la relación dada por la ec. 26.

$$\delta = \frac{P_{net}}{2 * \sigma * R * h} \quad (26)$$

Donde:

δ : Densidad de potencia.

P_{net} : Potencia neta de entrada a la antena.

R: distancia desde la antena.

h: altura de apertura de la antena.

Para las antenas tipo sector, como las usadas en las estaciones celulares y PCS. Las densidades de potencia pueden estimarse dividiendo la potencia neta de entrada a la antena por la posición del área de superficie cilíndrica correspondiente al ancho angular del haz. Por ejemplo, para el caso de un ancho de haz azimutal de 120°, el área de la superficie correspondiente a 1/3 del cilindro completo. Esto incrementará la densidad de potencia cerca de la antena por un factor de 3 para una antena puramente direccional. Matemáticamente, esto puede ser presentado por la ec. 27, donde θ_{BW} puede tomarse como el ángulo de “dispersión de potencia” azimutal apropiado para un reflector dado. Una estimación conservativa puede obtenerse usando el ancho del haz azimutal de 3 dB (media potencia) para una antena sectorizada.

$$\delta = \left(\frac{360}{\theta_{BW}} \right) \frac{P_{net}}{2 * \sigma * R * h} \quad (27)$$

Donde:

δ : Densidad de potencia.

P_{net} : Potencia neta de entrada a la antena.

θ_{BW} : ancho del haz de la antena en grados.

R : distancia desde la antena.

h : altura de apertura de la antena.

5.2.7 Potencia de recepción (P_{RX})

Debido a que las antenas pueden capturar solo una pequeña porción de la potencia radiada (o energía), debe agregarse un factor de corrección a los niveles de emisión detectados para determinar en forma exacta la potencia radiada que esta siendo medida. De este modo, la emisión por el factor de corrección, es decir, por el área efectiva o área de recepción de la antena A_e .

$$P_{\text{RX}} = \delta * A_e [W] \quad (28)$$

El área efectiva de la antena esta dada por la ecuación 29.

$$A_e = \left(\frac{\theta^2}{4 * \sigma} \right) G_{\text{RX}} [m^2] \quad (29)$$

Por lo tanto, combinado (21), (28) y (29), la potencia recibida por la antena queda definida por:

$$P_{\text{RX}} = \frac{P_{\text{TX}} * G_{\text{TX}}}{4 * \pi * R^2} \left(\frac{\lambda^2}{4 * \pi} G_{\text{RX}} \right) [W] \quad (30)$$

Donde:

λ : Longitud de onda [m].

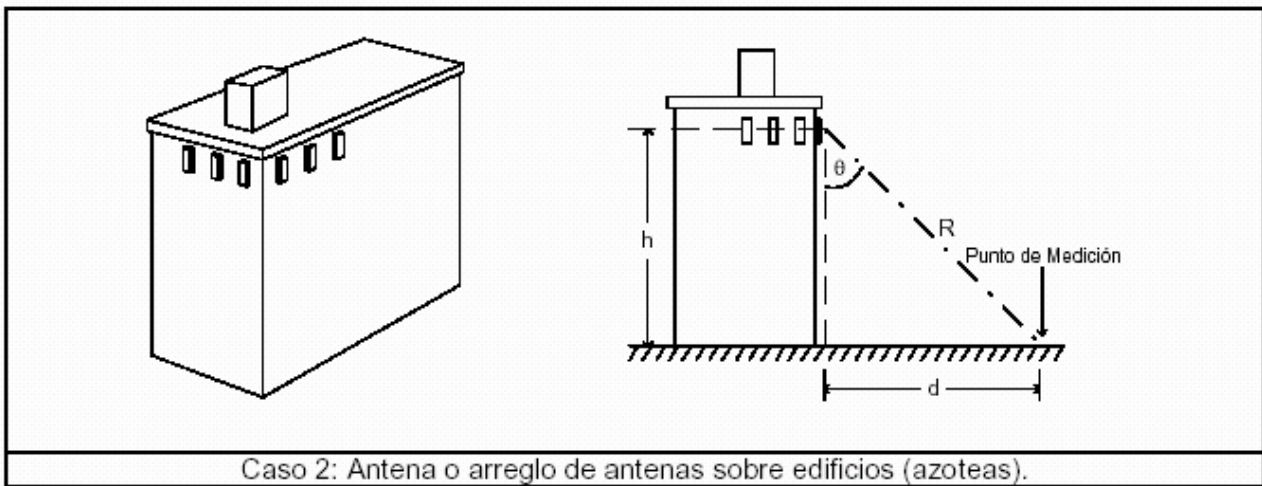
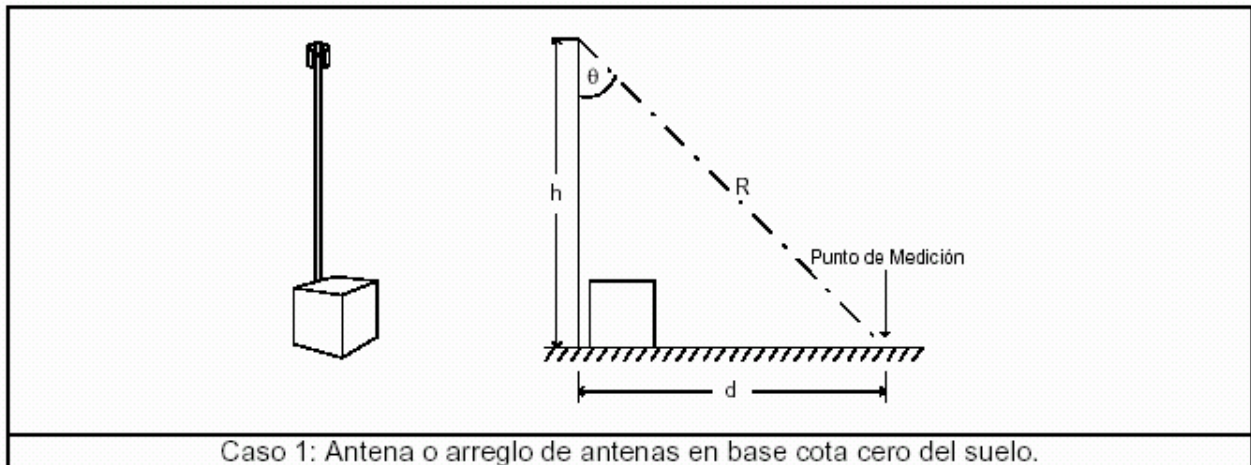
G_{RX} : ganancia antena receptora (numérica).

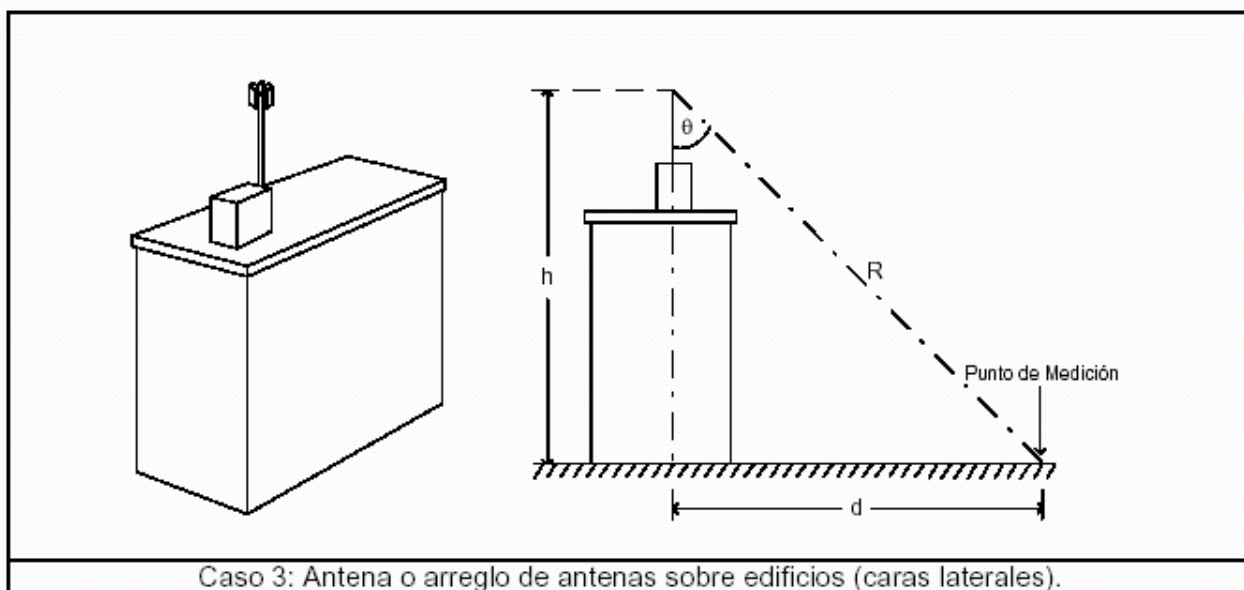
G_{TX} : ganancia antena transmisora (numérica).

