

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD ZACATENCO**

**“PLANEACIÓN DE UNA RADIOBASE GSM PARA
INTRODUCIR EL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR EN
UNA COMUNIDAD RURAL”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTAN:
**MYIRIAM BARRERA MENDEZ
LUIS FERNANDO BELTRAN ALVARADO
OMAR ALEJANDRO RAMIREZ DIAZ**

CONDUCTORES DE LA INVESTIGACIÓN:
**M.C. FABIOLA MARTÍNEZ ZUÑIGA
ING. ENRIQUE HERRERA PÉREZ**



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL " ADOLFO LOPEZ MATEOS"**

T E M A D E T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCION DE TITULACION
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL**

**C. LUIS FERNANDO BELTRAN ALVARADO
C. MYRIAM BARRERA MENDEZ
C. OMAR ALEJANDRO RAMIREZ DIAZ**

**"PLANEACIÓN DE UNA RADIOBASE GSM PARA INTRODUCIR EL SERVICIO DE
TELEFONÍA CELULAR EN UNA COMUNIDAD RURAL"**

DISEÑAR Y CALCULAR UNA RADIOBASE PARA SUMINISTRAR EL SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR A LA COMUNIDAD RURAL DE TEPEACA, PUEBLA, UTILIZANDO ESTANDAR GSM 1900.

- ❖ **CONCEPTOS GENERALES DE TELEFONÍA CELULAR.**
- ❖ **ESTANDAR GSM Y MODELOS DE PROPAGACIÓN.**
- ❖ **ANÁLISIS DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA RADIO BASE.**
- ❖ **DISEÑO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA RADIO BASE UTILIZANDO ESTANDAR GSM.**

MÉXICO D. F., A 09 DE JUNIO DE 2008.

A S E S O R E S


ING. ENRIQUE HERRERA PÉREZ


M. EN C. FABIOLA MARTINEZ ZUÑIGA


**ING. MARCO ANTONIO CERECEDO DIAZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

***A TODOS AQUELLOS QUE HICIERON POSIBLE
ESTE GRAN SUEÑO.***

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por ser mi guía en todo momento, por no dejarme caer en los momentos difíciles y por darme fuerza y sabiduría para lograr concluir esta etapa tan importante.

A MIS PADRES:

Porque simplemente sin ustedes yo no sería lo que soy. Porque me han enseñado el significado del amor, amistad, responsabilidad, humildad, valentía, porque gracias a sus consejos, palabras de aliento he incluso regaños he logrado lo que por más de 15 años he estado esperando.

Los amo con todo mi corazón y les agradezco infinitamente haber hecho de mí una gran mujer, y hoy le doy gracias al señor por haberme dado a los mejores padres de este mundo.

A MIS HERMANAS NANCY Y NATHALI:

Siempre han estado ahí en todo momento brindándome todo su apoyo, amor, ternura y tolerancia, mis dos grandes y mejores amigas; gracias por sus consejos, por escucharme y apoyarme en las buenas y en las malas, las amo mucho hermanitas.

A MIS ABUELITOS:

Gracias por dar a luz y formar a las personas que más amo, por hacerlos semejantes a ustedes con sus defectos y cualidades, gracias abuelita por tus regaños y tus sabios consejos, tu amor y tu paciencia. Te quiero mucho.

A MIS AMIGOS:

Gracias por todo el tiempo que pasamos juntos, en las buenas y en las malas, gracias por las risas y todos aquellos momentos que hicieron que esta etapa fuera la mejor de todas. A ti Karina porque siempre que te necesito ahí estas escuchándome y dándome el aliento para seguir adelante, Zoe mi mejor e incondicional amiga gracias por esas risas y consejos, Carlos siempre has estado ahí, eres lo mas lindo que me a sucedido, Luis y Omar por ser mis amigos y formar parte de este gran esfuerzo, Alfredo, Omar Patlan, Luis Miguel, Betsabé, Claudia, Uriel, Víctor, Aldo, Carlos Eduardo y Mario.

MYIRIAM BARRERA MENDEZ

A DIOS

Por ser mi guía y protector en todo momento, gracias dios por darme la posibilidad de vivir y ser tan feliz.

A MIS PADRES

Isabel y Rogelio que me han brindado el amor, el cariño y la comprensión que yo he necesitado a lo largo de mi vida y han hecho de mí un hombre de bien. Por eso solo quiero decirles Gracias por ser mis padres.

A MIS HERMANOS

Brenda y Rogelio por ser la fuente de inspiración que me ha impulsado a seguir adelante y me han enseñado a disfrutar cada instante de la vida, solo me resta decirles Gracias.

A MIS AMIGOS

Aldo, Alfredo, Belén, Betsabé, Claudia, Luis Miguel, Myriam, Omar, Uriel, Víctor, Zoe que me han brindado su amistad sin esperar nada a cambio y han estado conmigo cuando más los he necesitado, solo me falta decirles gracias por ser mis amigos, los quiero mucho.

A MIS MAESTROS

Gracias a todos y cada uno de los maestros que han formado parte de mi vida, por que al brindarme sus conocimientos he logrado cada una de mis metas y me han enseñado que las metas se alcanzan a base de esfuerzo y dedicación.

LUIS FERNANDO BELTRAN ALVARADO

A DIOS

Le agradezco cada instante de mi vida, por estar siempre conmigo brindándome salud y protección, además de guiarme por el buen camino para el logro de todas mis metas por esto GRACIAS DIOS.

A MIS PADRES

Quiero agradecerles Carmen y Mario por estar a mi lado cuando mas los necesitaba, que aunque no fuera físicamente, en espíritu siempre han estado en los momentos mas importantes de mi vida, me han guiado por el camino correcto en todo momento desviando las adversidades de mi vida, por tal motivo no me queda más que decir: GRACIAS Y LOS AMO CON TODO MI CORAZON.

A MIS HERMANOS

Solo quiero decirles gracias a todos ustedes Carmen, Ángeles, Juan Carlos y Mario porque sin su ayuda nunca habría podido lograr este objetivo y ninguno en mi vida, no solo han sido unos hermanos para mí, sino junto con mis padres las personas que mas aprecio en mi vida.

A MI FAMILIA

A todos y cada uno de los miembros de mi familia: Abuelos, tíos, primos, etc., les quiero agradecer porque en todo momento conté con su apoyo y comprensión, ya que nunca me abandonaron cuando mas los necesite y me dieron excelentes consejos para poder seguir adelante.

MIS AMIGOS

A ustedes Luis, Aldo, Uriel, Alfredo, Luis Miguel, Zoe, Myriam, Betsabé, Claudia, Víctor, Roberto Carlos y Antonio que siempre me apoyaron para seguir adelante, que estuvieron conmigo en los momentos de estudio, pero también en los de diversión, con los que he vivido experiencias inolvidables quiero decirles gracias a cada uno de ustedes por ser mis amigos y recordarles que nunca los voy a olvidar.

OMAR ALEJANDRO RAMIREZ DIAZ

CONTENIDO

	Página	
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS		
RESUMEN	I	
OBJETIVO GENERAL	II	
OBJETIVOS ESPECIFICOS	II	
JUSTIFICACIÓN	II	
INTRODUCCIÓN	III	
DEFINICIONES	V	
CAPÍTULO 1 CONCEPTOS GENERALES DE COMUNICACIONES Y TELEFONÍA CELULAR		
1.1	Introducción del capítulo	1
1.2	Elementos básicos de comunicaciones	1
	1.2.1 Ondas electromagnéticas	1
	1.2.2 Modulación	3
	1.2.3 Tipos de acceso al medio	7
1.3	Microondas	10
	1.3.1 Enlaces de Microondas Terrestres	11
1.4	Telefonía Celular	12
	1.4.1 Historia de Telefonía Celular	13
	1.4.2 Historia de Telefonía Celular en México	15
1.5	Sistema Básico de Telefonía Móvil	17
	1.5.1 Celda	18
	1.5.2 Reuso de Frecuencias	18
	1.5.3 Subdivisión de Celdas	21
	1.5.4 Transferencia de Llamada (<i>Hand- Off</i>)	21
	1.5.5 <i>Roaming</i>	22
1.6	Utilización del Espectro en Telefonía Celular	22

CAPÍTULO 2 ESTÁNDAR GSM Y MODELOS DE PROPAGACIÓN

	Página	
2.1	Introducción del Capítulo	24
2.2	Estándar GSM	24
2.3	Características Principales de los Sistemas Celulares Mundiales	25
2.4	Historia de GSM	27
2.5	Características del Estándar GSM	30
2.6	Arquitectura de la Red	31
	2.6.1 Estación Móvil	32
	2.6.2 Estación Base	34
	2.6.3 Controlador de Radio Bases	35
	2.6.4 Centro de Conmutación de Servicios Móvil	38
	2.6.5 Registro de Usuarios Locales	38
	2.6.6 Registro de Usuarios Visitantes	38
	2.6.7 Centro de Autenticación de los Usuarios	38
	2.6.8 Registro de Identificación de Equipos	39
	2.6.9 Centro de Mantenimiento y Operaciones	39
2.7	Componentes de la BTS	39
	2.7.1 Duplexor	39
	2.7.2 <i>Transceiver</i> (Unidad de Transmisión y Recepción)	41
	2.7.3 Combinador	42
	2.7.4 Multiacoplador de Antena ó Divisor	43
	2.7.5 Alimentador (Feeder)	45
2.8	Modulación Digital en GSM	47
	2.8.1 Modulación MSK	47
	2.8.2 Modulación GSMK	49
2.9	Proceso de Transmisión del Móvil	50
	2.9.1 Señal de Voz	50
	2.9.2 Conversión A/D (8khz, 13bits)	50
	2.9.3 Segmentación (Codificación de Voz 13kbits/Seg)	51
	2.9.4 Codificación del Canal	52

	Página
2.9.5 Intercalar	52
2.9.6 Modulador	54
2.9.7 Transmisor	54
2.10 Problemas en la Transmisión de la Señal	54
2.11 Soluciones en la Transmisión de la Señal	57
2.12 Tipos de Canales	59
2.12.1 Canales Físicos	59
2.12.2 Canales Lógicos	60
2.12.2.1 Canales de Control	60
2.12.2.2 Canales de Tráfico	64
2.12.3 Tipos de Burst	65
2.13 Relación entre Bits y Tramas	66
2.14 Relación entre Portadoras y Intervalos de Tiempo	67
2.15 Proceso de Inicio y Terminación de una Llamada	67
2.16 Modelos de Propagación	69
2.16.1 Modelo de Propagación en el Espacio Libre	69
2.16.2 Modelo de Okumura	71
2.16.3 Modelo Hata (Okumura-Hata)	73
2.16.4 Modelo de Hata Extendido Ó Modelo Cost – 231	75
2.16.5 Modelo Walfish – Ikegami Ó Cost 231	76
2.16.6 Modelo Walfish y Bertoni	79

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA RADIO BASE

3.1	Introducción del Capítulo	80
3.2	Localización y Características Físicas	80
	3.2.1 Orografía	81
	3.2.2 Características del Uso del Suelo	82
3.3	Análisis Demográfico	83

		Página
3.4	Medios de Comunicación	83
3.5	Actividad Económica	84
	3.5.1 Industria	84
	3.5.2 Comercio	85
	3.5.3 Población Económicamente Activa por Sector	85
3.6	Capacidad	86
3.7	Cobertura	86
	3.7.1 Tipos de Celdas	87
3.8	Bandas de Frecuencias Asignadas para 1900Mhz	88
3.9	Dimensionamiento de Tráfico	89
	3.9.1 Tráfico	89
	3.9.2 Unidades de Tráfico Telefónico	89
	3.9.3 Grado de Servicio	91
3.10	BTS para GSM	91
3.11	Torres para Antenas de GSM	94
	3.11.1 Tipos de Torres para Telecomunicaciones	95
	3.11.2 Ubicación y Altura de las Torres	98
	3.11.3 Equipos	98
	3.11.4 Análisis de Cargas	99
	3.11.5 Análisis de Fuerzas de Viento	99
3.12	Antenas para GSM	100
	3.12.1 Antenas Directivas	100
3.13	Radiobase	103
	3.13.1 Sectores de la Radiobase	104
	3.13.2 Polarización Vertical y Horizontal	105
	3.13.3 Polarización Dual $\pm 45^\circ$	106

CAPÍTULO 4 DISEÑO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA RADIOBASE UTILIZANDO ESTÁNDAR GSM

	Página	
4.1	Introducción del capítulo	107
4.2	Localización de la radiobase	107
	4.2.1 Localización Satelital de Tepeaca, Puebla	107
	4.2.2 Ubicación Geográfica de la radiobase	109
4.3	Procedimiento para el Cálculo de Dimensionamiento de Tráfico	112
	4.3.1 Análisis de Cobertura	113
	4.3.2 Cálculo de Dimensionamiento de Tráfico	114
4.4	Datos de Configuración	117
	4.4.1 Diagrama a Escala de la radiobase	119
4.5	Procedimiento para el Cálculo de Potencia	120
	4.5.1 Cálculos de Potencia	121

CONCLUSIONES

i

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Teorema básico de modulación	4
Figura 1.2	Tipos de modulación analógica	5
Figura 1.3	Tipos de modulación digital	6
Figura 1.4	Acceso al medio por distribución de frecuencia	7
Figura 1.5	Acceso al medio por distribución de tiempo	8
Figura 1.6	Acceso al medio por distribución de código	8
Figura 1.7	Comparación entre FDMA, TDMA Y CDMA	10
Figura 1.8	Enlaces entre antenas de microondas terrestres	11
Figura 1.9	Millones de usuarios de telefonía celular en México	17
Figura 1.10	Sistema básico de telefonía móvil	17
Figura 1.11	Área geográfica de servicio de telefonía celular	19
Figura 1.12	Subdivisión de celdas	21
Figura 1.13	Proceso de transferencia de llamada	22
Figura 1.14	Espectro de telefonía celular	23
Figura 2.1	Frecuencias asignadas GSM	31
Figura 2.2	Arquitectura GSM	31
Figura 2.3	Diagrama a bloques de un duplexor	40
Figura 2.4	Diagrama a bloques de un multiacoplador	44
Figura 2.5	Configuración típica de una radiobase	47
Figura 2.6	a) Modulador MSK, b) Demodulador MSK	48
Figura 2.7	Diagrama a bloques de un transmisor GMSK usando generación directa de FM	49
Figura 2.8	Proceso de transmisión del móvil	50
Figura 2.9	Muestreo de la señal de voz	50
Figura 2.10	Cuantificación y decodificación de la señal de voz	51
Figura 2.11	Codificación del canal de voz	52

		Página
Figura 2.12	Trama TDMA	52
Figura 2.13	Formato Burst	53
Figura 2.14	Pérdida de la señal	55
Figura 2.15	Sombreado	55
Figura 2.16	Desvanecimiento de Rayleigh	56
Figura 2.17	Dispersión en el tiempo	56
Figura 2.18	Canales lógicos	60
Figura 2.19	Diagrama general GSM	67
Figura 2.20	Tabla usada por Okumura para hacer predicciones	72
Figura 3.1	Estado de Puebla	81
Figura 3.2	Tipos de suelos de Tepeaca	82
Figura 3.3	Canal GSM	86
Figura 3.4	Cobertura GSM	87
Figura 3.5	Nortel GSM BTS 18000	92
Figura 3.6	BTS 6000	93
Figura 3.7	Modelo de torre arriestrada ó atirantada	96
Figura 3.8	Modelo de torre sobre viga metálica	96
Figura 3.9	Cimentación para torre autosoportada	97
Figura 3.10	Modelo de torre tipo monopolo	97
Figura 3.11	Contenedor para equipo de telecomunicaciones	98
Figura 3.12	Radiobase GSM	104
Figura 3.13	Sectores de la radiobase	104
Figura 3.14	Sistema de dos antenas por sector	105
Figura 3.15	Sistema con una antena por sector	105
Figura 3.16	Sistema de polarización cruzada	106

		Página
Figura 4.1	Orientación norte de Tepeaca	107
Figura 4.2	Orientación este de Tepeaca	108
Figura 4.3	Orientación sur de Tepeaca	108
Figura 4.4	Orientación oeste de Tepeaca	109
Figura 4.5	Radiobase Tepeaca	109
Figura 4.6	Lugar propuesto para la radiobase Tepeaca	110
Figura 4.7	Contenedor de una BTS	111
Figura 4.8	Antena para GSM	111
Figura 4.9	Lóbulos de radiación de la radiobase	113
Figura 4.10	Sectores de la radiobase	114
Figura 4.11	Equipo a utilizar	118
Figura 4.12	Representación final de la radiobase Tepeaca	119

TABLAS

Tabla 1.1	Leyes fundamentales para ondas electromagnéticas	2
Tabla 1.2	Simbología de las ecuaciones de Maxwell	3
Tabla 1.3	Ventajas y desventajas de los tipos de acceso al medio	9
Tabla 1.4	Concesionarios de telefonía celular	16
Tabla 1.5	Frecuencias de transmisión del móvil y de la radiobase	23
Tabla 2.1	Características del duplexor VHF	41
Tabla 2.2	Desempeño de diferentes combinadotes para 2, 3 y 4 Tx	43
Tabla 2.3	Características típicas de un multiacoplador	45
Tabla 2.4	Características del alimentador	46
Tabla 2.5	BER	57
Tabla 2.6	Canales de difusión	61
Tabla 2.7	Canales de control común	62
Tabla 2.8.1	Canales de control dedicados	63
Tabla 2.8.2	Continuación de canales de control dedicados	64

		Página
Tabla 3.1	Actividad económica por sector	85
Tabla 3.2	Frecuencias asignadas para GSM	88
Tabla 4.1	Datos de la radiobase	110
Tabla 4.2	Tabla B de Erlang	115
Tabla 4.3	Esquema de reuso de frecuencias GSM banda B	116
Tabla 4.4	Esquema de reuso de frecuencias GSM banda B	116
Tabla 4.5	Especificaciones de antenas	117
Tabla 4.6	Especificaciones de la torre	117
Tabla 4.7	Especificaciones de la BTS	118

RESUMEN

En toda empresa de telefonía celular a nivel mundial, la preocupación constante es brindar la mayor cobertura a cada región otorgando un servicio de alta calidad y eficiente.

La mencionada preocupación de las empresas de comunicaciones móviles se encuentra en extender su cobertura, tanto en zonas rurales como urbanas, debido al crecimiento demográfico de la población y a la necesidad de comunicación a grandes distancias.

Para otorgar un servicio de telefonía móvil se debe realizar un análisis económico, social y tecnológico para establecer las bases necesarias que nos ayuden a visualizar la factibilidad del servicio. Se deben buscar mecanismos que permitan desarrollar una propuesta para satisfacer las necesidades de comunicación en cualquier región, que servirán de guía para llevar a cabo la operación de una radiobase.

En la actualidad las empresas de telefonía móvil no solo deben preocuparse por dar cobertura sino que también deben enfocarse en ofrecer servicios complementarios como Internet para otorgar mayor diversidad a los usuarios. De acuerdo a lo anterior se puede decir que las comunicaciones se han desarrollado de tal forma que hoy en día es difícil concebir una comunidad en ascenso sin estos servicios de comunicación.

De esta manera el presente trabajo mostrara una propuesta para la puesta en marcha de una radiobase, ante la necesidad de telefonía móvil en una zona rural, que esta en constante crecimiento y se encuentra en una situación económica favorable para la implementación del servicio telefónico celular.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y calcular una radiobase para suministrar el servicio de telefonía celular a la comunidad rural de Tepeaca, Puebla, utilizando estándar GSM1900.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar los conceptos básicos de comunicaciones en la telefonía celular.
- Conocer la estructura de la red de telefonía celular, así como la arquitectura del estándar GSM1900.
- Conocer y aplicar el modelo de propagación que se adecue a las características de la comunidad rural antes mencionada.
- Observar el estado socioeconómico actual de Tepeaca, así como su orografía y crecimiento demográfico a futuro.
- Planteamiento de los lineamientos necesarios para la puesta en marcha de una radiobase.

JUSTIFICACIÓN

Se desea brindar servicio de telefonía celular a Tepeaca, Puebla debido a que las condiciones territoriales son adecuadas, el incremento anual de la población es favorable y el intercambio comercial e industrial con otras comunidades se ha incrementado de forma acelerada.

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones en México han tenido un desarrollo significativo debido a la gran demanda que existe, por parte de las empresas y de la población en general, para estar siempre comunicados a través de los diferentes medios que existen para hacerlo.

La telefonía móvil en la actualidad es el medio de comunicación más accesible y por ende más usado por la comunidad en general. La importancia de este medio de comunicación radica en la cobertura de todo tipo de regiones, para lo cual es necesario contar con una estación base que transmita y reciba la señal entre equipos móviles para establecer una comunicación entre ellos.

En el presente trabajo de tesis se observará una propuesta de planeación de una radiobase GSM para introducir el sistema de telefonía celular en una comunidad rural, por tal motivo a continuación se muestra una perspectiva general del contenido de este trabajo.

Para la correcta comprensión de este trabajo, es necesario entender los conceptos generales de comunicaciones que se presentan en el capítulo 1, con el objetivo de dar un panorama más amplio de la telefonía móvil para entender posteriormente su funcionamiento.

Una vez que los conceptos generales de comunicaciones han sido comprendidos es necesario conocer qué estándar de telefonía móvil utilizaremos, dado que existen diferentes estándares y cada uno de ellos proporciona diferentes características. El estándar GSM como se observará en el capítulo 2 nos provee un servicio de comunicación personal a muy altas frecuencias, y en consecuencia provoca tener longitudes de onda muy pequeñas que serán de gran ayuda para tener antenas más pequeñas que sirvan para el diseño de una radiobase.

Una de las características más importantes de GSM es que difiere de sus antecesores, en que tanto los canales de voz como las señales son digitales, y se ha diseñado así para un moderado nivel de seguridad.

También dentro del capítulo 2, se describen los diversos modelos de propagación que son necesarios para poder predecir el nivel de recepción de la señal transmitida, estos deben de considerar los fenómenos básicos de propagación y los distintos tipos de área para poder diseñar una radiobase que brinde la mayor cobertura.

Es necesario establecer el análisis de la puesta en marcha de una radiobase para resolver el problema de cobertura, este se desarrollara en el capítulo 3. Se realizara la planeación para introducir el servicio de telefonía celular en una comunidad rural presentando las características del poblado así como los elementos necesarios para el establecimiento del mismo. El beneficio de este análisis es amplio, ya que podrá obtenerse una mejor perspectiva para brindar la cobertura deseada a la comunidad, y por tal motivo un mejor servicio a la población.

Una vez que se tiene toda la información necesaria, en el capítulo 4, se realizara el diseño de la puesta en marcha de una radiobase, el cual mostrara los cálculos necesarios para brindar cobertura junto con el equipo mas adecuado para lograr este objetivo. Los resultados obtenidos están basados en datos reales para dar mayor veracidad al estudio aquí presentado.

De esta manera se presenta un trabajo que será interesante, no solo para aquellas personas cuya actividad este orientada a la telefonía celular, sino para cualquier empresa de telefonía móvil que desee brindar un mejor servicio de cobertura a una comunidad rural y así dar beneficios a la misma que impacten a la población afectada.

DEFINICIONES

DCS 1800: Sistema de Control de Distribución (*Distributed Control System*)

NMT: Telefonía Móvil Nórdica

AMPS: Sistema de Telefonía Móvil Avanzado

TACS: Sistema de Comunicación de Acceso Total

D-AMPS: Sistema de Telefonía Móvil Digital Avanzado

PDC: Controlador de Dominio Primario

CDMAone: Tecnología de Acceso Múltiple por División de Códigos

GSMA: Asociación Global de Comercio para Operadores de Telefonía Móvil
GSM

GPRS: Servicio General de Paquetes de Datos (*General Packet Radio Service*)

DTE: Equipo Terminal de Datos

DCE: Equipo de Comunicación de Datos

ISDN: Red Digital de Servicios Integrados (*Integrated Services Digital Network*)

CGI+TA.: Tipo de Método de Posicionamiento

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

E-OTD: Mayor Diferencia de Tiempo Observada

WCDMA: Acceso Múltiple de Banda Ancha por División de Código (*Wideband Code Division Multiple Access*)

IMEI: Identidad Internacional de Equipo Móvil (*International Mobile Equipment Identity*)

V.S.W.R: Relación de Onda Estacionaria de Voltaje

RF: Radio Frecuencia

Parámetro BT: Recibe en su entrada un proceso y obtiene la estimación espectral de potencia de dicho proceso.

C/I: Relación Carrier-Interferencia

LA: Área de Localización

PCS: Servicio Personal de Comunicaciones (*Personal Communications Services*)

AESC: Asociación de Consultoría para la Búsqueda de Directivos

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CIRSOC: Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para Obras Civiles

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES DE COMUNICACIONES Y TELEFONÍA CELULAR

1.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

Dada la importancia y el desarrollo de las comunicaciones móviles y toda vez que éste es el tema principal del presente trabajo, este capítulo desarrolla de manera breve los conceptos generales de comunicaciones, con el objetivo de sentar las bases teóricas que se necesitan para apoyar la realización del proyecto correspondiente a esta tesis.

1.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE COMUNICACIONES

1.2.1 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Una onda electromagnética es la asociación entre un campo eléctrico y un campo magnético, con un desfase de 90° entre ellos, es decir, los dos campos son perpendiculares entre sí y con la dirección de propagación, esta onda electromagnética no necesita un medio material para propagarse debido a que se propagan en el aire o vacío a una velocidad constante muy alta, aproximadamente de 300, 000,000 m/s.

PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Un campo eléctrico que varía en el tiempo producirá una corriente de desplazamiento que, de acuerdo a la ley de Ampère-Maxwell, será fuente de un campo magnético. A su vez éste último, al ser variante, producirá un campo eléctrico de acuerdo a la ley de Faraday. De este modo ambos campos se sostienen uno al otro.

TABLA 1.1 - LEYES FUNDAMENTALES PARA ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

NOMBRE	FORMA DIFERENCIAL	DESCRIPCIÓN
Ley de inducción de Faraday	$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	<p>Es un campo magnético que al moverse a través de una superficie cerrada genera una energía que rota por la superficie y a su vez genera un campo magnético de menor intensidad pero en sentido contrario.</p>
Ley de Ampere	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	<p>Es la relación del campo magnético inducido con el flujo eléctrico en función de la corriente de conducción con la corriente de desplazamiento.</p>
Ley de Gauss	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho_v$	<p>Define el campo eléctrico como el área de influencia que se deja sentir cuando existe una carga.</p>
Ley de Gauss para campo magnético	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	<p>Define el campo magnético ya que si no fuera así existirían monopolos magnéticos, lo cual no es posible debido a que para que exista un campo magnético se necesita la dualidad.</p>

TABLA 1.2 – SIMBOLOGÍA DE LAS ECUACIONES DE MAXWELL

$\vec{E} \Rightarrow$ Campo eléctrico
$\vec{H} \Rightarrow$ Campo magnético inducido
$\vec{D} \Rightarrow$ Densidad de campo eléctrico
$\vec{B} \Rightarrow$ Densidad de campo magnético
$\rho_v \Rightarrow$ Densidad de carga volumétrica
$\vec{J} \Rightarrow$ Densidad de corriente de conducción
$\nabla \bullet \Rightarrow$ <i>Divergencia</i>
$\nabla \times \Rightarrow$ <i>Rotacional</i>

1.2.2 MODULACIÓN

Es hacer que la señal banda base (señal de información) varíe alguna de las características de la portadora (señal de muy alta frecuencia 70MHz aproximadamente), ya sea amplitud, frecuencia o fase.

La modulación sirve para tener frecuencias altas en la señal transmitida, con la finalidad de evitar interferencias que modifiquen la señal. Otro aspecto importante a considerar es que al tener frecuencias altas se reduce el tamaño de las antenas lo que genera menor costo.

TEOREMA BÁSICO DE MODULACIÓN

Multiplicar en el tiempo la señal de información con la portadora que es un coseno equivale a trasladar todo el espectro de $f(t)$ en la cantidad de $\pm \omega_c$. La importancia de la modulación es tal que los sistemas de comunicación se caracterizan por el tipo de modulación que emplean, el teorema básico de modulación se expresa gráficamente en la figura 1.1.