De la ecuación 30, se deriva la expresión siguiente para la potencia de recepción expresada en decibeles.

$$P_{Rx}(dB) = P_{TX}(dB) + G_{TX}(dB) + G_{RX}(dB) - 20 \log \left(\frac{4 * \pi * R}{\lambda} \right) [dB] \quad (31)$$

5.3. Casos típicos de instalación de telefonía móvil.





CONCLUSIONES

En un mundo cambiante, tanto en el aspecto económico como en el aspecto tecnológico, la necesidad de sistemas de telefonía celular es el resultado del crecimiento de los servicios de telefonía móvil.

El futuro de las comunicaciones en el mundo es prometedor, en todas las ramas que lo componen, por lo que es importante estar a la vanguardia en infamación. Hoy en día es fundamental estar bien comunicado sin importar el lugar o la hora, lo cual es posible gracia a los sistemas de telefonía celular, que no dependen de una conexión física directa por medio de un cable como sucede con las líneas telefónicas convencionales.

Los teléfonos celulares utilizan la misma tecnología radial en diferentes bandas de frecuencia, pero la información se transmite en forma digital. Esta compresión permite un mejor aprovechamiento del canal telefónico y por tanto tener más canales disponibles a la vez.

Es por esto que el personal que opera y mantiene las estaciones base celulares deberá desarrollar sus actividades en condiciones de seguridad tales que se dé cumplimiento a los aspectos normativos relacionados con ruido ambiental, temperatura, iluminación, exposición excesiva a campos de radiofrecuencia, campos de radiaciones ionizantes, sistemas de tierra, tensiones y corrientes eléctricas, descargas atmosféricas, protección contra incendios, etc.

Los equipos de transmisión deben operar en condiciones ambientales adecuadas e incluir en sus circuitos, sistemas de control, protección y señalización que garanticen su correcto funcionamiento y a la vez otorgue seguridad a la vida humana.

Con objeto de impedir que las diferentes tensiones de operación del circuito que puedan aplicar, en forma simultánea al equipo, los sistemas de arranque (interruptores automáticos, arrancadores, etc.) deberán conectarse

constituyendo una secuencia inalterable cuyo orden sucesivo se determinará de acuerdo con las características del equipo.

Así, Los equipos y dispositivos empleados al efectuar cambios de equipo deben de cumplir con los requisitos de seguridad, tanto para la vida humana como para los equipos.

Las pruebas de comportamiento, deben efectuarse como mínimo una vez al año y con el transmisor ajustado a su funcionamiento normalizado de acuerdo con los parámetros asignados por la S.C.T., la cual podrá solicitar a las estaciones arriba citadas la realización de pruebas de comportamiento adicionales, con el propósito de verificar la calidad con la que operan los equipos o en casos en los que la estación esté involucrada en alguna queja de interferencia. Las pruebas de comportamiento deberán contar con el aval técnico de una Unidad de Verificación y, en ausencia de ésta, de un perito en telecomunicaciones con especialidad en radiodifusión.

La vigilancia de la operación de las estaciones base de celular., para determinar que se ajustan a los parámetros técnicos autorizados en la concesión o permiso y se cumple con la presente norma, se realizará por la S.C.T; mediante visitas de inspección conforme a su ámbito de competencia, las cuales se llevarán a cabo de conformidad con las disposiciones establecidas en la Ley Federal de Radio y Televisión, y la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, esta última de aplicación supletoria.

Asi mismo, la S.C.T. podrá llevar a cabo la vigilancia, mediante el monitoreo del espectro radioeléctrico, a través de sus estaciones radiomonitoras, con objeto de determinar que las radio bases de telefonía celular, opera de conformidad con los parámetros técnicos autorizados en la concesión o permiso.

Es por esto que la radio frecuencias deben de ser reguladas por un órgano gubernamental para así poder llevar un control del espectro radioeléctrico,

tanto en su potencia, como en la colocación del equipo que va a suministrar las ondas electromagnéticas a los usuarios de utilizan dichos servicios, mencionados en este anteproyecto de norma.

Así, también México representa el segundo mercado más grande de telefonía móvil con un aproximado de 31 millones de usuarios. Este ha sido uno de los rubros más dinámicos, creciendo a ritmos superiores en relación con el resto del sector de telecomunicaciones.

El mercado móvil mexicano creció un 30% en el primer trimestre del 2004, incorporando a 971.000 nuevos clientes. El crecimiento fue un 37 por ciento más que en el mismo período del año pasado. El potencial, de acuerdo al nivel de crecimiento de su economía, casi está en el nivel potencial de penetración de telefonía móvil; países como EEUU, Canadá y Japón tienen densidades menores a las que requiere su economía. Por el contrario, varios países europeos presentan una amplia cobertura de servicios en telefonía móvil.

Existen varias condiciones que están permitiendo impulsar el desarrollo de este sector:

La perspectiva para el sector de la telefonía móvil es que siga creciendo en un porcentaje mayor que el del total del sector de las telecomunicaciones.

La operadora Telcel mantiene el liderazgo en el mercado mexicano con un 77.4%, alcanzando aproximadamente un total de 24.6 millones de suscriptores. La operadora captó en el primer trimestre del año 1.3 millones de suscriptores, las estimaciones para este año habían sido de entre 2.5 y 3.0 millones, pero debido al fuerte crecimiento en el primer trimestre modificó el pronóstico, siendo de entre 3.5 y 4.0 millones de nuevos suscriptores para este año.

- El sector de telefonía móvil es donde existen más condiciones para que se presente competencia entre operadores.
- No existe límite para la inversión extranjera.
- Las decisiones regulatorias han ayudado a que se presente un mayor

desarrollo del sector, tales como:

1. El que llama paga.
 2. Plan Técnico de Calidad para Telefonía Celular.
 3. SMS. Interconexión de las redes para completar los mensajes cortos entre los usuarios.
- Se ha presentado reestructura en el sector móvil mediante adquisiciones y fusiones:

Telcel

Iusacell-Unefón.

Telefónica (ANTES PEGASO).

Nextel

Fuente COFETEL

Telcel, está planeando varias promociones para impulsar el crecimiento de suscriptores; introducirá presione para hablar (PTT, por sus siglas en inglés) en el cuarto trimestre del año; un servicio que le permite a la gente utilizar sus teléfonos celulares como un walkie-talkie o radio. Esta competirá directamente con Nextel de Estados Unidos, el único operador que en la actualidad ofrece este servicio en México. Por otro lado Telefónica Movistar en poco más de dos años presentó el índice más alto de crecimiento de nuevos suscriptores, posee en la actualidad aproximadamente 3.5 millones de usuarios, lo que representa el 12 por ciento del mercado, tiene cobertura en más de 100 ciudades en el país y para este año planea llegar a 230 ciudades.

Por su parte, Nextel cuenta con más de 600 mil suscriptores; equivalente al dos por ciento del mercado, ésta ha tenido una fuerte penetración en el segmento corporativo. Ha lanzado exitosamente servicios de conexión directa entre ciudades específicas de México con la frontera y el corredor sureste de los Estados Unidos. El año pasado alcanzó un crecimiento de 27 por ciento, sin embargo, para que la operadora continúe introduciéndose en el mercado es necesario la ampliación de su cobertura nacional, actualmente está presente en 28 ciudades del país.

El crecimiento se traduce en la oportunidad para la gente de gozar de las nuevas tecnologías y mejorar su estandar de vida en general, procurando de ante mano la protección del medio ambiente

El crecimiento se traduce en muchas oportunidades no solo para las empresas mencionadas, sino en la oportunidad para la gente de gozar de las nuevas tecnologías y mejorar su estandar de vida en general, procurando de ante mano la protección del medio ambiente.

Términos y definiciones.

SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

COFETEL. Comisión Federal de Telecomunicaciones, órgano de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes encargado de la administración del espectro electromagnético, así como de la regulación de las empresas que lo utilizan.

ITU. International Telecommunication Union; Union Internacional de Telecomunicaciones.

FCC. Federal Communication Commission. Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos de América.

TIA. Telecommunications Industry Association, Asociación de Industria en Telecomunicaciones.