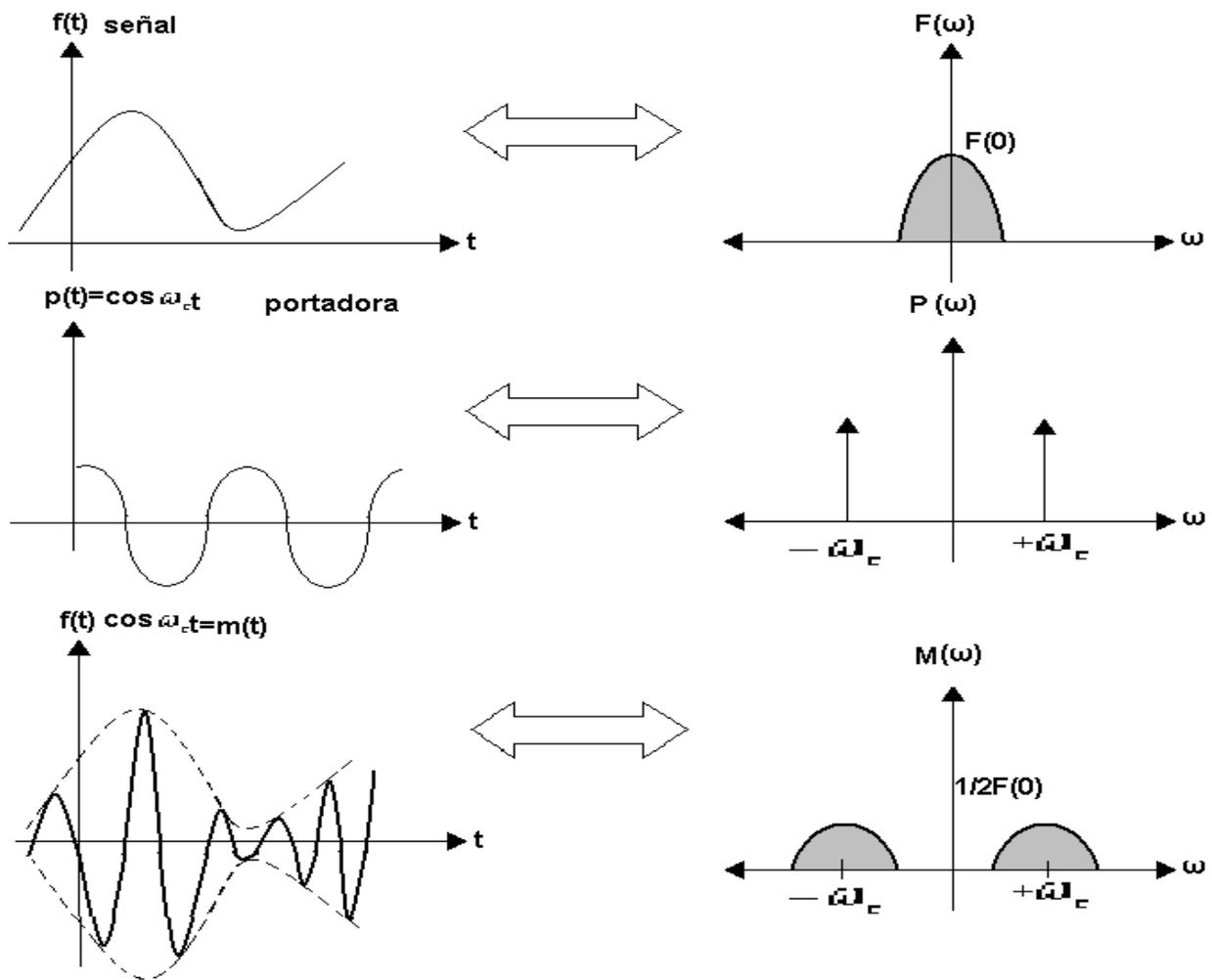


FIGURA 1.1 – TEOREMA BÁSICO DE MODULACIÓN

TIPOS DE MODULACIÓN

La modulación se puede llevar a cabo de dos formas:

- Modulación analógica
- Modulación digital

Si la señal de información es analógica se utiliza modulación analógica, y los tipos de modulación a utilizar son: AM, FM, PM. Si la señal de información es digital se utiliza modulación digital, y los tipos de modulación a utilizar son: ASK, FSK, PSK, entre otras.

TIPOS DE MODULACIÓN ANALÓGICA

AM (MODULACIÓN EN AMPLITUD)

Consiste en hacer variar la amplitud de la señal portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal de información, para obtener la señal pasa banda (señal modulada).

FM (MODULACIÓN EN FRECUENCIA)

Es el proceso de variar la frecuencia de la señal portadora de acuerdo con la señal de entrada. Este tipo de modulación es más eficiente que la modulación en amplitud, ya que como solo varía con los cambios de frecuencia no existen problemas con el desvanecimiento de amplitud en la señal.

PM (MODULACIÓN EN FASE)

Se caracteriza porque la fase de la señal portadora varía de acuerdo con la señal banda base, resultando una señal modulada en fase la cual contiene un defasamiento de 180° por cada cambio de estado. Este proceso no es muy utilizado porque requiere equipos de recepción más complejos que las señales moduladas en frecuencia. Además puede presentar problemas de ambigüedad para determinar si una señal tiene una fase de 0° o 180° .

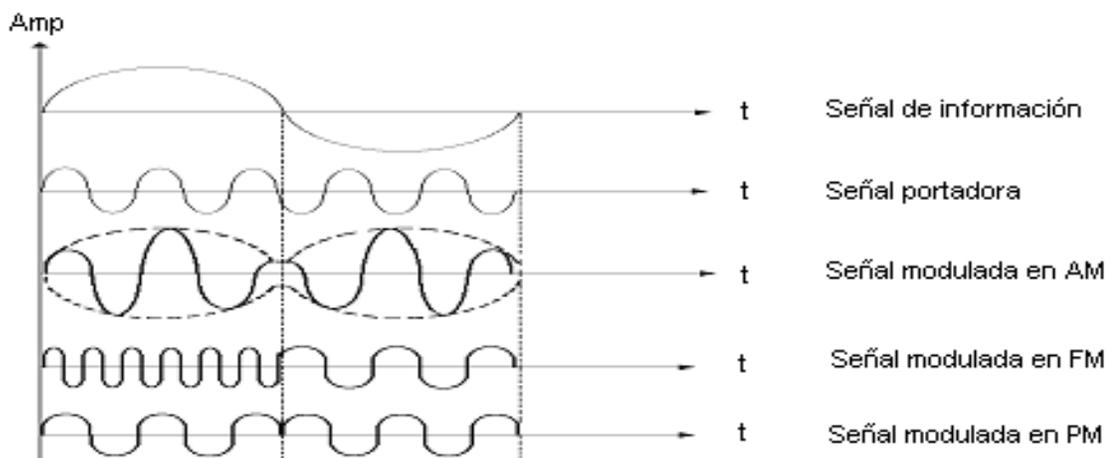


FIGURA 1.2 - TIPOS DE MODULACIÓN ANALÓGICA

TIPOS DE MODULACIÓN DIGITAL

ASK (MODULACIÓN DIGITAL EN AMPLITUD)

Consiste en hacer variar la amplitud de la señal portadora de forma que esta cambie de acuerdo con los niveles lógicos de la señal de información, manteniendo la frecuencia y la fase constantes.

FSK (MODULACIÓN DIGITAL EN FRECUENCIA)

Es el proceso de variar la frecuencia de la señal portadora de acuerdo con los niveles lógicos la señal de entrada, manteniendo amplitud y fase constante. Este tipo de modulación es la más simple de las modulaciones digitales y por lo tanto es de bajo desempeño.

PSK (MODULACIÓN DIGITAL EN FASE)

Es una forma de modulación angular que consiste en cambiar la fase de la portadora entre los cambios de niveles lógicos, manteniendo la frecuencia y la fase constantes. El defasamiento entre cada cambio de nivel lógico es de 180° .

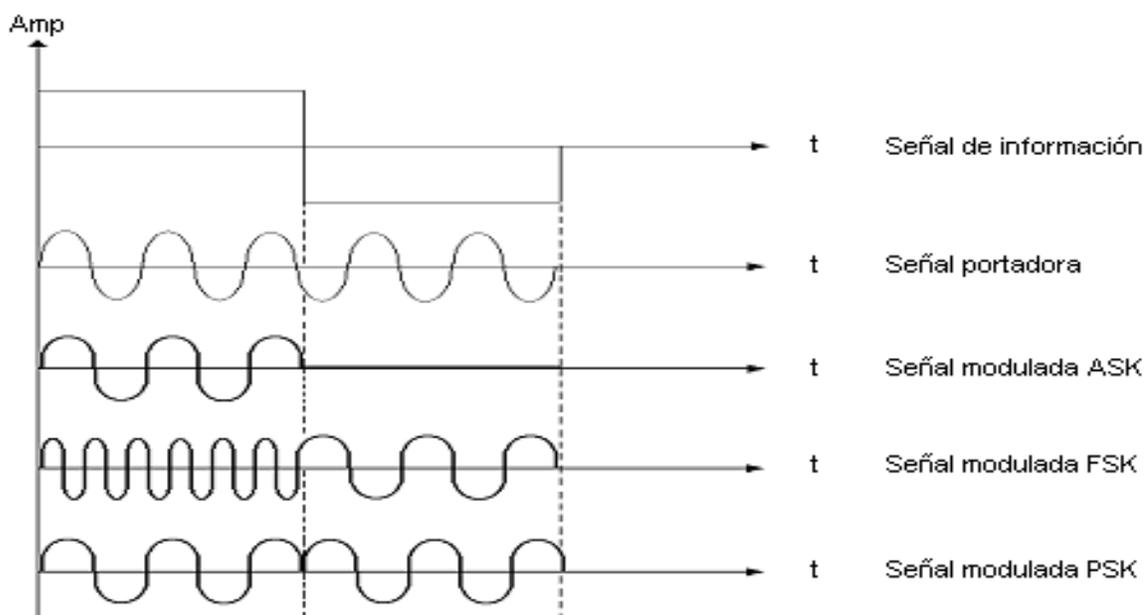


FIGURA 1.3 - TIPOS DE MODULACIÓN DIGITAL

1.2.3 TIPOS DE ACCESO AL MEDIO

Estas técnicas se utilizan para acceder de forma ordenada al canal de comunicación. Con estas técnicas podemos tener varias señales de información en un mismo canal, lo que nos permite tener un mejor uso del ancho de banda. Existen 3 técnicas para poder acceder al medio:

- FDMA (Acceso al medio por distribución de frecuencia)
- TDMA (Acceso al medio por distribución de tiempo)
- CDMA (Acceso al medio por distribución de código)

FDMA (ACCESO AL MEDIO POR DISTRIBUCIÓN EN FRECUENCIA)

FDMA subdivide el ancho de banda en frecuencias, cada frecuencia sólo puede ser usada por un usuario durante una llamada. Debido a la limitación en ancho de banda, esta técnica de acceso es muy ineficiente ya que se saturan los canales al aumentar el número de usuarios alrededor de una celda. Las transmisiones pueden ser constantes y es necesario dejar márgenes de guarda. Se utiliza para transmitir voz

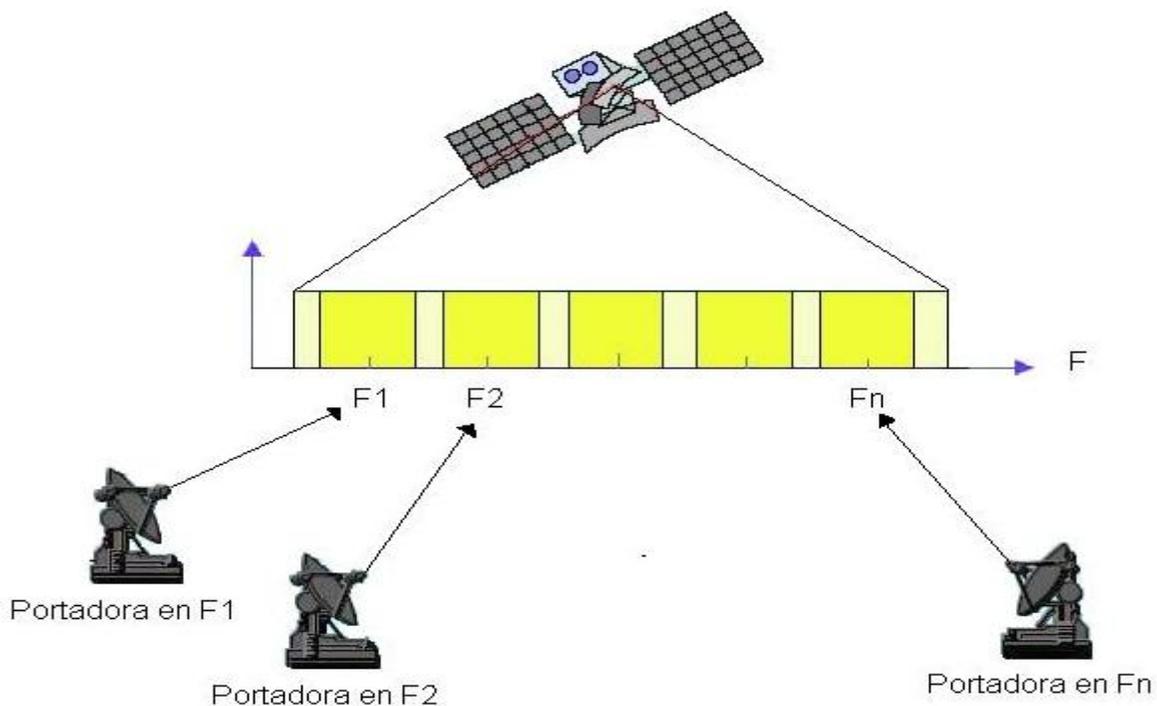


FIGURA 1.4 - ACCESO AL MEDIO POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA

TDMA (ACCESO AL MEDIO POR DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO)

TDMA es un servicio digital que consiste en enviar la información por ráfagas de bits en diferentes tiempos, con esto se ocupa la misma portadora y todo el ancho de banda, es decir sin dividirlo como en FDMA. Se utiliza para transmitir video.

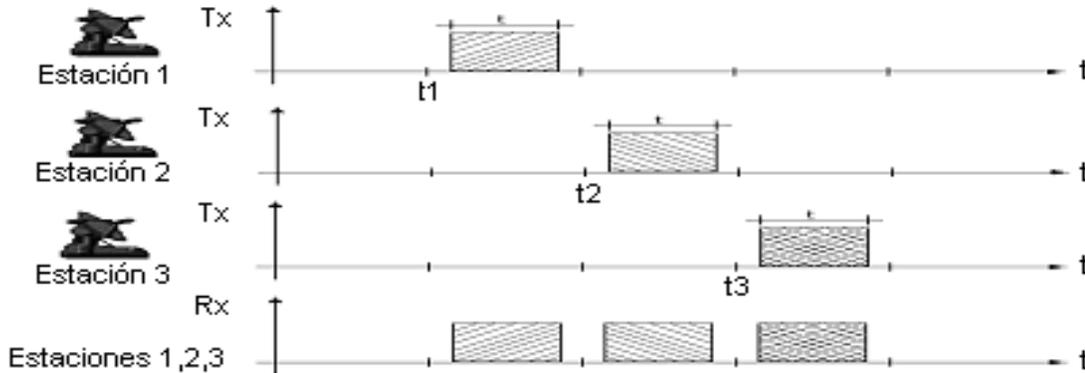


FIGURA 1.5 - ACCESO AL MEDIO POR DISTRIBUCION DE TIEMPO

CDMA (ACCESO AL MEDIO POR DISTRIBUCIÓN DE CÓDIGO)

La técnica CDMA, es una técnica de banda ancha, donde las estaciones pueden transmitir durante el mismo periodo de tiempo, ocupando todo el ancho de banda. La separación de cada estación se lleva a cabo mediante un código y este sólo puede ser decodificado por la estación que posea ese código específico (estación receptora). Se puede utilizar para transmitir en voz y video.