Celdas Co-Canales. La reutilización de frecuencias en un área de cobertura dada donde las celdas usan el mismo conjunto de frecuencias

Antena. Conjunto de elementos utilizados para emitir o recibir ondas radioeléctricas, en las bandas atribuidas al servicio público de telefonía móvil.

Densidad de potencia. Energía por unidad de tiempo que incide sobre la unidad de superficie ubicada perpendicularmente a la propagación de la onda. La unidad de medición es W/m^2 o $\mu W/m^2$.

Libre acceso. Acceso no limitado por obstáculos naturales o dispuestos por el hombre, de modo que las personas en general puedan circular libremente sin

medir escalamientos de infraestructuras, sorteo de cierres o de elementos dispuestos como protección.

Frecuencia Asignada. El centro de la banda de frecuencia asignada a una estación.

Ancho de banda Autorizado. El ancho de banda máximo de frecuencias permitido para ser utilizado por una estación base. Éste se considera normalmente la anchura de banda necesaria u ocupada.

Terreno Medio. La elevación media del terreno entre 3 y 16 kilómetros del sitio de la antena.

Estación Base. Es una estación de tierra que da servicio a equipos móviles de tierra.

Banda ancha de PCS. Son aquellos que mantiene el funcionamiento en las bandas de 1850-1890 MHz, 1930-1970 MHz, 2130-2150 MHz, y 2180-2200 MHz.

Potencia radiada eficaz (e.r.p.) (en una dirección dada). El producto de la energía provista a la antena y de su aumento concerniente a un dipolo de media onda en una dirección dada.

Potencia radiada isotropicamente equivalente (e.i.r.p.). El producto de la energía provista a la antena y al aumento de la antena en una dirección dada concerniente a una antena isotrópica.

Servicio Fijo. Un servicio de la radiocomunicación entre puntos fijos especificados.

Estación Fija. Una estación de servicio fijo.

Servicio Móvil de Tierra. Un servicio móvil entre las estaciones base y las estaciones móviles de tierra, o entre las estaciones móviles de tierra.

Estación Móvil De Tierra. Una estación móvil en movimiento superficial capaz de prestar servicio dentro de los límites geográficos de un país o de un continente.

Estación de Tierra. Una estación de servicio móvil no prevista para ser utilizada mientras esta en movimiento.

Servicio Móvil. Servicio de radiocomunicación entre el móvil y las estaciones de tierra, o entre las estaciones móviles.

Estación Móvil. Una estación de servicio móvil para ser utilizada mientras esta en movimiento.

PCS de banda estrecha. Son aquellos PCS que mantiene el funcionamiento en las bandas de 901-902MHz, 930-931 MHz, y 940-941 MHz.

Servicios Personales de Comunicaciones (PCS). Comunicaciones por radio que abarcan la comunicación fija móvil y que proporciona servicios a los individuos y a los negocios y se puede integrar con una variedad de redes competentes.

Decibel. Un cambio de decibel correspondiente en el nivel de potencia produce una variación en la intensidad sonora apenas discernible por el oído humano en condiciones ideales.

La cantidad de decibels correspondientes a la relación de 2 potencias determinadas esta dada por la siguiente fórmula:

$$\text{dB} = 10 \log P_2/P_1 = 10 \log ((E_2^2 / R_2)/ (E_1^1 / R_1)) \quad (1)$$

donde P_2/P_1 es la relación de los niveles que están siendo comparados.

La ecuación muestra que el decibel no es una unidad absoluta, sino que refleja un cambio de potencia.

El dBm.- cuyo nivel cero de referencia esta basado en 1 mW a través de una resistencia de carga especifica.

$$\text{dBm} = 10 \log P_2 / P_1$$

donde P_2 es la potencia en el punto del circuito en el cual se efectúa la medición, y P_1 es 1 mW.

El dBu se utiliza muy ampliamente en las radiocomunicaciones, dado que su nivel de referencia corresponde a 1 $\mu\text{V}/\text{m}$, o sea, resulta una unidad bastante apropiada para la medición de la intensidad de campo eléctrico de una señal de radio. Lo que se introduce adicionalmente es el factor de antena (K), cuyo valor será dependiente también de frecuencias de la señal, debiendo tomar en relación con la dirección principal del lóbulo de radiación de la antena (0°); por lo tanto:

$$\text{dBu} = \text{dB} + K \quad (2)$$

Donde

dBu = intensidad de campo eléctrico de la señal en decibels referidos a 1 $\mu\text{V}/\text{m}$.

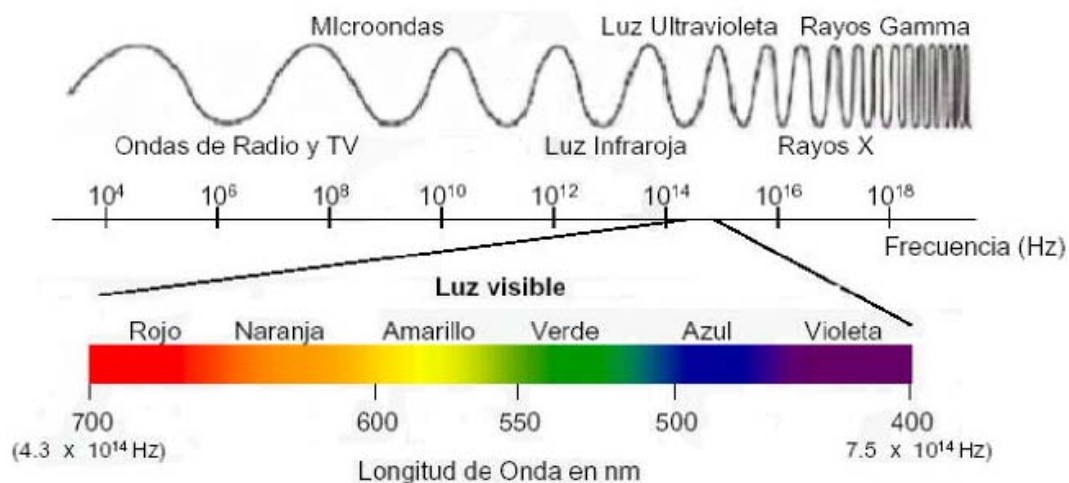
dB = voltaje de la señal de decibeleles referidos a $1\mu\text{V}$

K = factor de antena en decibeleles.

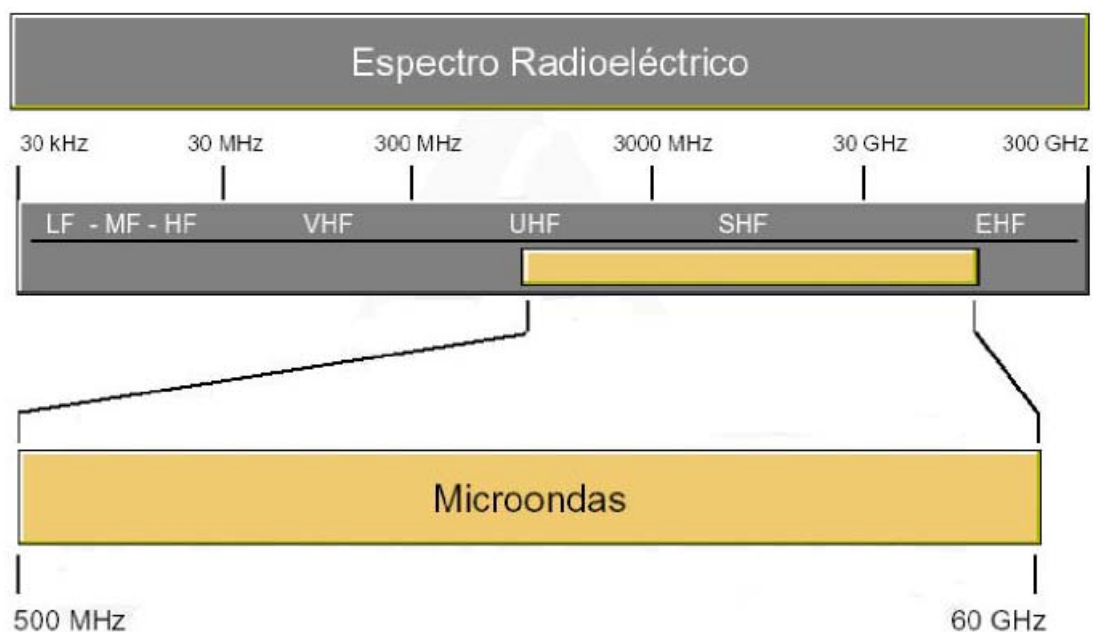
APÉNDICE A

El espectro electromagnético.