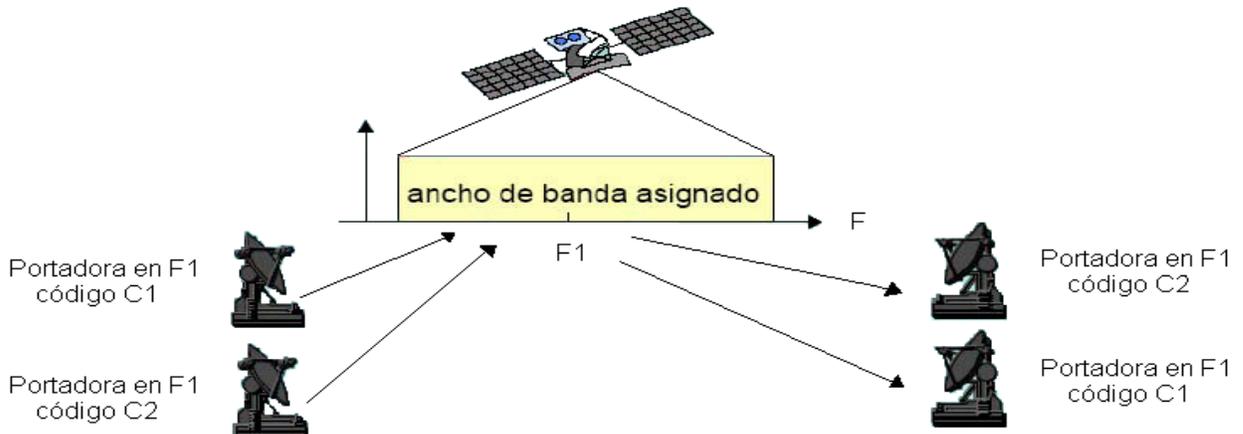


FIGURA 1.6 - ACCESO AL MEDIO POR DISTRIBUCIÓN DE CÓDIGO

TABLA 1.3 – VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE ACCESO AL MEDIO

TIPO DE ACCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FDMA	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso continuo en la banda del satélite • Simplicidad en el funcionamiento • No necesita sincronía • Equipo utilizado por largo tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de flexibilidad para reconfigurar el sistema • Decrementos en la capacidad al incrementar los accesos • Susceptible a interferencias
TDMA	<ul style="list-style-type: none"> • El desempeño se mantiene constante al incrementar los accesos • Las estaciones transmiten y reciben al mismo tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de sincronía
CDMA	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene límite de capacidad definido. • Para un determinado usuario, los otros usuarios son vistos como seudo ruido. • Mayor capacidad para tolerar señales interferentes. • Operación. y funcionamiento sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplea un ancho de banda grande y sin embargo el número de estaciones no puede ser muy alto. • Al incrementar el número de estaciones aumenta la posibilidad de interferencia.

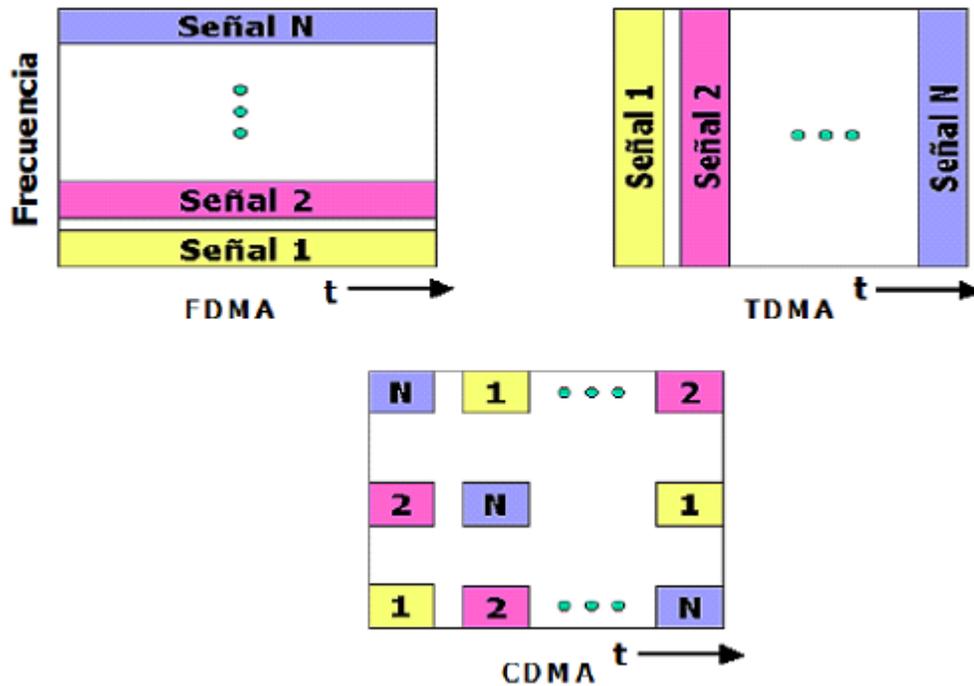


FIGURA 1.7 - COMPARACIÓN ENTRE FDMA, TDMA Y CDMA

1.3 MICROONDAS

Las microondas son ondas electromagnéticas de alta frecuencia (comprendidas dentro del rango de los 300 MHz y 300 GHz, incluye las bandas de radiofrecuencia de “UHF ultra alta frecuencia 0.3-3 GHz,” “SHF súper alta frecuencia 3-30 GHz” y “EHF extremadamente alta frecuencia 30-300 GHz”) y por consiguiente de longitud de onda muy corta, de ahí su nombre.

Las microondas tienen aplicaciones en diversos sistemas de comunicación como: Enlaces de Radiocomunicaciones terrestre, sistemas de comunicación por satélite, sistemas radar y sistemas de comunicación móviles.

Las microondas son usadas para transferir voz y datos a larga distancia. Se utiliza este canal para la comunicación digital cuando no es económicamente conveniente la conexión de dos puntos vía cable; Los sistemas de microondas usualmente utilizan diferentes frecuencias para evitar interferencias pero comparten algunas bandas de frecuencias.

1.3.1 ENLACES DE MICROONDAS TERRESTRES

Las transmisiones a larga distancia se llevan a cabo, mediante la concatenación de enlaces punto a punto entre torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada. Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales:

- El Transmisor.- Es el responsable de realizar la modulación digital a la frecuencia utilizada para la transmisión.
- Canal Aéreo.- Representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor.
- El receptor.- Es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos, en estos enlaces el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas. La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones pueden ser causadas por pérdidas atmosféricas, por la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras. La comunicación por microondas en línea recta a través de la atmósfera terrestre puede ser confiable con distancias de más de 50 kilómetros.

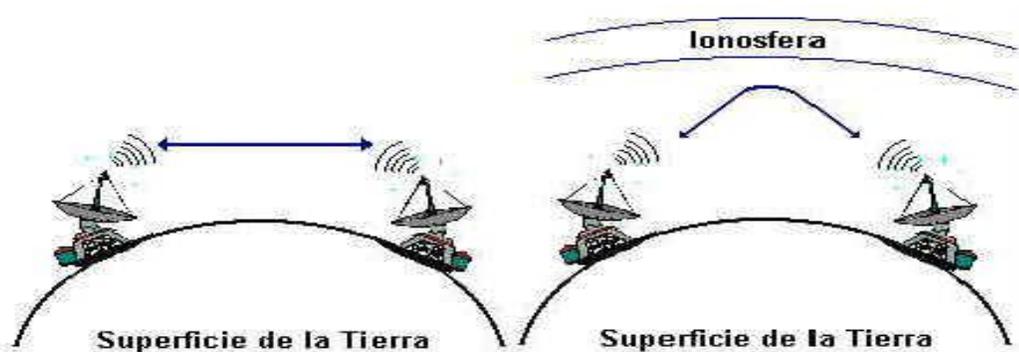


FIGURA 1.8 - ENLACES ENTRE ANTENAS DE MICROONDAS TERRESTRES

El uso principal de los sistemas de microondas terrestres son los servicios de telecomunicación de larga distancia, como alternativa al cable coaxial o a las fibras ópticas. La utilización de microondas requiere menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero en cambio necesita que las antenas estén alineadas.

VENTAJAS

- Antenas relativamente pequeñas debido a la alta frecuencia
- A estas frecuencias las ondas se comportan como ondas de luz, por ello la señal puede ser enfocada utilizando antenas parabólicas y antenas de embudo, además pueden ser reflejadas con reflectores pasivos.

DESVENTAJAS

- Las frecuencias son susceptibles a un fenómeno llamado Disminución de Multicamino, lo que causa profundas disminuciones en el poder de las señales recibidas.
- Las pérdidas ambientales se transforman en un factor importante
- La absorción de poder causada por la lluvia puede afectar fuertemente la transmisión del canal.

1.4 TELEFONÍA CELULAR

La telefonía celular, también llamada telefonía móvil se define como aquél sistema de transmisión el en cuál el usuario dispone de una terminal que no es fija y que no tiene cables, y que le permite gran movilidad y localización en la zona geográfica donde se encuentre la red, está compuesta por dos grandes bloques: una red de comunicaciones (o red de telefonía móvil) y las terminales (o teléfonos móviles) las cuales permiten el acceso a dicha red.

La red de telefonía móvil consiste en un sistema telefónico integrado por una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio (repetidores ó también llamados radio base) y una serie de centrales telefónicas de conmutación, que posibilita la comunicación entre terminales telefónicas portátiles (teléfonos móviles) o entre terminales portátiles y teléfonos de la red fija tradicional.

OBJETIVOS DE TELEFONÍA CELULAR

Los objetivos principales de los sistemas celulares de radiotelefonía móvil son:

- Capacidad para atender a una gran cantidad de usuarios
- Uso eficiente del espectro
- Capacidad de cobertura a nivel nacional
- Amplia capacidad de acceso
- Capacidad de adaptación al crecimiento de la densidad de tráfico
- Servicio a vehículos y a teléfonos particulares
- Servicio de telefonía normal y servicios especiales
- Calidad de servicio telefónico
- Accesible a diferentes tipos de usuarios

Para lograr estos objetivos se desarrolló el concepto celular, cuyas principales características se basan en los conceptos de reuso de frecuencia, subdivisión de celdas transferencia de llamadas y *roaming*

1.5.1 HISTORIA DE TELEFONÍA CELULAR

- La telefonía celular analógica fue concebida alrededor de 1940, planeada en los 60`s y lanzada en los primeros años de los 80`s. Desarrollada inicialmente por los ingenieros de los laboratorios Bell.
- AT&T en el año de 1946 introdujo el primer servicio telefónico móvil en los Estados Unidos, que operaba con 6 canales en la banda de 150 MHz, con un espacio entre canales de 60KHz.

- En 1949, la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), organismo que regula las comunicaciones en los Estados Unidos, dispuso mas canales y la mitad se los dio a la compañía Bell y la otra mitad a compañías independientes, con la intención de crear la competencia y evitar los monopolios.
- A finales de los años 60`s y principios de los 70`s, las frecuencias no eran reutilizadas en células adyacentes para evitar la interferencia en los primeros sistemas celulares.
- En 1982, 18 países de la comunidad europea se reunieron para sentar las bases de un sistema futuro coordinado y homogéneo de comunicaciones móviles denominándolo Grupo Especial Móvil, que mas tarde se expreso con el nombre de Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.
- En 1983 comienza el primer servicio comercial de telefonía celular de América en Chicago.
- Se predecía que para el año 2000 se habrían vendido 1 millón de teléfonos celulares, sin embargo esto sucedió en octubre de 1986, 14 años antes.
- En 1986 se comienza a estandarizar el sistema europeo GSM.
- En 1987 después de varios años de estudio se define el *estándar IS-41 (Interim Standar 41)*.
- También en 1987 Estados Unidos cuenta con 1, 230,855 abonados con un promedio de consumo de 100 USD/mes. Lo cual significa entradas por más de 100 millones de dólares mensuales.
- En 1989 comienzan las evaluaciones sobre TDMA.
- En 1990 comienza el servicio de telefonía celular en México.
- En 1992 el estándar TDMA se termina y es introducido por la mayoría de los fabricantes de teléfonos.
- En 1993 países en Sudamérica, Asia y Australia adoptan GSM y a su equivalente técnicamente hablando, el DCS 1800, soporta servicios de comunicaciones personales (PCS) en la banda de 1800 MHz a 2000 MHz.
- Para 1993 se cuenta con 22 millones de abonados celulares en todo el mundo aproximadamente.
- En 1994 IUSACELL introduce el servicio digital basado en la tecnología TDMA.

- En 1995 la lucha entre TDMA y CDMA se plantea difícil para ver cual de las dos ganara mas mercado.
- En 1997 TELCEL selecciona TDMA (IS-136) y IUSACELL cambia a CDMA (IS-95).
- En 1999 PEGASO y UNEFON introducen el servicio PCS en México.

1.4.2 HISTORIA DE TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO

- En 1989 la telefonía celular es implantada en México cuando la compañía Iusacell empieza a ofrecer el servicio en el Distrito Federal.
- En 1990 la compañía Telcel ofrece también el servicio en la capital del país.
- Se divide el territorio nacional en 9 regiones. Cada una de estas regiones se dividen en 2 bandas de frecuencia, la Banda "A" y la Banda "B". En cada una de las 9 regiones existe un concesionario operando en la banda de frecuencias "A" (825-835 MHz, 870-880 MHz) (ver tabla 1.4). La banda "B" (835-845 MHz, 880-890 MHz) operaría en todas las 9 regiones para un solo concesionario, en este caso, Radio móvil Dipsa (Telcel).
- En 1997 COFETEL lanza una convocatoria para licitar en México una nueva banda de frecuencias (1850-1970 MHz). Posterior a esta licitación aparecen nuevos operadores en estas bandas como Unefon, Pegaso PCS, Telcel y Iusacell.
- En agosto de 1998 empieza a operar en nuestro país Nextel Internacional, quien se alió con Motorola para establecer una red de radio digital con la tecnología conocida como iDEN (Integración Digital del Enlace de Red).
- En mayo de 1999 la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) implementa la modalidad "El que llama paga", la cual fue un detonante importante en el incremento de la teledensidad celular (número de teléfonos por cada 100 habitantes).
- En 2001 la empresa española Telefónica Movistar, adquiere los 4 operadores del Norte del país (Cedetel, BajaCel, Norcel y Movitel). La transacción fue estimada en 1790 millones de dólares.

- Posteriormente en Mayo de 2002, Telefónica Movistar adquiere gran parte de las acciones de la compañía Pegaso PCS.
- La telefonía celular en México se compone únicamente de 5 compañías: Telcel, Iusacell, Telefónica Movistar, Unefon y Nextel. Telcel es el operador más importante en número de usuarios, con casi con el 76% del mercado nacional. Le sigue Movistar con 12%, Iusacel con 5%, Unefon con 4% y Nextel con menos del 3%.
- En el 2005 de acuerdo a la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), los usuarios de telefonía celular en México superan los 35 millones. Esto significa que uno de cada 3 mexicanos tiene un teléfono celular en las manos.

TABLA 1.4 – CONSESIONARIOS DE TELEFONÍA CELULAR

CONSESIONARIOS DE TELEFONÍA CELULAR	REGIÓN	VIGENCIA
GRUPO TELEFONICA MOVISTAR		
• Baja Celular Mexicana, S.A. de C.V.	1	20 años
• Movitel del Noroeste, S.A. de C.V.	2	20 años
• Telefonía Celular del Norte, S.A. de C.V.	3	20 años
• Celular de Telefonía, S.A. de C.V.	4	20 años
GRUPO IUSACELL		
• Comunicaciones Celulares de Occidente, S.A. de C.V.	5	20 años
• Sistemas Telefónicos Portátiles Celulares, S.A. de C.V.	6	20 años
• Telecomunicaciones del Golfo, S.A. de C.V.	7	20 años
• Portatel del Sureste, S.A. de C.V.	8	20 años
• SOS Telecomunicaciones, S.A. de C.V.	9	50 años
TELCEL		
• Radiomóvil Dipsa, S.A. de C.V.	1,2,3,4 5,6,7,8 9	20 años

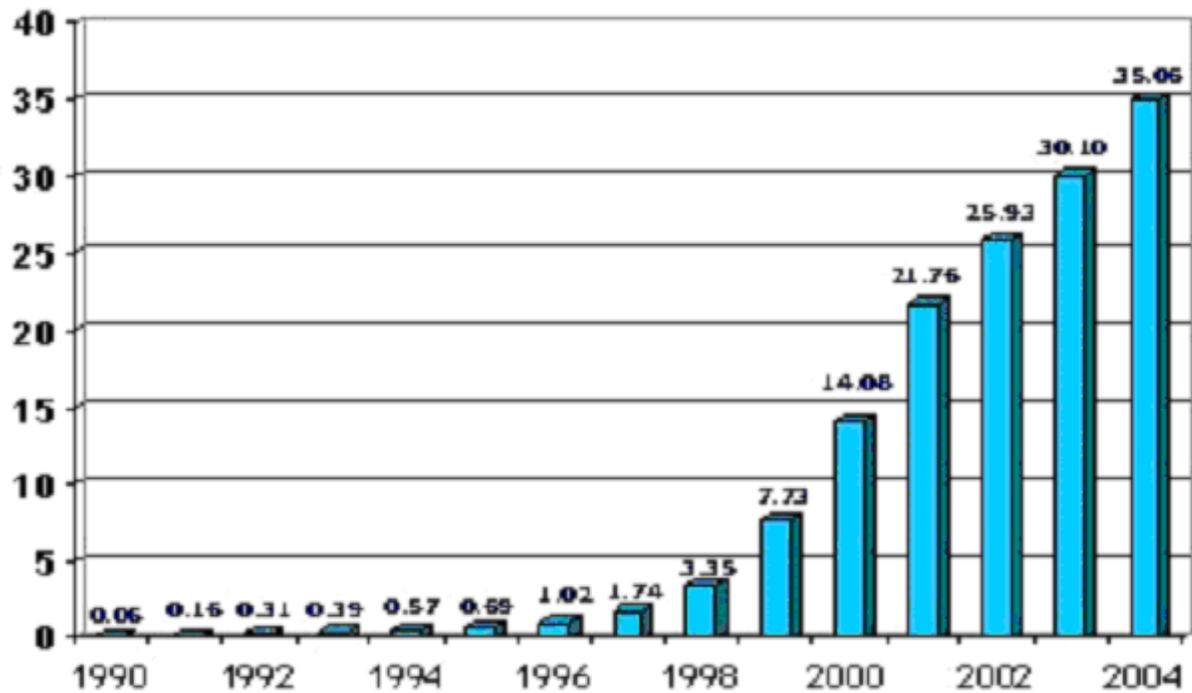


FIGURA 1.9 – MILLONES DE USUARIOS DE TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO

1.5 SISTEMA BÁSICO DE TELEFONÍA MÓVIL

En la siguiente figura se muestra un sistema básico de telefonía celular

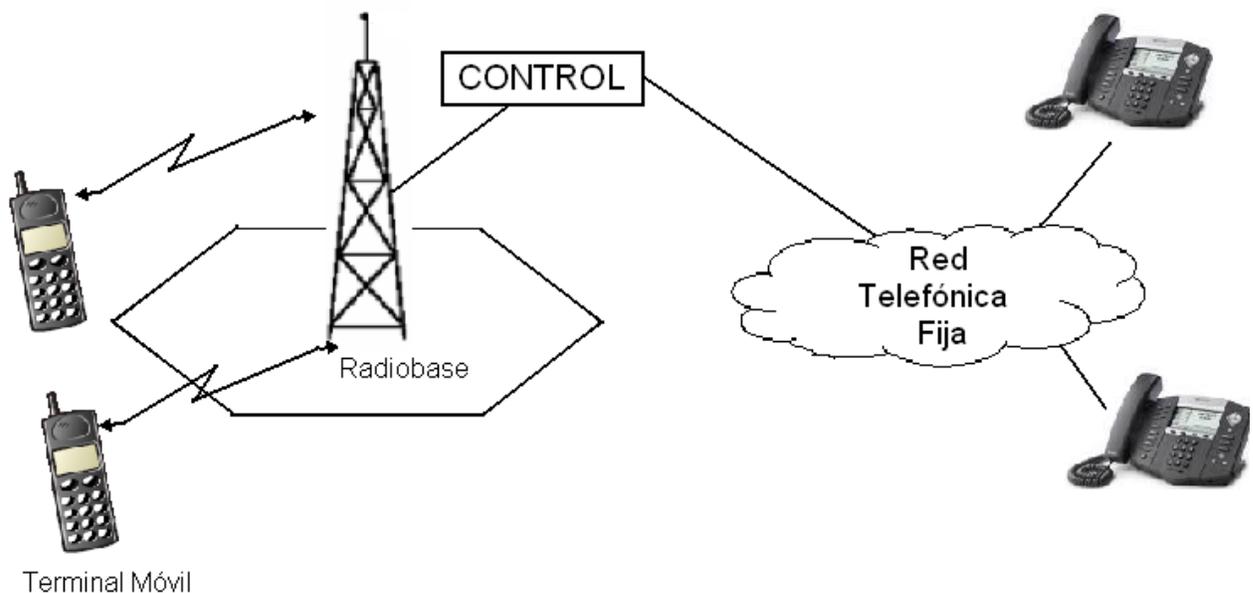


FIGURA 1.10 – SISTEMA BÁSICO DE TELEFONÍA MÓVIL

1.5.1 CELDA

Es el área geográfica a la cual una radio base brinda cobertura, teóricamente una celda tiene forma hexagonal. En grandes ciudades una celda puede tener alrededor de 0.8 kilómetros, mientras que en poblaciones rurales el área puede ser de hasta 10 kilómetros y en campo abierto hasta de 40 kilómetros. Existen varios tipos de celdas: macroceldas, microceldas, celdas selectivas o celdas sombrilla que se utilizan para zonas con escasa o densa población, para áreas específicas (como túneles) o para agrupar conjuntos de microceldas y aumentar la potencia. Cabe mencionar que un grupo de siete celdas se denomina cluster. La estación base de cada celda puede colocarse en el centro de la celda o en las esquinas de los hexágonos. En el primer caso, la BS utiliza antenas omnidireccionales para comunicarse con los móviles, se usa este tipo de antenas en ciudades pequeñas porque son más económicas, mientras que en el segundo se emplean antenas direccionales, con un ancho del lóbulo de radiación de 120° , que permiten cubrir parte de tres celdas adyacentes utilizadas en grandes ciudades porque permite tener diversidad y menor interferencia entre canales de la misma frecuencia.

1.5.2 REUSO DE FRECUENCIAS

La reutilización de frecuencia es una respuesta a la limitada disponibilidad del espectro. A cada celda se le asigna un número fijo de canales. Puesto que cada radio base cubre nominalmente solo una celda, el grupo de canales asignado a cada celda puede usarse en otra celda cuando están separados por una distancia adecuada. Esta técnica se conoce como reuso de frecuencias. Así, en lugar de cubrir el área total mediante un transmisor de suma potencia y situado a una gran elevación, se puede proporcionar el servicio mediante varios transmisores de potencia moderada distribuidos de manera adecuada en toda el área, como se muestra en la figura 1.11. Esto permite un gran incremento en la capacidad del sistema.

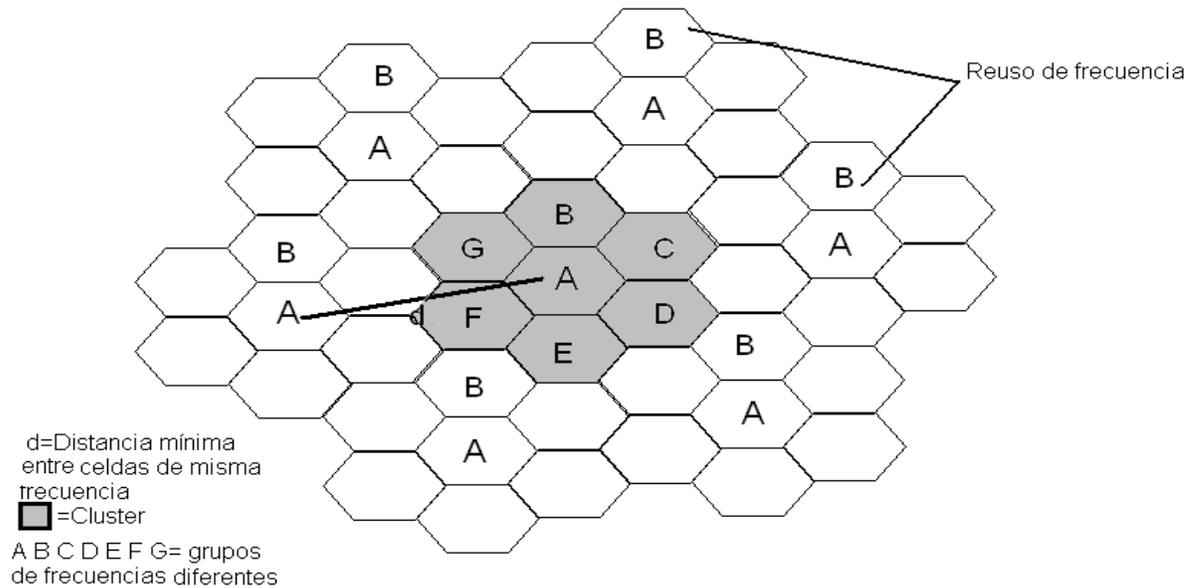


FIGURA 1.11 – ÁREA GEOGRÁFICA DE SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR

El reuso de frecuencias ocasiona que se pueda tener interferencia entre canales que usan la misma frecuencia, para controlar este efecto se requiere que celdas que utilizan la misma frecuencia se encuentren separadas a una determinada distancia, una mayor distancia entre celdas implica valores menores de interferencia entre canales que utilizan la misma frecuencia.

INTERFERENCIA

Ocurre interferencia cuando una señal cualquiera que tiene información altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor. La interferencia es el principal factor que limita el desarrollo de los sistemas celulares. Las fuentes de interferencias incluyen a otras estaciones móviles dentro de la misma celda, o cualquier sistema no celular que de forma inadvertida introduce energía dentro de la banda de frecuencia del sistema celular. Las interferencias en los canales de voz causan el "*cross-talk*", que consiste en que el abonado escucha interferencias de fondo debidas a una transmisión no deseada. Sobre los canales de control, las interferencias conducen a llamadas perdidas o bloqueadas debido a errores en la señalización digital.

Las interferencias son más fuertes en las áreas urbanas, debido al mayor ruido de radio frecuencia y al gran número de estaciones base y móviles. Los dos tipos principales de interferencias son las interferencias co-canal y las interferencias entre canales adyacentes. Aunque las señales de interferencia se generan frecuentemente dentro del sistema celular, son difíciles de controlar en la práctica (debido a los efectos de propagación aleatoria).

INTERFERENCIA DE CANAL ADYACENTE

Este tipo de interferencia es procedente de señales que son adyacentes en frecuencia a la señal deseada. Esta interferencia esta producida por la imperfección de los filtros en los receptores que permiten a las frecuencias cercanas colarse dentro de la banda pasante.

El problema puede ser serio si un usuario de un canal adyacente está transmitiendo en un rango muy próximo al receptor de un abonado, mientras que el receptor está intentando recibir una estación base sobre el canal deseado. Este tipo de interferencias se pueden minimizar filtrando cuidadosamente, y con una correcta asignación de frecuencias. Dado que cada celda maneja sólo un conjunto del total de canales, los canales a asignar en cada celda no deben estar próximos en frecuencias.

INTERFERENCIA CO-CANAL

La reutilización de frecuencias implica que en un área de cobertura dada haya varias celdas que usen el mismo conjunto de frecuencias. Estas celdas son llamadas celdas co-canales, y la interferencia entre las señales de estas celdas se le llama interferencia co-canal. Para reducir la interferencia co-canal las celdas co-canales deben estar físicamente separadas por una distancia mínima que proporcione el suficiente aislamiento debido a las pérdidas en la propagación. La distancia mínima entre un canal y otro es de 30KHz.

1.5.3 SUBDIVISIÓN DE CELDAS

Este proceso consiste en la subdivisión de una celda en varias celdas de menor tamaño como se muestra en la figura 1.12. La subdivisión de celdas se utiliza cuando el tráfico en una celda excede su capacidad, permite al sistema ajustarse al crecimiento de la densidad de tráfico espacial demandada, sin incrementar el espectro que se utiliza.