Es el conjunto de ondas electromagnéticas.



El espectro radioeléctrico y las microondas.



Técnicas de modulación.

Modular es hacer variar algun parámetro de la señal en funcion de otra señal. A la primera se le conoce como señal modulada y a la segunda como señal moduladora.

Es el proceso mediante el cual se agrega información a la portadora de radio y en donde el ancho de banda de ésta se expande.

Existen diversos esquemas de modulación utilizados en comunicaciones inalámbricas:

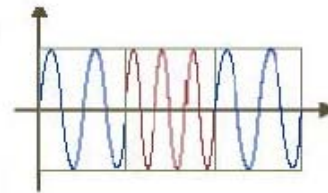
- Analógicas: FM
- Digitales: ASK, FSK, PSK, MSK, GMSK, $\pi/4$ DQPSK, BPSK, QPSK, OQPSK.

Existen diversas diferencias entre los distintos esquemas de modulación, sin embargo una de las mas importantes se refiere al uso mas eficiente del espectro.

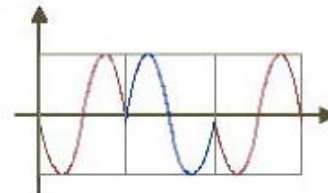
En la modulación digital, el sistema digital ofrece mayor tolerancia al ruido e interferencias. Además de que no se acumula el ruido en las estaciones repetidoras, sin embargo, el sistema digital es más vulnerable al desvanecimiento. Facilita la integración de distintas de la voz. Otra ventaja del sistema digital es que consume menos energía y requiere menos ajustes.

Tipos de modulación digital.

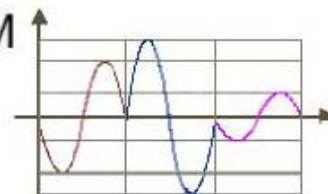
● En frecuencia: FSK



● En fase: PSK

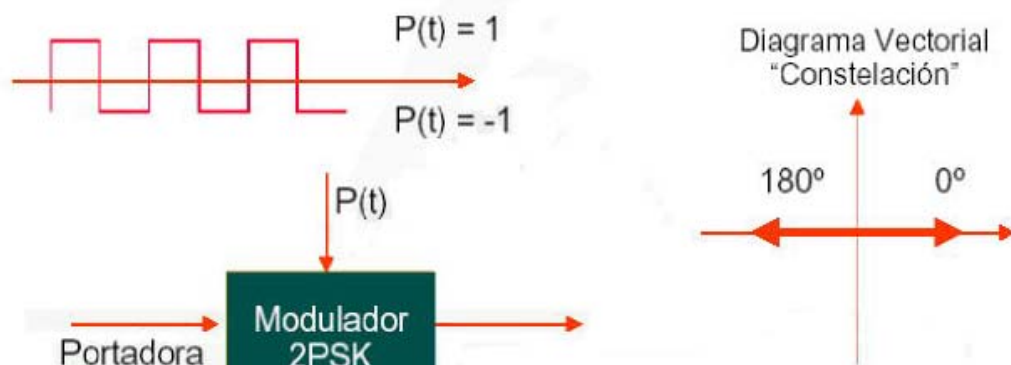


● De fase y amplitud: QAM



Modulación 2PSK (BPSK)

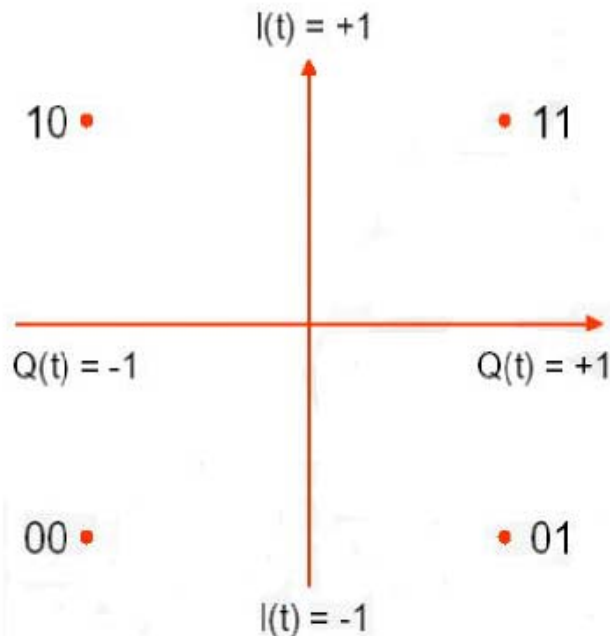
Empleada en sistemas de baja y media capacidad.



Con cada bit ocurre un cambio de fase. A cada cambio de fase se le asocia un símbolo (un bit en este caso), y a la cantidad de símbolos por segundo se le llama baudios (*bauds*).

BPSK: Binary Phase Shift Keying

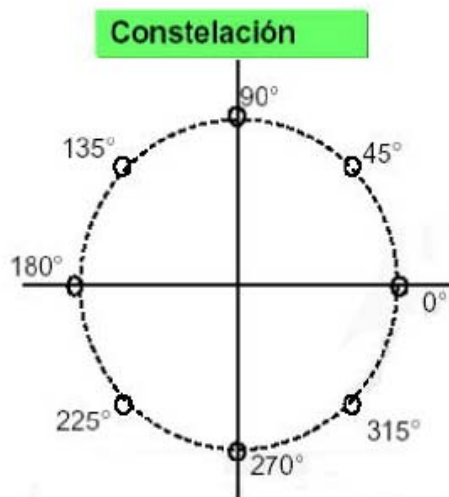
CONSTELACIÓN 4 PSK (QPSK).



Relación entre velocidad binaria y velocidad de símbolos (baudios) es 2 a 1 con la correspondiente reducción del ancho de banda requerido.

A la modulación 4 PSK también se le conoce como QPSK (*Quaternary PSK*).

$\pi/4$ DQPSK.



Formato de la modulación	
Símbolo	Transición
00	45 deg
01	135 deg
10	- 45 deg
11	- 135 deg

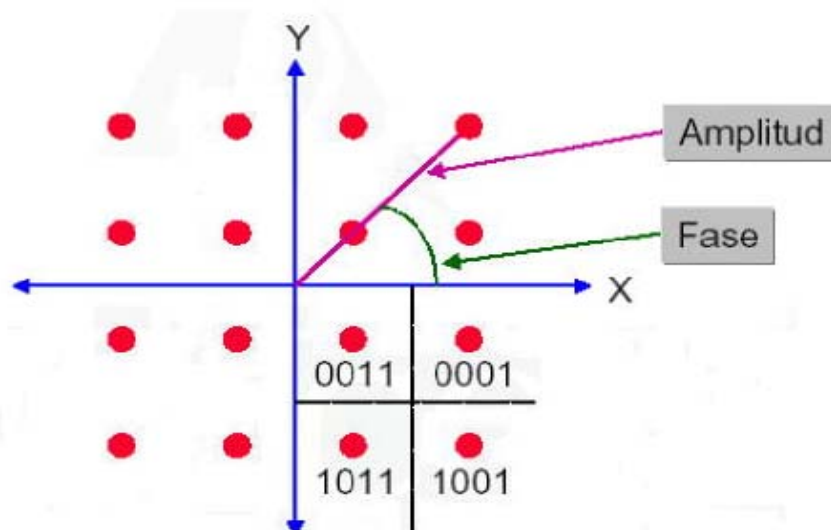
La constelación cuenta con 8 fases y tiene una relación de bit de 2 bits por símbolo.

No requiere detección coherente.

Desde cualquier punto de la constelación se hace un cambio de fase o transición de una magnitud dependiente del símbolo

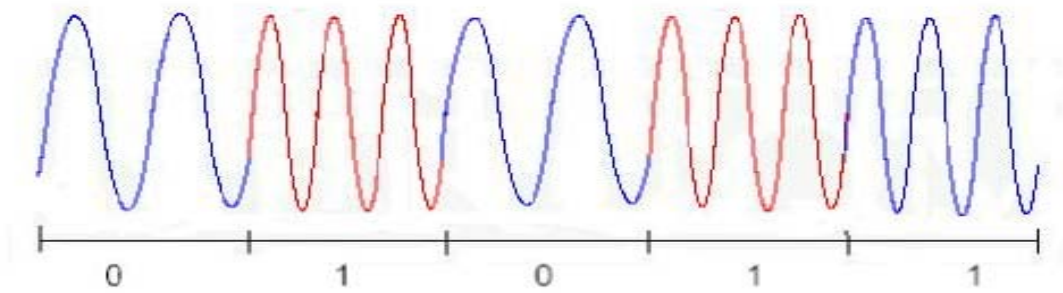
Modulación 16 QAM.

- Cada punto de la constelación esta definido por una fase y una amplitud.
- Cada símbolo representa a un quadbit (4 bits).
- Las representaciones de los símbolos adyacentes difieren de un solo bit.

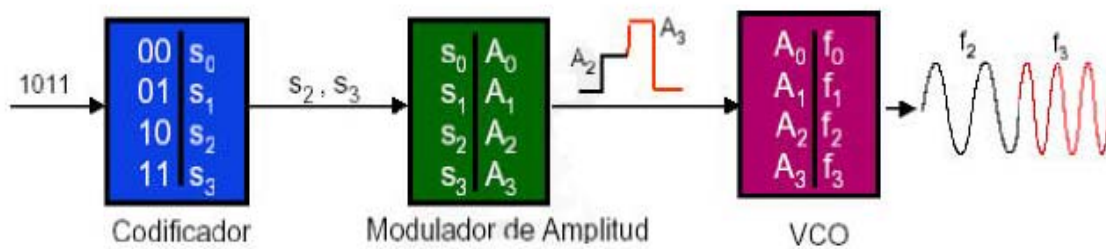


FSK (Frequency shift keying).

- Para transmitir un símbolo en modulación FSK se selecciona una frecuencia de un conjunto de M frecuencias diferentes.
- El caso más sencillo FSK tipo binario con $M = 2$. Por ejemplo, para transmitir la secuencia 01011 tenemos:



4FSK.



1. Se codifica cada grupo de N bits en un símbolo del conjunto de símbolos disponibles.
2. Cada símbolo se asocia a un pulso rectangular de cierta amplitud.
3. La amplitud A genera a la salida del VCO una señal de frecuencia f durante un intervalo de tiempo T.

Para el caso de $M = 4$, también llamado 4FSK tenemos:

Símbolos = 4

Bits por símbolo = 2

Frecuencias de operación = 4

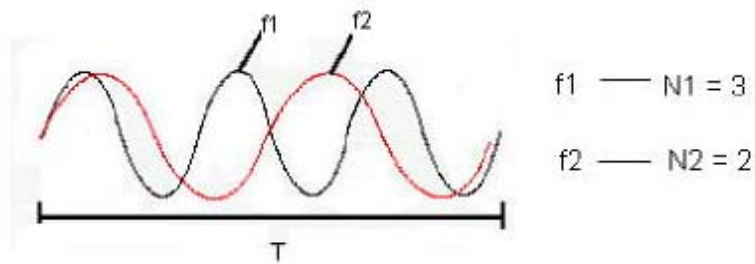
FSK EN FASE CONTINUA.

Para poder generar FSK con continuidad de fase (CPFSK) cada pulso debe abarcar un número entero de ciclos.

Para pulsos de duración T cada frecuencia seleccionada debe cumplir:

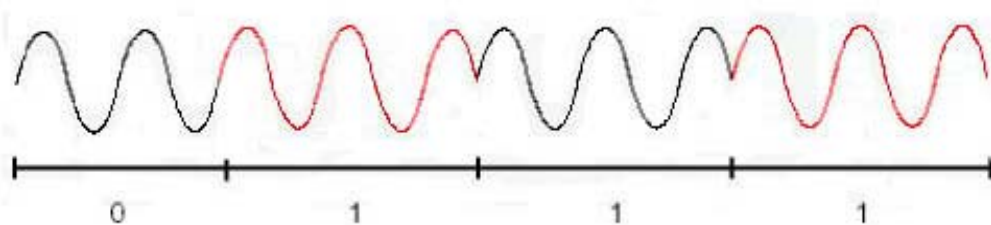
$$f_i T = N_j$$

Donde N_j es un entero.



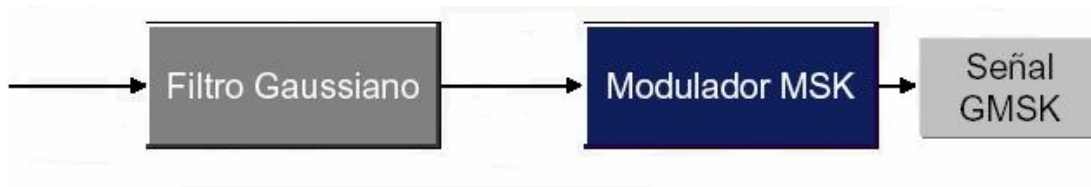
VARIANTE DE FSK (MSK).

- Para un canal limitado en banda se busca minimizar la separación entre frecuencias $N_i - N_j$.
- El mínimo de esta separación es 1. sin embargo, es posible reducir aun más la separación.
- Al decrementar el valor mínimo a $\frac{1}{2}$ no se compromete seriamente la continuidad de fase y se reduce el ancho de banda.
- Este tipo de modulación se llama MSK (minimum shift keying), o también FFSK (Fast FSK).



GMSK.

- Cuando los pulsos de entrada en un modulador QPSK son filtrados de tal manera que sigan una forma de onda senoidal se tiene una modulación MSK.
- Que también es equivalente al FSK.
- En MSK los saltos de fase son de ± 90 deg en cuatro posiciones diferentes.
- Cuando la señal de entrada al modulador MSK es filtrada con un filtro con lo cual le ayuda a soportar mayor interferencia por el canal adyacente.



PRINCIPIO DE SPREAD SPRECTRUM.

- Existen diversos parámetros para medir que tan perfecto o ideal es un medio de comunicaciones:
 - Costo, ancho de banda utilizado, potencia de transmisión requerida, relación S/N, probabilidad de errores de bit para sistemas digitales y retardo a través del sistema.
 - En sistemas digitales, el sistema óptimo es aquel que logra la menor BER minimizando la energía transmitida y el ancho de banda utilizado.
- En 1948, Claude Shannon mostró que es posible mantener un sistema prácticamente libre de errores si se mantiene la proporción de la relación S/N y el ancho de banda del canal:

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

Donde:

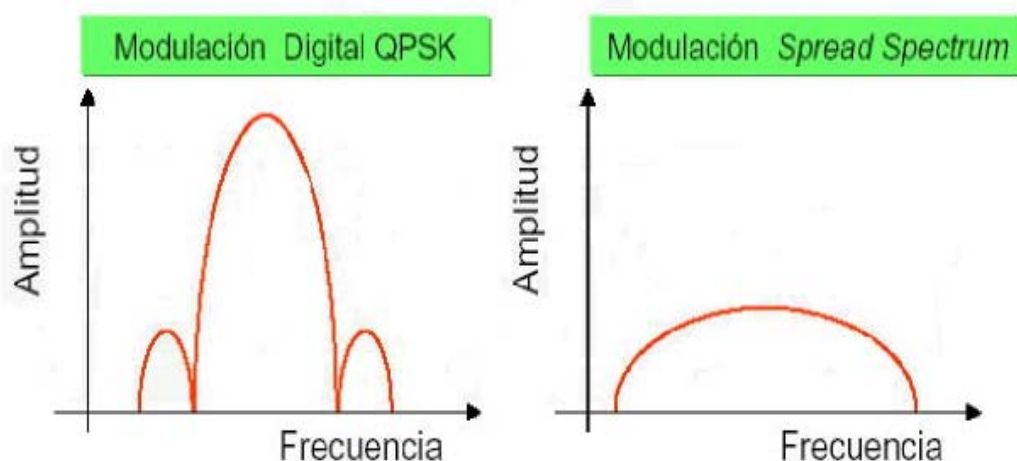
C: capacidad del canal (bits por segundo)

W: ancho de banda del canal (Hertz)

S/N: relación señal a ruido.

MODULACIÓN SS (SPREAD SPECTRUM).