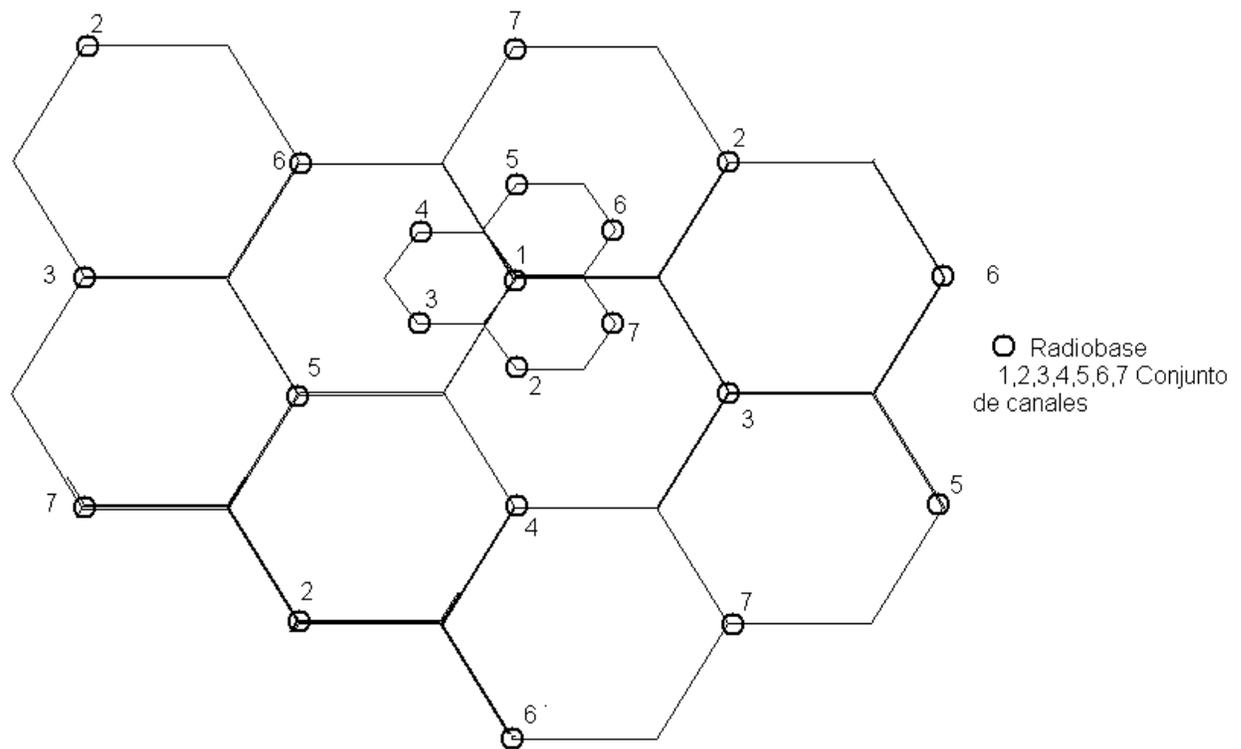


FIGURA 1.12 – SUBDIVISIÓN DE CELDAS

1.5.4 TRANSFERENCIA DE LLAMADA (*HAND-OFF*)

Es el proceso que se efectúa en un equipo celular al pasar de una celda a otra sin perder cobertura, el cual funciona de la siguiente manera: Mientras el equipo celular se encuentra encendido, envía señales a las antenas cercanas, estas las reciben y pueden determinar como la intensidad de estas disminuye cuando el equipo se aleja de una antena y aumenta cuando se acerca a otra.

El sistema de control determina cuando una celda le da servicio al equipo y cuando debe ser atendido por otra celda. Como las celdas vecinas operan en frecuencias distintas el cambio debe ser muy preciso para que no se interrumpa la comunicación.

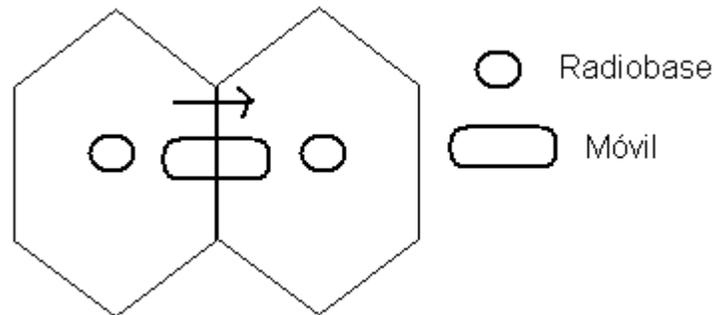


FIGURA 1.13 – PROCESO DE TRANSFERENCIA DE LLAMADA

1.5.5 ROAMING

Es la capacidad de hacer y recibir llamadas en redes móviles fuera del área de servicio local, siempre y cuando se cuente con las características necesarias para efectuar este proceso, como son: Que el área donde se encuentre el equipo celular cuente con el mismo estándar de telefonía del móvil, que el equipo sea tribanda o cuatribanda y que el operador del área de servicio local tenga acuerdos de *roaming* en esa nación.

1.6 UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO EN TELEFONÍA CELULAR

Muchos sistemas celulares actualmente en operación trabajan en la banda de los 900 MHz y poseen alrededor de 666 canales disponibles. El ancho de banda de un canal es de 30KHz. Sin embargo, las administraciones de telecomunicaciones en el mundo dan en concesión el servicio a dos sistemas por zona, con la mitad de canales del espectro (333 canales) a cada sistema, como se muestra en la tabla 1.5. De igual forma el espectro de telefonía celular se observa en la figura 1.14.

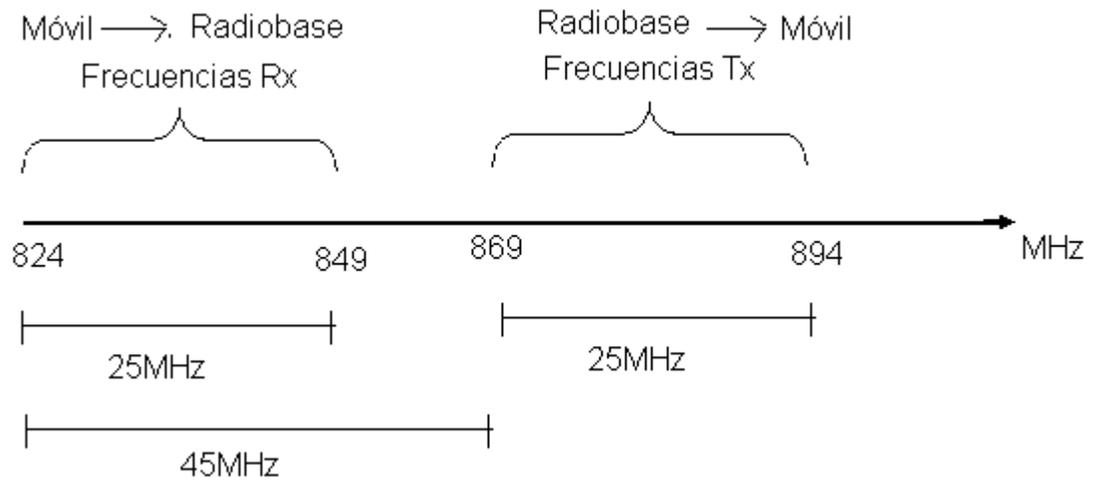


FIGURA 1.14 – ESPECTRO DE TELEFONÍA CELULAR

TABLA 1.5 – FRECUENCIAS DE TRANSMISIÓN DEL MÓVIL Y DE LA RADIOBASE

Banda	Móvil	Radiobase	Concesionario
A	824-835, 845-846.5	869-880, 890-891.5	El mismo al de la red pública
B	835-845, 846.5-849	880-890, 891.5-894	Distinto al de la red pública

CAPÍTULO 2

ESTÁNDAR GSM Y MODELOS DE PROPAGACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

Debido a la gran variedad de estándares existentes de telefonía celular, el presente capítulo establece las características del sistema digital GSM a utilizar y los tipos de modelos de propagación que nos proporcionen la mayor cobertura.

2.2 ESTÁNDAR GSM

GSM cuyo significado es Sistema Global para Comunicaciones Móviles (*Global System for Mobile Communications*), es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales. Funciona por medio de radiobases que se conectan a un centro de conmutación móvil que las enlaza a la red de telefonía pública convencional, de este modo se pueden comunicar teléfonos celulares y fijos. Es una tecnología de telefonía celular inventada en Europa, que luego de 13 años ha sido adoptada en mas de 210 países, lo que representa mas del 75% del mercado de la telefonía móvil a nivel mundial.

GSM ofrece servicios de telefonía, envío y recepción de mensajes de texto y multimedia (canciones, fotos, videos, juegos, tonos), transmisión y recepción de datos (correo electrónico e Internet), llamada en espera, identificación de llamadas, llamadas múltiples y, en algunos casos, televisión móvil en tiempo real. Su característica principal es que emplea una tarjeta SIM (modulo de identidad del usuario), la cual se puede usar en distintos teléfonos ya que almacena la información de la línea telefónica.

2.3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS CELULARES MUNDIALES

NMT

- Sistema de telefonía móvil analógico.
- Principales regiones ó países que lo usan: Escandinava, Europa Oriental y Sureste de Asia.
- Su fecha de introducción fue a principios de los 80's.
- Banda de frecuencia: 450MHz y 900MHz.
- Su característica principal es que tiene permitido el *roaming* entre países.
- Ancho de banda: 25KHz.

AMPS

- Sistema de telefonía móvil analógico.
- Principales regiones ó países que lo usan: Estados Unidos y partes de Sudamérica.
- Su fecha de introducción fue a mediados de los 80's.
- Banda de frecuencia: 800MHz.
- Su característica principal es para telefonía en masa.
- Ancho de banda: 30KHz.

TACS

- Sistema de telefonía móvil analógico.
- Principales regiones ó países que lo usan: Occidente, Sur de Europa y Asia.
- Su fecha de introducción fue a mediados de los 80's.
- Banda de frecuencia: 900MHz.
- Su característica principal, es un derivado del sistema AMPS.
- Ancho de banda: 25KHz.

D-AMPS

- Sistema de telefonía móvil digital.
- Principales regiones ó países que lo usan: Estados Unidos.
- Su fecha de introducción fue a mediados de 1990.
- Banda de frecuencia: 800MHz y 1900MHz.
- Su característica principal es que divide cada canal en tres intervalos TDMA.
- Ancho de banda: 10KHz velocidad máxima y 5KHz velocidad media.

PDC

- Sistema de telefonía móvil digital.
- Principales regiones ó países que lo usan: Japón.
- Su fecha de introducción fue a mediados de 1990.
- Banda de frecuencia: 800MHz y 1500MHz.
- Su característica principal es que hace un uso eficiente del ancho de banda.
- Ancho de banda: 8.33KHz.

CDMAone

- Sistema de telefonía móvil digital.
- Principales regiones ó países que lo usan: Estados Unidos y Asia Pacifico.
- Su fecha de introducción fue a finales de 1990.
- Banda de frecuencia: 800MHz y 1900MHz.
- Su característica principal es un sistema que solo utiliza CDMA.
- Ancho de banda: 8KHz ó 13KHz.

GSM 900

- Sistema de telefonía móvil digital.
- Principales regiones ó países que lo usan: Mundial.
- Su fecha de introducción fue 1992.
- Banda de frecuencia: 900MHz.
- Su característica es que proporciona servicio de comunicación personal.
- Ancho de banda: 25MHz.

GSM 1800

- Sistema de telefonía móvil digital.
- Principales regiones ó países que lo usan: Mundial.
- Su fecha de introducción fue 1994
- Banda de frecuencia: 1800MHz.
- Proporciona servicio de comunicación personal pero a frecuencias muy altas.
- Ancho de banda: 60MHz.

GSM 1900

- Sistema de telefonía móvil digital.
- Principales regiones ó países que lo usan: Estados Unidos, México y el resto de América Latina.
- Su fecha de introducción 1996.
- Banda de frecuencia: 1900MHz.
- Su característica principal es que proporciona servicio de comunicación personal a frecuencias muy altas.
- Ancho de banda: 60MHz.

2.4 HISTORIA DE GSM

- En 1982 el grupo especial móvil (GSM) fue creado por la conferencia europea de administración de correos y telecomunicaciones (CEPT) para diseñar una red europea de telecomunicaciones móviles.
- En 1984 el proyecto GSM fue aprobado por la comisión Europea.
- En 1985 Italia, Francia, el Reino Unido y el norte de Alemania firman un acuerdo de desarrollo para GSM.
- Para 1986 Estados Unidos de América encabeza el acuerdo en el que se reserva el uso de la banda de espectro de 900MHz para GSM.
- En 1987 los parámetros básicos del estándar GSM fueron acordados en febrero, el memorando de acuerdos GSM fue formado comprendiendo 15 miembros de 13 países que se comprometieron a desarrollar la conferencia

pan-europea digital de GSM que tiene base en Londres Inglaterra, después renombrada como el congreso mundial de GSM.

- Para 1988 la tecnología GSM es demostrada en la validación de ensayos.
- En 1989 el grupo especial móvil (transferido a un comité técnico ETSI) define el estándar GSM como estándar internacionalmente aceptado de telefonía celular digital.
- En 1990 el trabajo de adaptación GSM empieza por la banda DCS1800.
- En 1991 se realiza la primera llamada de GSM y esta fue hecha en Radiolinja, Finlandia.
- En 1992 en Telstra, Australia empieza la primera señal de operador no Europea de memorando de entendimiento (MoU) de GSM. También en 1992 se firma el primer acuerdo de *roaming* internacional entre Telecom Finlandia y Vodafone (Reino Unido). Se envía el primer SMS.
- Para 1993 había 32 redes de trabajo al aire en 18 países o territorios. La primera verdadera terminal portable de mano fue lanzada comercialmente.
- En 1994 la fase 2 de GSM que son datos/fax lanzan servicios al portador. Las membresías del MoU de GSM sobrepasan los 100 operadores. Además los suscriptores de GSM alcanzan el millón.
- En 1995 el MoU de GSM es registrado oficialmente como una asociación con 117 redes al aire. Los suscriptores globales de GSM exceden los 10 millones. Se celebra el congreso mundial de GSM en Madrid, España. Se forman grupos interestatales regionales (RIGs) para GSMA.
- En 1996 la primera red de trabajo de GSM en Rusia y China está en directo. Aparecen las tarjetas pre-pagadas GSM "SIM". Los miembros del MoU de GSM enfocan 200 operadores en cerca de 100 países. Hay 167 redes de trabajo en vivo en 94 países. El congreso mundial de GSM se mueve a Cannes, Francia. Los suscriptores de GSM alcanzan 50 millones.
- En 1997 15 redes de trabajo GSM están al aire en los EUA usando la banda de 1900MHz. Son lanzados los primeros teléfonos celulares de triple banda.
- Para 1998 los suscriptores de GSM a nivel mundial superan los 100 millones.