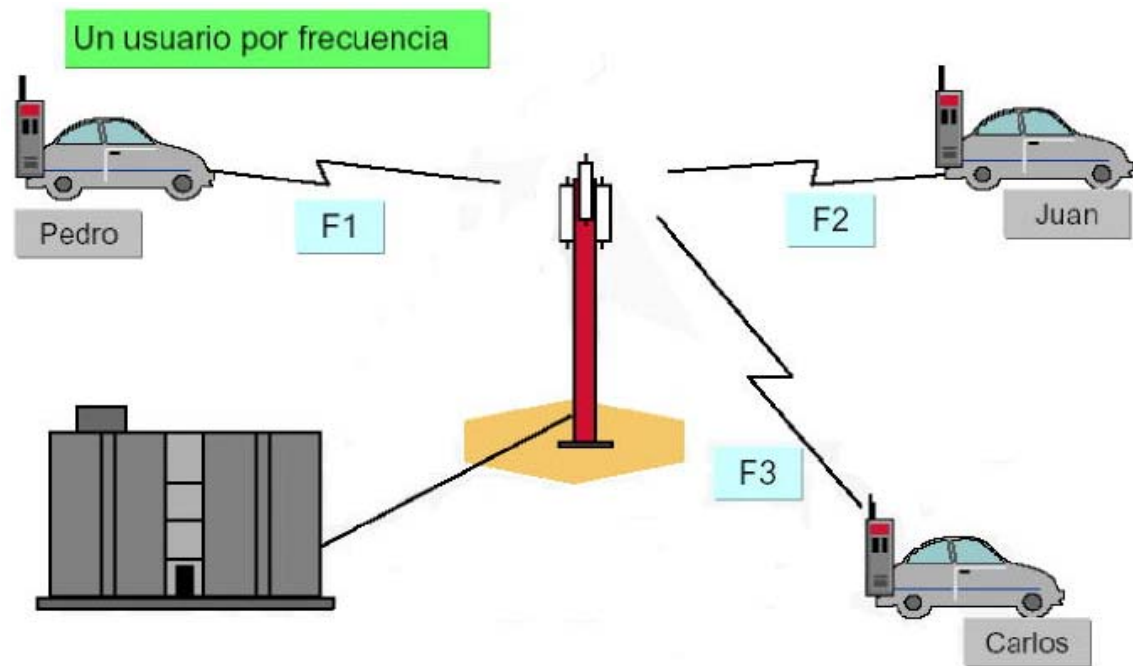
- El esparcimiento del espectro hace que se haga un uso ineficiente del ancho de banda, pero permite que varios usuarios utilicen el mismo ancho de banda, para comunicarse al mismo tiempo.
- La señal SS tiene una apariencia similar al ruido debido a que son generadas por una secuencia pseudoaleatoria de ruido.
- Existen dos formas de llevarla a cabo:
 - Direct Sequence – Spread Spectrum (DS-SS), CDMA
 - Frequency Hopping – Spread Spectrum (FH- SS)



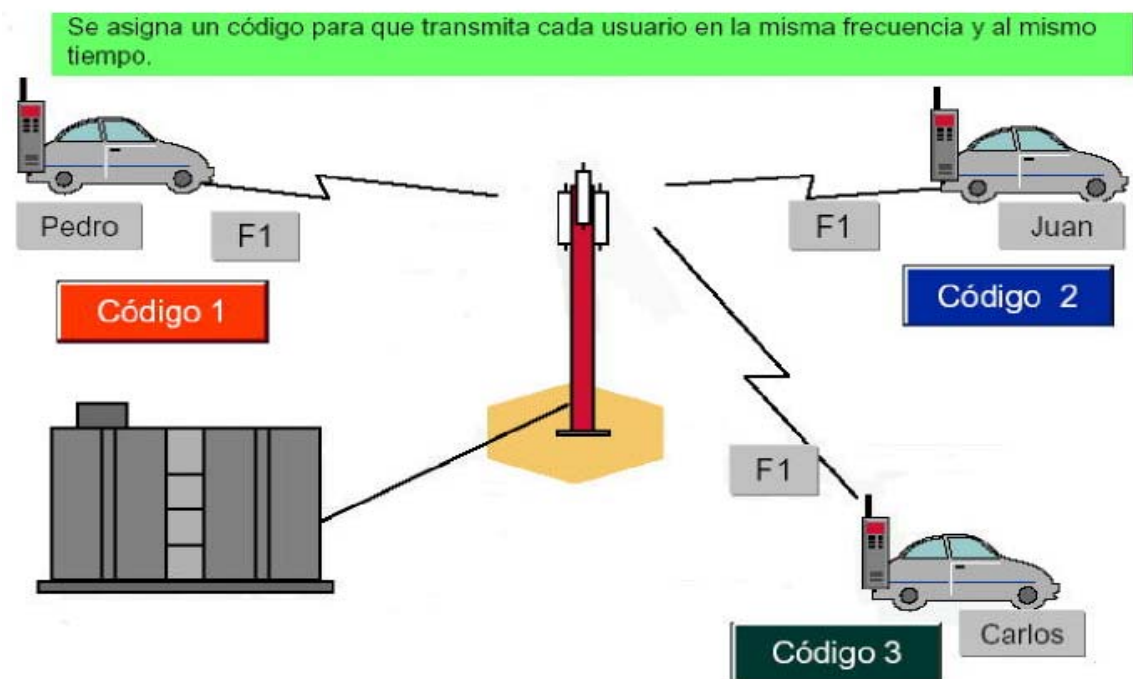
TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.

- Las técnicas de acceso múltiple se utilizan para permitir que varios usuarios móviles puedan compartir un cierto ancho de banda del espectro de radiofrecuencia.
- Existen tres técnicas principales para realizar esta tarea:
 - FDMA (Frequency Division Múltiple Access)
 - TDMA (Time Division Múltiple Access)
 - CDMA (Code Division Múltiple Access)

FDMA (FREQUENCY DIVISION MÚLTIPLE ACCESS)



CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS)

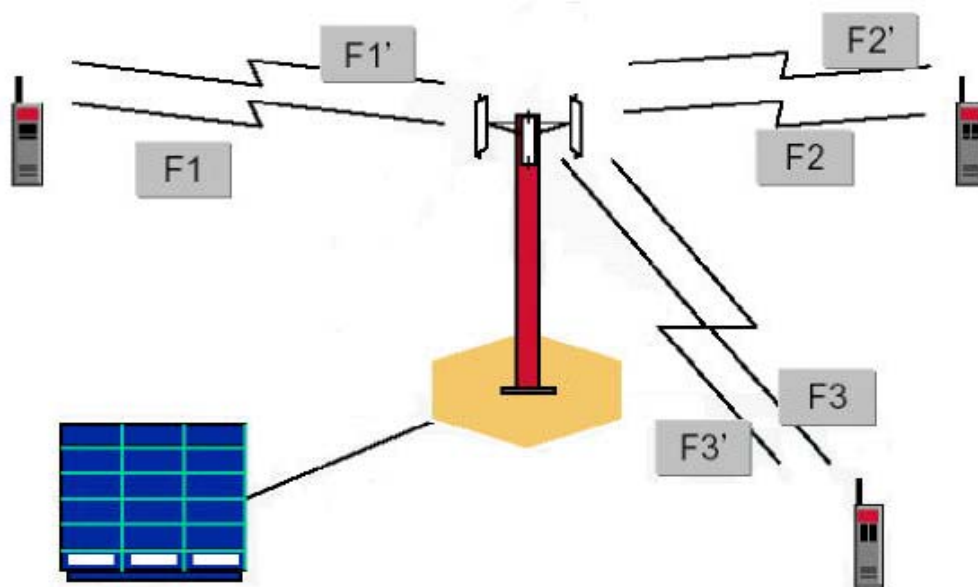


DUPLEXING O COMUNICACIÓN FULL DUPLEX.

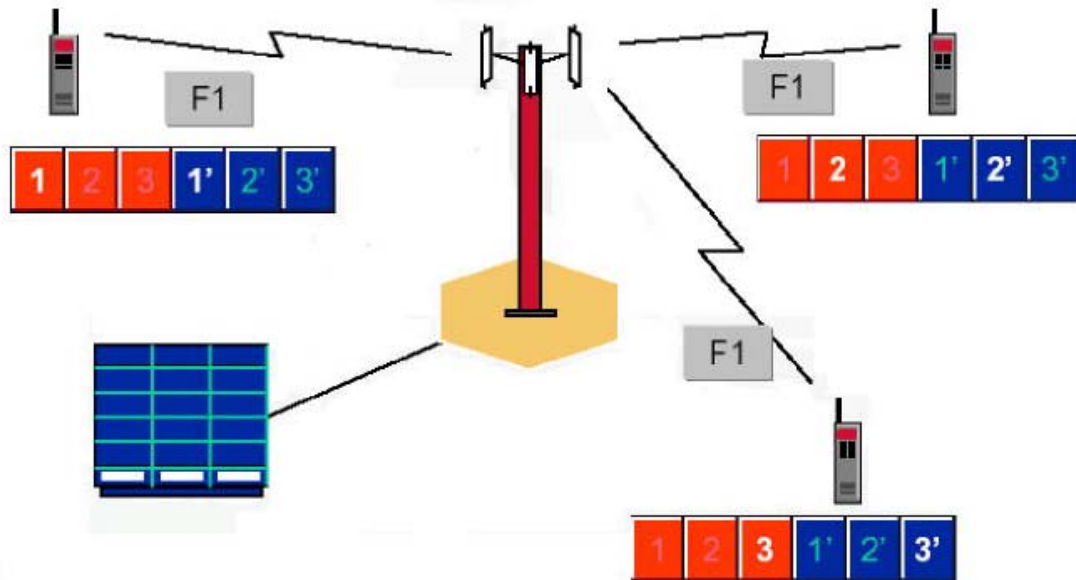
Para los sistemas de comunicación inalámbrica es deseable que sea posible transmitir al mismo tiempo que se recibe (sistemas full duplex). A este efecto se le conoce como Duplexing y puede ser realizado en el dominio de la frecuencia o el dominio del tiempo:

- FDD (Frequency Division Duplexing).- para este método se asignan dos bandas de frecuencia, para Tx y Rx respectivamente. Se requiere un dispositivo duplexor en la estación móvil y en la estación base que permita transmitir y recibir al mismo tiempo.
- TDD (Time Division Duplexing).- En este método se utiliza tiempo en lugar de frecuencia, sobre la misma frecuencia se asigna un instante de tiempo determinado para transmitir y otro para recibir. En términos estrictos la comunicación no es FDX. Sin embargo, si el tiempo entre los dos instantes es lo suficientemente pequeño la transmisión y recepción aparenta ser simultánea.

FDD (FREQUENCY DIVISION DUPLEXING).

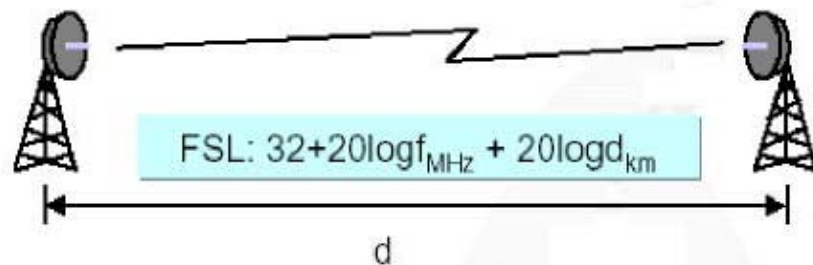


TDD (TIME DIVISION DUPLEXING).

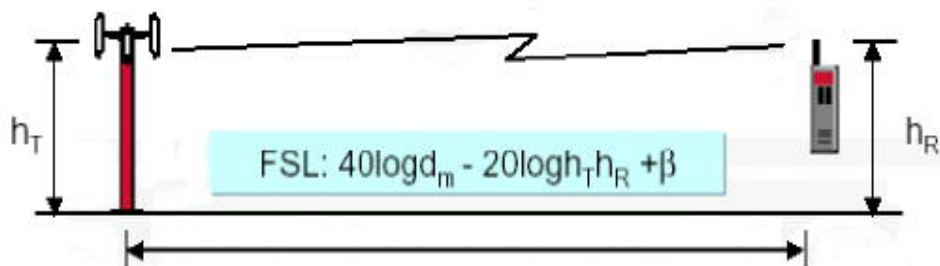


PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE (FSL)

En un radio enlace.



En un enlace de BS – MS (considerando los efectos por reflexión)



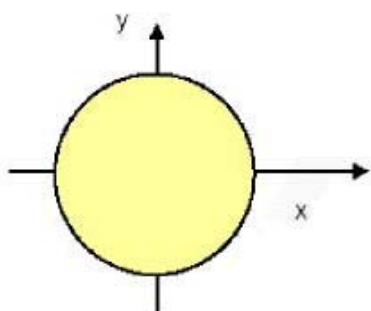
β Considera efectos por:

- Rugosidad del terreno.
- Obstáculos en la línea de vista.
- Edificios y árboles.
- Áreas montañosas.

En general, no es posible decir que esta expresión sea independiente de la frecuencia. La mayor parte de los modelos de propagación son empíricos.

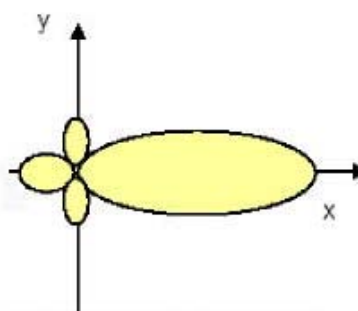
PATRONES DE RADIACIÓN.

Isotrópico



La radiación se asume igual en todos los sentidos, al tipo de antenas que utilizan este elemento se les conoce como omnidireccionales

Direccional



La radiación se asume en una sola dirección con un cierto ángulo de apertura.

POTENCIA EFECTIVA RADIADA (ERP Y EIRP).

La potencia radiada efectiva o ERP (Effective Radiated Power) se utiliza para describir el desempeño de un sistema de transmisión de radio.

El ERP puede ser relativo a una antena isotrópica, a un dipolo u otro tipo de antena.

Cuando se refiere a una antena isotrópica se conoce como EIRP. Cuando se refiere a un dipolo hay que tener en mente que este tiene una ganancia de 2.15 dBi sobre una antena isotropica (0 dBd).

Un sistema se compone de tres elementos básicos:

- Un transmisor con cierto nivel de potencia (P_t).
- Una antena con cierta ganancia (G_{ant}).
- Una línea de transmisión que conecta a la antena con el transmisor con ciertas pérdidas (L_L)

$$EiRP_{dBm} = P_{t(dBm)} + G_{ant(dBi)} - L_{L(dB)}$$

$$ERP_{dBm} = P_{t(dBm)} + G_{ant(dBd)} - L_{L(dB)}$$

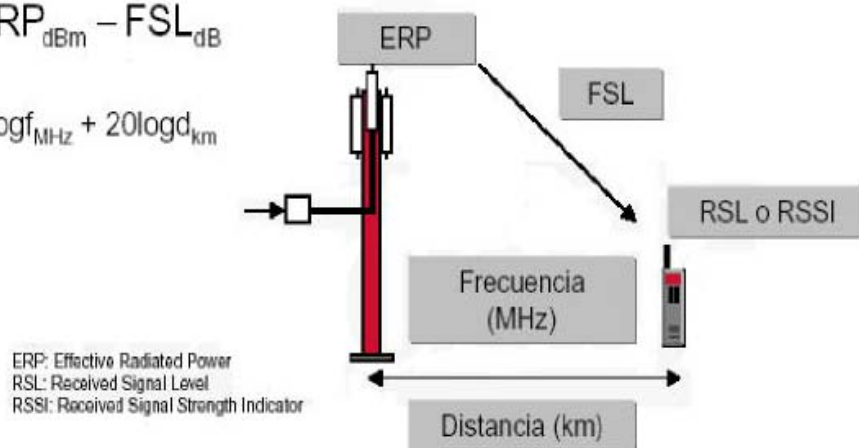
$$ERP_{dBm} = EiRP + 2.15dB$$

NIVEL DE SEÑAL DEL RECEPTOR (RSL).

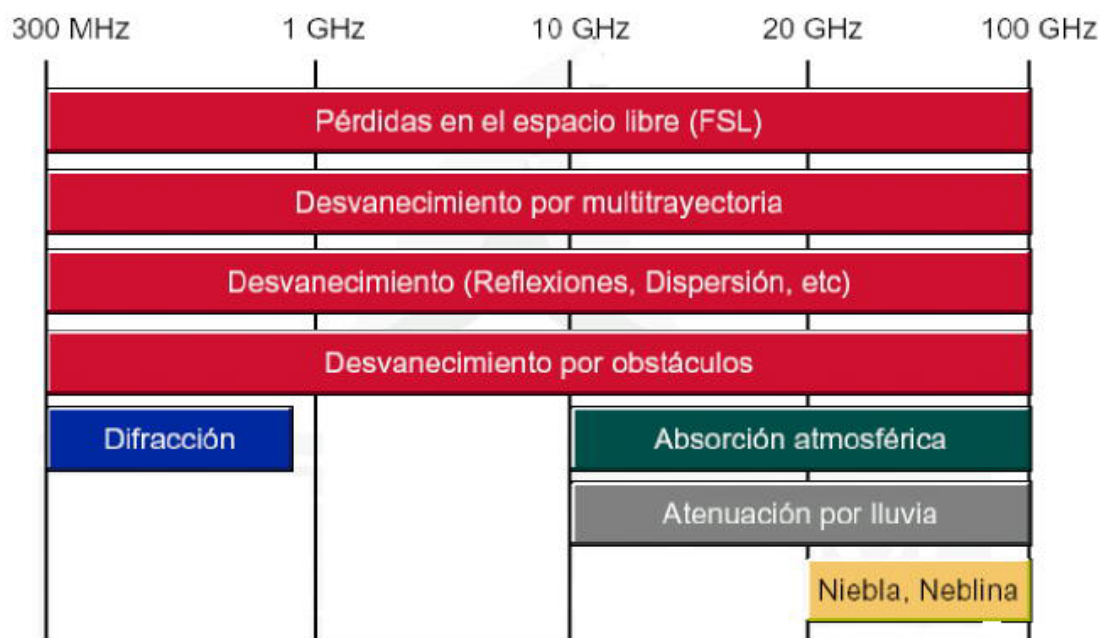
El modelo de propagación general asume que la señal que se trasmite entre la BST y el MS se encuentra a una cierta distancia en una cierta frecuencia. Y lo que importa es la señal del receptor (RSL o RSSI) con el fin de conocer si dicho equipo será capaz de detectarla. Si se considera el modelo de FSL general podemos obtener RSL con:

$$RSL_{dBm} = ERP_{dBm} - FSL_{dB}$$

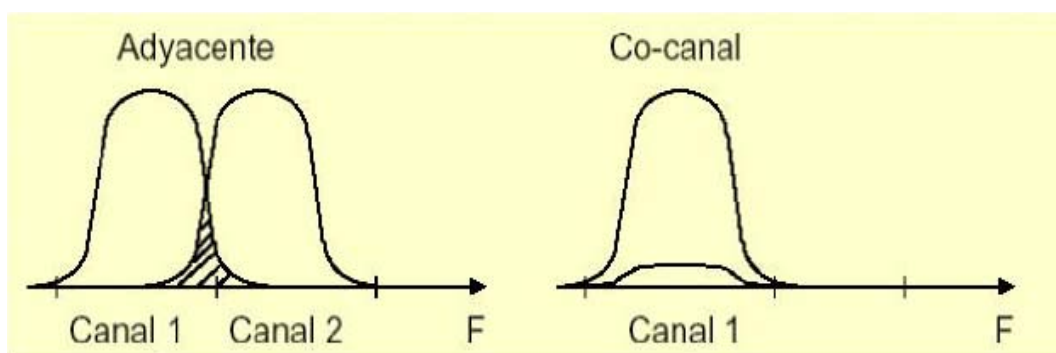
$$FSL: 32 + 20\log f_{MHz} + 20\log d_{km}$$



PROBLEMAS EN LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO.



INTERFERENCIA ADYACENTE Y CO-CANAL.



Adyacente.

Cuando la señal de un canal invade el espacio de frecuencia de un canal vecino. Puede ser por una emisión con demasiada potencia o por un corrimiento de la frecuencia nominal.

Co-canal

Cuando en un canal de cierta polarización aparecen vestigios de la señal que se encuentra en la misma frecuencia pero que originalmente viaja en la polarización contraria.

TERCERA GENERACIÓN

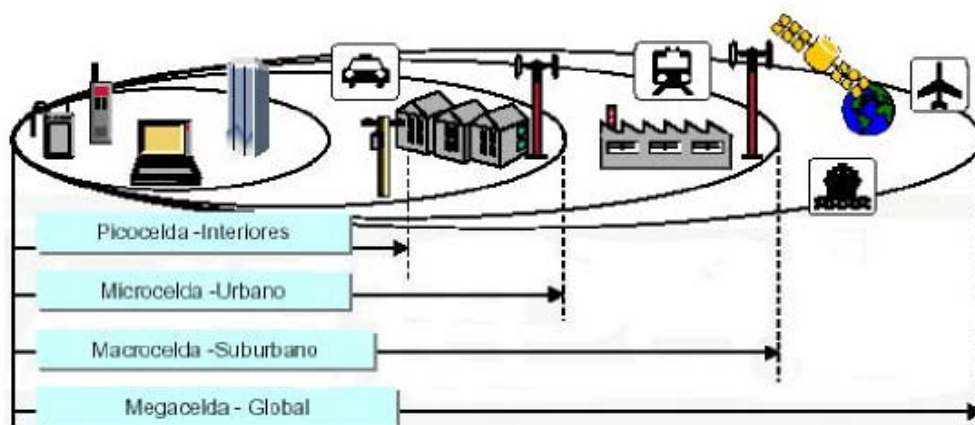
Las características en los sistemas de tercera generación (IMT-2000) se pueden resumir de la siguiente manera:

1) Terminales pequeñas y con alta velocidad de transmisión y capacidades de multimedia.

2) Sistemas que permiten:

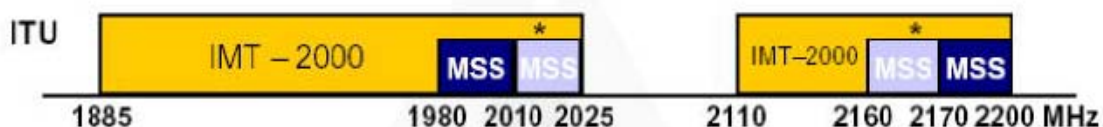
- Alta capacidad y uso eficiente del espectro.
- Servicios de voz con una gran calidad.
- Servicios multimedia: Tareas simultáneas; aplicaciones de Internet o Intranet a altas velocidades, transmisión asimétrica de datos (diferente velocidad en el envío y la recepción de información).
- Video en línea, videoconferencias, etc.
- Acceso a bancos de datos o a información del usuario guardada en algún otro dispositivo físicamente localizado en otra parte.
- Control del usuario sobre sus propios servicios como enrutamiento de su correo de voz.
- Servicios basados en la movilidad, como búsqueda de establecimientos o recepción de anuncios de acuerdo a la localización del usuario.
- Comercio electrónico, compras en línea desde el teléfono.
- Roaming mundial, portabilidad de servicios, tarificación de acuerdo a la zona de uso del móvil, acceso a directorios, etc.
- Componentes terrestres y satelitales.
- Compatibilidad con los sistemas de 2G.
- 2 Mbps para uso en interiores
- 384 kbps para peatones

- 144 kbps para vehículos.
- 9.6 kbps para servicios satelitales móviles.



Asignación del espectro para IMT-2000

La WARC de 1992 asignó 230 MHz en las bandas de 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz para los servicios PCS.



En la mayoría de las propuestas encontramos a WCDMA.

Se comparte la misma portadora mediante asignación de códigos diferentes.

Se pretende un AB de 5MHz para soportar velocidades hasta de 2 Mbps.

Manejo de Soft-handoff.

Personal Access Communication System, PACS.

Es un sistema pcs de tercera generación desarrollado y propuesto por Bellcore, inicialmente se le conoce como WACS (Wireless Access Communication Systems). Y es utilizado para aplicaciones de voz, datos e imágenes de video.

Se definen las microceldas con un rango dentro de los 500 metros.

Su objetivo es el de integrar todas las formas de acceso inalámbrico en un solo sistema con todas las características telefónicas. Diseñado para extender la red telefónica mediante medios inalámbricos a un bajo costo.

Referencias.

1. Longley, A.G. and Rice, P.L., "Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss Over Irregular Terrain, A Computer Method-1968", ESSA Technical Report ERL 79-ITS 67, Institute for Telecommunications Sciences, July 1968.
2. Rice, P.L. Longley, A.G., Norton, K.A., Barsis, A.P., "Transmission Loss Predictions for Tropospheric Communications Circuits," NBS Technical Note 101 (Revised), Volumes I and II, U.S. Department of Commerce, 1967.
3. Hufford, G.A., Longley, A.G. and Kissick, W.A., "A Guide to the use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode", NTIA Report 82-100, U.S. Department of Commerce, April 1982. Also, Circular letter, dated January 30, 1985, from G.A. Hufford, identifying modifications to the computer program.
4. Hufford, G.A., Memorandum to Users of the ITS Irregular Terrain Model, Institute for Telecommunications Sciences, U.S. Department of Commerce, January 30, 1985.

Client Procedures Circular, CPC 2-0-03, Environmental Process, Radiofrequency Fields and Land-Use Consultation.

Referencias sobre PCS.

<http://atenea.udistrital.edu.co/cursos/teleprocesos/pcs/>

Normas de construcción de torres y estructuras de antenas

<http://www.tc.gc.ca/aviation/regserv/carac/CARS/cars/62119e.htm#d8>

normas sobre telefonía celular

<http://www.fcc.gov>

<http://www.ic.gc.ca/>

<http://www.cft.gob.mx/>

Aspectos económicos de telefonía celular.

<http://www.ahcietmovil.com/Revista/default.asp?idm=10083&ids=10451>