- En 1999 los ensayos WAB comienzan en Francia e Italia. Son colocados los contratos para sistemas GPRS.
- En el 2000 es lanzado el primer servicio comercial de GPRS. Comienza a subastarse la licencia para la 3G. Los primeros teléfonos celulares GPRS entran al mercado. Además 5 billones de mensajes SMS son enviados en un mes.
- Para el 2001 la primera red de trabajo de 3GSM va en directo. El congreso mundial de 3GSM es celebrado en Cannes, Francia. Ahora 50 billones de mensajes SMS son enviados en los primeros tres meses. Los suscriptores de GSM exceden los 500 millones. Es lanzado el primer teléfono móvil con pantalla de color.
- En 2002 GSM introduce la banda de 800MHz. El primer servicio de mensaje multimedia está en directo. El 95% de las naciones de todo el mundo tienen redes de trabajo GSM. En esta fecha 400 billones de mensajes SMS son enviados en un año. Es lanzado el primer teléfono móvil de cámara.
- En 2003 la primera red de trabajo de mayor evolución de datos para GSM (EDGE), esta en directo. GSM crea un nuevo director a nivel de junta. La asociación de miembros de GSM rompe la barrera a través de 200 países. Más de la mitad de un billón de teléfonos celulares son producidos en un año.
- Para el 2004 GSM supera el billón de clientes. Hay más de 50 redes de trabajo de 3GSM en directo. La asociación de lóbulos de GSM anuncia los datos relativos al mercado de empresa inalámbrica de inteligencia.
- En 2005 GSM supera 1.5 billones de clientes. También GSM domina más de 3/4 del mercado inalámbrico. La primera red de trabajo con tecnología de 3G de alta capacidad (HSDPA) está en directo. Se lanzan más de 100 redes de trabajo de 3GSM. Más de 120 modelos de teléfonos celulares de 3GSM son anunciados y lanzados a la venta. Más de un trillón de SMS enviados en un año.
- En 2006 GSM supera los 2 billones de clientes. El congreso mundial de 3GSM en Barcelona rompe récord de asistencia. Se realizan más de 120 comerciales de redes de trabajo de 3GSM en más de 50 países y casi 100 millones de

suscriptores. Aproximadamente 85 redes de trabajo HSDPA son lanzadas en comercial a finales de año. Hay 66 dispositivos HSDPA disponibles de 19 proveedores, incluyendo 32 modelos de teléfonos celulares. Los miembros de GSMA exceden las 900 empresas (incluyendo más de 700 operadores). Se vendieron más de 980 millones de teléfonos celulares a finales del año.

- Para 2007 se va en dirección a 2.5 billones de clientes GSM. Más redes de trabajo HSDPA son lanzadas e introducidas para acceso ascendente de paquetes a alta velocidad (HSUPA). Y por último GSMA celebra su 20 aniversario.

2.5 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR GSM

Las especificaciones y características del sistema GSM son:

- Estándar de comunicación móvil
- Transición entre primera y tercera generación
- GSM es un conjunto de 12 módulos individuales, que describen los servicios generales, funciones, interfaces y protocolos del sistema
- Cuenta con *Roaming* internacional
- GSM emplea cuatro bandas de frecuencias, las cuales están definidas en los siguientes rangos: 900MHz, 1800MHz, 850MHz y 1900MHz; esta última es la que usa Telcel y Movistar en nuestro país.
- Frecuencia Asignada: Subida (*Uplink*): 1850-1910MHz
Bajada (*Downlink*): 1930-1990MHz
- Longitud de onda: 16cm
- Separación entre canales GSM: 200 KHz
- Ancho de banda del sistema: 60MHz de bajada y 60MHz de subida dividido en 6 bandas de frecuencia.
- Separación entre canales (*duplex*): 80MHz
- Velocidad de transmisión: 270Kbps
- Técnica de modulación: GMSK (Modulación digital gaussiana)
- Técnica de acceso al medio: TDMA, con 8 intervalos de tiempo por trama

- Duración del intervalo de tiempo (*Time slot*): 576.92µs
- Área de cobertura de una celda: 0.8 - 40Km
- Potencia de salida: 1000Mw
- Número de celdas por racimo: 3
- Número de canales disponibles en cada celda: 41
- Reuso de frecuencias: 4/12 y 3/9 en algunas ocasiones

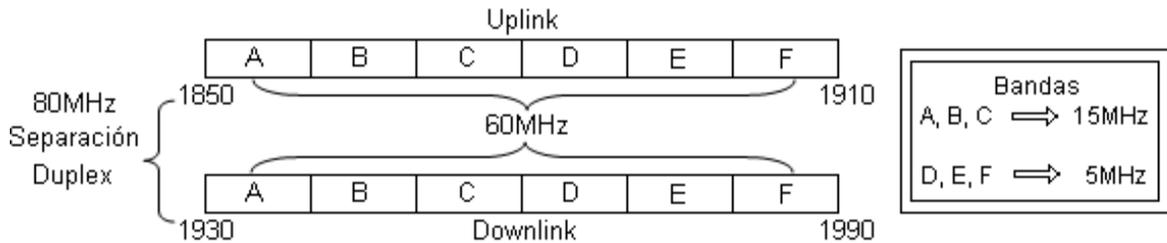


FIGURA 2.1 – FRECUENCIAS ASIGNADAS GSM

2.6 ARQUITECTURA DE LA RED

La arquitectura básica de la red GSM se ilustra en la figura 2.2. La red telefónica móvil se utiliza no sólo para proporcionar conectividad entre el usuario y la red telefónica pública, sino para ampliar la capacidad de *roaming* en células distantes o cuando el usuario se encuentra en sistemas pertenecientes a otro proveedor de servicio de telefonía móvil distinto. Los elementos principales de la red se describen a continuación:

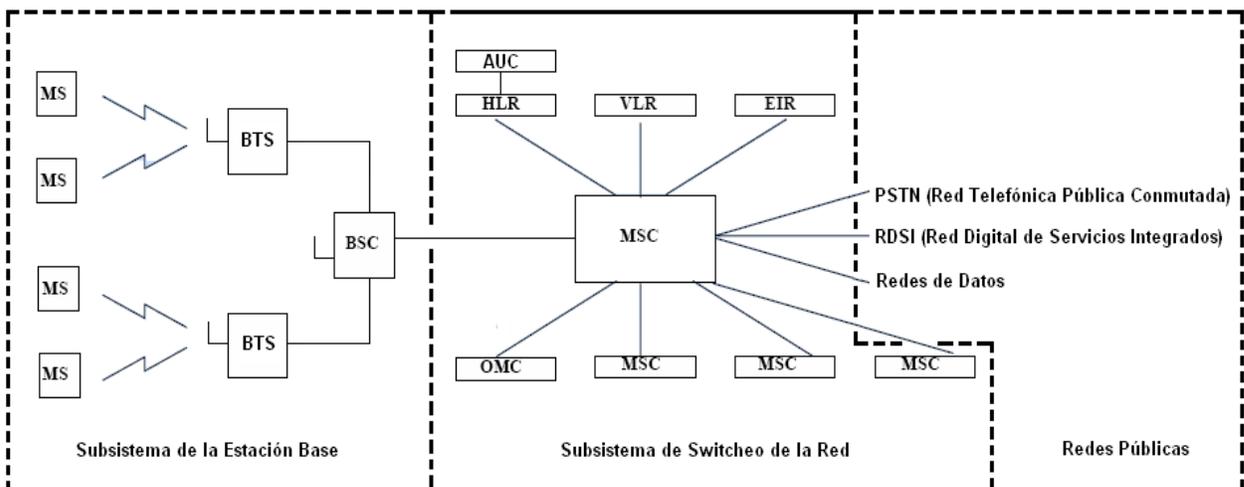


FIGURA 2.2. ARQUITECTURA GSM

Donde:

MS-Estación móvil (Equipo móvil) (*Mobile Station*)

BTS- Radiobase (*Base Transceiver Station*)

BSC- Controlador de radiobases (*Base Station Controller*)

MSC- Centro de conmutación de servicios móvil (*Mobile Switching Centre*)

HLR- Registro de usuarios locales (*Home Location Register*)

VLR- Registro de usuarios visitantes (*Visitor Location Register*)

AUC- Centro de autenticación de los usuarios (*Authentication Centre*)

EIR- Registro de identificación de equipos (*Equipment ID Register*)

OMC- Centro de mantenimiento y operaciones (*Operation and Maintenance Center*)

2.6.1 ESTACIÓN MÓVIL

Es la única parte del sistema con la cual el usuario tiene contacto, permite el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesado de señales y de radio frecuencia. Consiste de dos elementos:

- La terminal móvil (que es el teléfono, propiamente dicho)
- El módulo de identidad del usuario (SIM)

TERMINAL MÓVIL

Cada terminal móvil se encuentra plenamente identificada por medio de un número de identidad de equipo móvil internacional (IMEI), operan a 2W. Las características de una estación móvil pueden definirse como obligatorias y opcionales.

Las características obligatorias son: Desplegar el número llamado, función de tono dual multifrecuencia, señales de indicación de la llamada en progreso, indicador de ciudad, selección de ciudad, indicador de servicio, administración de la identidad de suscripción, soporte de los algoritmos de encriptación A5/1 y A5/2, indicador de mensajes cortos, capacidad de llamadas de emergencia.

Las características opcionales son: Función de encendido y apagado, teclado alfanumérico, interfaz DTE/DCE, interfaz ISDN, funciones de acceso internacional, selección de mensajes cortos de difusión enviados por la celda, indicador de cargos realizados, control de servicios suplementarios, marcación abreviada, marcado de números predeterminados, bloqueo de llamadas salientes, visualizar últimos números marcados.

MÓDULO DE IDENTIDAD DEL USUARIO “SIM” (*SUBSCRIBER IDENTITY MODULE*)

En GSM se utiliza una tarjeta de pequeño tamaño que contiene un microprocesador y una pequeña cantidad de memoria, asociada con la estación móvil, con propósitos de seguridad. En la tarjeta se alojan datos personales del abonado, tales como códigos de marcado rápido, tipo de servicios a los cuales está inscrito y código de identidad de usuario móvil internacional (IMSI). La tarjeta aloja un número de identificación personal (PIN) el cual da acceso a la red. La tarjeta SIM es la que proporciona movilidad a los usuarios. La tarjeta SIM almacena tres tipos de información relacionada con el suscriptor:

- Datos fijos antes de que la suscripción sea vendida, por ejemplo: IMSI, llave de autenticación y algoritmos de seguridad.
- Datos temporales de la red como el área de localización del usuario.
- Datos de servicio

Los datos almacenados en el SIM permiten que guarde información administrativa, información única de la identificación de la SIM y del propietario, información de los últimos números marcados e indicador de la duración de las llamadas, número de identificación usado por la red para identificar al suscriptor, identificación del área de localización, llave de cifrado y número de secuencia para la llave de cifrado, lenguaje de preferencia, número de identificación personal (PIN) y llave de bloqueo del PIN (PUK).

2.6.2 RADIOBASE

También llamada estación base, consiste en una torre y un pequeño edificio llamado Contenedor de Operación (*shelter*), donde se encuentra un equipo de radio, el cual utiliza enlaces de microondas para comunicarse con otras radiobases, que a su vez se conectan a las centrales telefónicas y celulares. Una radiobase contiene antenas que se utilizan para la comunicación bidireccional, la función principal de una radiobase es asegurar la cobertura del área geográfica de una célula, además de manejar el tráfico de señalización y de información de y hacia los móviles. Una BTS incluye todo el equipo e interfaces de radio y transmisión necesario para proporcionar servicio a una celda. Las funciones de una BTS son:

➤ Recursos de radio

La BTS proporciona el enlace hacia la MS sobre una interface de aire, esto incluye las siguientes tareas:

1) Configuración e inicio del sistema: La configuración del sitio se refiere a la carga del software desde la BSC y la configuración de parámetros para que el sistema pueda iniciar, esta configuración incluye: Frecuencias de transmisión y recepción, máxima potencia de salida y código de identificación de la radiobase (BSIC).

2) Transmisión de radio: Para poder transmitir diferentes frecuencias usando una misma antena se necesita un combinador. La potencia de transmisión se controla por la BSC.

3) Recepción de radio: Se refiere a la recepción a través de canales físicos de tráfico y a la detección de solicitudes de canal por parte de la MS.

➤ Extensión del área de cobertura

Es la capacidad de proporcionar servicio a una distancia mucho mayor a la que normalmente puede manejar una BTS en GSM cuyo límite es de 35 Km.

Esto es posible en áreas escasamente pobladas con muy pocas pérdidas en la transmisión, tales como desiertos, áreas costeras, entornos marítimos, etc. Esta extensión de cobertura puede abarcar hasta un radio de 121Km.

➤ Procesamiento de la señal

Una BTS es responsable del procesamiento de las señales antes de la transmisión y después de la recepción, esto incluye: Proceso de cifrado, codificación del canal e intercalado, ecualización adaptable, realización de diversidad y demodulación.

➤ Administración del enlace de señalización

La BTS administra el enlace de señalización entre la BSC y la MS aplicando los protocolos adecuados para que la información sea enviada.

➤ Sincronización

La información de tiempo se extrae de los enlaces PCM desde la BSC y es enviada al módulo de temporización dentro de la BTS. Esto permite a la radiobase sincronizarse con la frecuencia correcta y con el número de trama TDMA adecuada.

➤ Manejo de mantenimiento local

Una radio base permite llevar a cabo las funciones de operación y mantenimiento sin tener conexión con la BSC.

2.6.3 CONTROLADOR DE RADIOBASES

Es un controlador que gobierna una o más radiobases. Para tráfico proveniente de la radiobase actúa como concentrador, y para el tráfico que llega del *switch* (MSC) actúa como *router* hacia la radiobase.

Sus principales funciones son:

➤ Administración de los recursos de radio de la red

Se realiza la administración de tráfico donde se revisa el número de llamadas atendidas, la congestión, los niveles de tráfico en la celda, la cantidad de conexiones caídas, etc. También se realiza la administración de datos de información como la descripción de la celda, los datos de información del sistema y los datos de localización.

➤ Soporte multibanda

Permite a la red manejar equipos que operan en diferentes bandas de frecuencia (800, 1800 y 1900MHz).

➤ Administración de la transmisión en la red

Incluye los enlaces desde y hacia el MSC y las radiobases, se controla el manejo de la interface de transmisión. Administra, supervisa, prueba y localiza fallas en los enlaces hacia las radiobases. Configura, asigna y supervisa los circuitos de 64Kbits/s de los enlaces PCM. Realiza el enlace de señalización de alta velocidad.

➤ Administración de las BTS

En esta parte se realiza la configuración, asignación de frecuencias, mantenimiento e identificación del equipo, monitoreo y aviso de fallas presentadas en las radiobases, manejo de *software* y control de programas.

➤ Servicios de posicionamiento

Proporciona aplicaciones como ubicación de posición de flotillas, posicionamiento de llamadas de emergencia y acceso a servicios localizados.

Existen tres métodos de posicionamiento:

1) CGI+TA.- Usa la identidad de la celda para ubicar a los móviles, este cálculo lo realiza la red y tiene una precisión entre 300 y 500 metros.

2) GPS.-Se basa en la comunicación a base de satélites, su precisión es de 5 a 15 metros, el cálculo de ubicación lo realiza el móvil con su GPS interno.

3) E-OTD.- Se basa en la medición de arribos de las ráfagas de referencia a la BTS por medio de unidades de medición de localización (LMU). Se requiere un LMU por cada grupo de 3 a 5 radiobases. La ubicación del móvil puede ser calculada por la red o por el mismo móvil, la precisión es de 60 metros en áreas rurales y 200 metros en áreas urbanas.

➤ Operación y mantenimiento interno de la BSC

Realiza la administración, supervisión y prueba de *hardware* y *software* del controlador TX-RX, evita situaciones de sobrecarga del procesador volviendo a direccionar las llamadas que no puede manejar.

➤ Reselección de llamadas y *handover*

Esta característica permite a los usuarios con terminales que manejan multi tecnología de acceso (GSM y WCDMA) utilizar cualquiera de las dos redes cuando el móvil no está cursando llamada, al realizar el *handover* y para la reelección y actualización de celdas para servicios basados en conmutación de paquetes.

➤ Manejo de las conexiones del móvil:

Al inicio de la llamada:

1) *Paging*: La BSC envía mensajes de búsqueda a las radiobases dentro de un área de localización.

2) Señalización de inicio: Al iniciar una llamada, la conexión del móvil es transferida a un canal SDCCH localizado en la BSC.

3) Asignación del canal de tráfico: Después de la asignación del canal de señalización, si el proceso de llamada continua se asigna el canal de tráfico TCH.

2.6.4 CENTRO DE CONMUTACIÓN DE SERVICIOS MÓVIL

El MSC también llamado *switch* conecta la red de telefonía móvil con la red de telefonía pública conmutada, y satisface los requerimientos específicos de movilidad para la transferencia entre celdas, y el mantenimiento de suscriptores que pertenecen a redes externas, realiza la conmutación y enrutamiento de llamadas, la tarificación, la conmutación con el HLR y el VLR.

2.6.5 REGISTRO DE USUARIOS LOCALES

Es una base de datos que almacena los datos del suscriptor. La red celular puede poseer varios de estos registros dependiendo de la capacidad del equipo, de la rentabilidad, y seguridad de operaciones del operador de la red.

2.6.6 REGISTRO DE USUARIOS VISITANTES

Es la base de datos asociada con el *switch*. Su propósito es almacenar la información temporalmente de los suscriptores móviles que se encuentran en la red.

Este monitoreo es importante porque, en cada momento la red debe saber el lugar de cada suscriptor, es decir, en qué celda se encuentra situado. En el VLR el suscriptor está descrito por una identificación de localización particular.

2.6.7 CENTRO DE AUTENTICACIÓN DE LOS USUARIOS

Es una base de datos que contiene información confidencial. Como consecuencia, solo personal autorizado puede ingresar a ella. Antes de que cualquier persona pueda tener acceso a la base de datos, debe incorporar una contraseña.

Además los datos almacenados son registrados en la memoria física de forma cifrada. El centro de la autenticación controla los derechos del uso de los servicios de red llevados a cabo por los suscriptores.

2.6.8 REGISTRO DE IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS

Es una base de datos en la que existe información sobre el estado de los teléfonos móviles. Dentro de esta base de datos existen tres listas de IMEI: la blanca, la gris y la negra. La lista blanca identifica a los equipos que están autorizados de recibir y realizar llamadas. Esta lista debe siempre existir en el EIR, aún cuando sea la única; las otras dos son opcionales. La lista gris identifica a los equipos que pueden hacer y recibir llamadas, pero que pueden ser monitoreados para descubrir la identidad del usuario utilizando la información almacenada en el chip SIM. La lista negra identifica los equipos a los que se les impide conectarse a la red. Por lo tanto, no pueden realizar ni recibir llamadas.

2.6.9 CENTRO DE MANTENIMIENTO Y OPERACIONES

Es el centro de control de operación y configuración de la red. Incluye la administración del suscriptor y la gerencia técnica del equipo. La dirección de la red administrativa y comercial implica la disposición, configuración y facturación, además de dar de baja el servicio. Gran parte de la gerencia de la configuración requiere la interacción con la base de datos del HLR.

2.7 COMPONENTES DE LA BTS

2.7.1 DUPLEXOR

Los duplexores son dispositivos que permiten el uso común de una antena para simultáneamente transmitir y recibir. Algunas veces, debido a las restricciones de espacio en mástiles ó equipos de almacenamiento, una sola antena es más usada en un sistema *transceiver* (transmisor-receptor).

Un duplexor esta compuesto básicamente por dos filtros pasa-banda correspondientes a las sub-bandas de transmisión y recepción. La Fig. 2.3 representa un duplexor, muestra las características selectivas de los filtros de división de banda para un sistema de radio VHL. Cuando un duplexor es instalado, el receptor es aislado de las frecuencias de transmisión, y el ruido del transmisor es atenuado por las frecuencias recibidas. También es posible usar los duplexores como banda de rechazo. Por ejemplo la tabla 2.1 muestra las principales características de la banda de paso y de rechazo de los duplexores de banda ancha VHF.

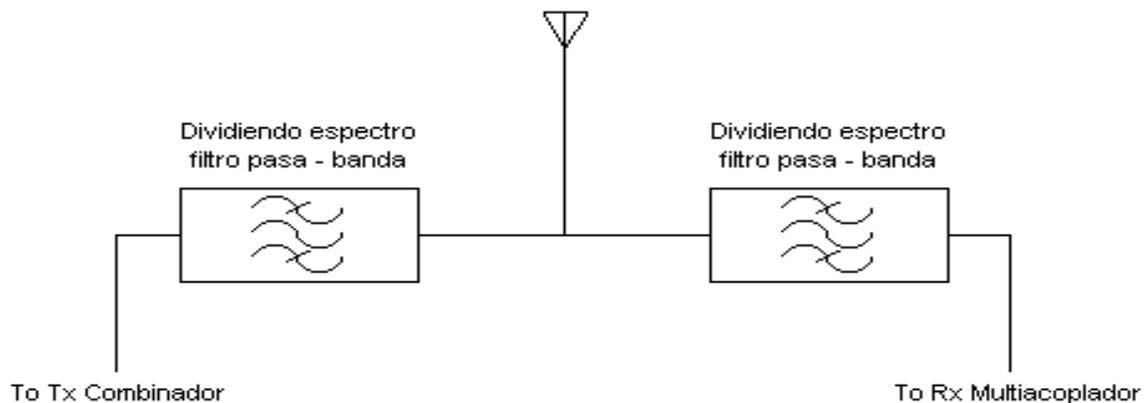


FIGURA 2.3. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN DUPLEXOR

Sus características son:

- Proporciona la interface con la BSC.
- Maneja los recursos de los enlaces y conecta los intervalos de tiempo y de tráfico que provienen de la BSC a las unidades de transmisión y recepción.
- Controla la señalización hacia la BSC y la concentración de la información.
- Extrae la información de sincronización desde el enlace y genera el temporizador de referencia de la BTS.
- Contiene una base de datos que almacena información a cerca del *hardware*.

TABLA 2.1 - CARACTERÍSTICAS DEL DUPLEXOR VHF

Parámetro	Banda de paso	Banda de rechazo
Rango de frecuencia	Tx 165 MHz – 168.2 MHz	140 – 174 MHz
	Rx 169.9 MHz – 173 MHz	
Ancho de banda	3.2 MHz	Tx 1.5 MHz
		Rx 1.5 MHz
Pérdida de inserción	Tx 1.0 dB	1.3 dB
	Rx 1.7 dB	
Impedancia	50 Ω de entrada y salida	50 Ω de entrada y salida
V.S.W.R.	Mejor que 1.2:1	Mejor que 1.2:1
Aislamiento Tx/Rx/Tx	>40 dB en ambos extremos de la banda	>85 dB
	>70 dB para una separación de 4.5 MHz	
Rango de temperatura	-20 ⁰ a +55 ⁰	-20 ⁰ a +55 ⁰
Conectores	Tipo N	Tipo N
Máxima energía	400 W (CW)	50 W (CW)
Dimensiones	400 X 447 X 176 mm	220 X 200 X 25 mm.
Peso	16 Kg.	1.2 Kg.

2.7.2 TRANSCEIVER (UNIDAD DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN)

Un *transceiver* es un dispositivo que contiene un transmisor y un receptor que están combinados y compartidos en una sola unidad ó circuito común. Este transmite y recibe señales de radio frecuencia vía inalámbrica.

El teléfono celular contiene el transmisor y el receptor para el audio. El conjunto de la unidad es coloquialmente denominado un "receptor." Con un teléfono móvil o de otro tipo de radiotelefonía, la unidad entera es un transmisor-receptor, tanto de audio y radio. Un ejemplo de un transceptor sería *un walkie-talkie*.

Algunas de sus características son:

- Una unidad de transmisión-recepción incluye todas las funciones necesarias para manejar una portadora “*carrier*” (8 intervalos de tiempo).
- Es responsable de la transmisión y recepción de la información, amplificación de potencia y procesamiento de la señal.
- Una RBS puede contener hasta 12 unidades de transmisión-recepción.

2.7.3 COMBINADOR

Los combinadores permiten varios transmisores con frecuencias relativamente cercanas para estar conectados a una antena común, para producir el aislamiento requerido asegurándose de que su acoplador mutuo sea muy pequeño, esto significa que la pérdida de acoplamiento para cada par de transmisores debe ser tan alta como sea posible. Un combinador es un dispositivo unidireccional que transfiere selectivamente energía de cada transmisor a una antena común, así reduce la inyección de energía en otros transmisores.

Dentro de los combinadores existen dos parámetros que son importantes mencionar que son: La unión híbrida, que es la configuración típica que usa un combinador y que permite la conexión de dos transmisores a una salida común del puerto con un alto aislamiento entre ellos, y las cavidades cuyo papel principal es hacer que la señal de RF que viene del transmisor seleccionado pase a través de su cavidad correspondiente sufriendo pérdidas pequeñas mientras que las señales de otros transmisores presenten el efecto contrario, es decir, altas pérdidas.

Algunas de sus características son:

- Es la interfaz entre las unidades de transmisión y recepción y el sistema de antenas.
- Su tarea es combinar las señales desde varios TX – RX para ser transmitidas y distribuir las señales recibidas.

- Todas las señales son filtradas antes de la transmisión y después de la recepción usando filtros pasa–banda.
- Los combinadores con filtros *duplex* permiten transmitir y recibir usando la misma antena.

**TABLA 2.2- DESEMPEÑO DE DIFERENTES COMBINADORES PARA 2, 3 Y 4 TX.
(* INDEPENDIENTEMENTE DEL NÚMERO DE TRANSMISORES**

Banda alta VHF: 150 MHz			
Ganancia de antena: 7 dBd			
Potencia del transmisor: 100W 20-dBW			
Banda portadora: 50 kHz			
Tipo de combinador	2 Tx	3 Tx	4 Tx
Unión híbrida: Pérdida por inserción (dB)	4	7.5	7.5
e.r.p.(W) (dBW)	316.2 (25)	141.2 (21.5)	141.2 (21.5)
Cavidad: Pérdida por inserción (dB)	6 (*)		
e.r.p.(W) (dBW)	199.5 (23) (*)		

2.7.4 MULTIACOPLADOR DE ANTENA O DIVISOR

El multiacoplador de antena ó divisor permite la conexión de varios receptores a una antena común. Este está compuesto por tres elementos básicos:

- Filtro pasa – banda.
- Preamplificador.
- Divisor de energía.

La figura 2.4 muestra un diagrama a bloques de un multiacoplador. El filtro pasa – banda preselecciona las frecuencias para ser recibidas, rechazando las que están fuera de la banda deseada.

El preamplificador compensa las pérdidas del alimentador de la antena y de los otros elementos del multiacoplador.

El divisor de energía entrega la energía de RF igual para cada receptor.

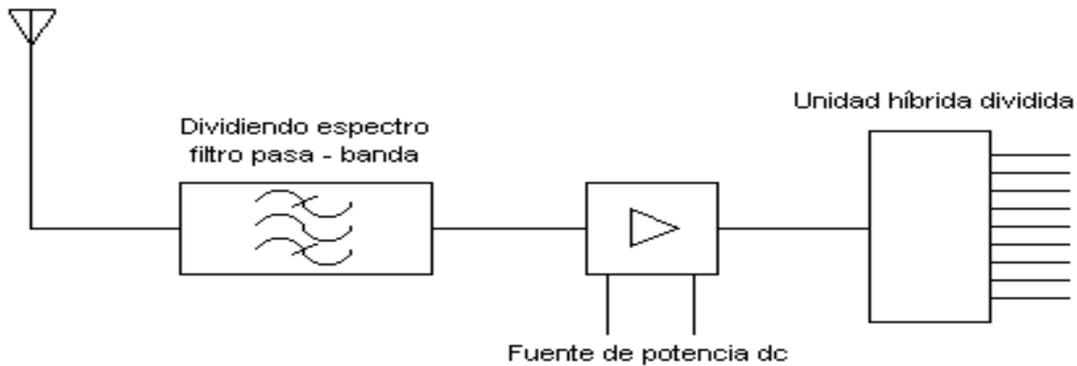


FIGURA 2.4 DIAGRAMA A BLOQUES DE UN MULTIACOPLADOR

La figura 2.4 también representa la respuesta en frecuencia de un multiacoplador típico. El multiacoplador cuenta con dos unidades importantes que son:

- Unidad de alimentación de potencia (PSU)

Rectifica el voltaje de alimentación a +24 VDC necesaria para la operación de la BTS.

- Unidad de control de energía (ECU)

Controla y supervisa el equipo de potencia y regula las condiciones ambientales dentro del gabinete.

A continuación, la tabla 2.3 resume algunas características típicas de un multiacoplador VHF.

TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE UN MULTIACOPLADOR

Rango de frecuencia	169.0 – 173.0 MHz
Ancho de banda	3.2 MHz
Impedancia	50 Ω
V.S.W.R.	Mejor que 1.2:1
Ganancia	1 – 12 dB preseleccionables
Figura de ruido	4.5 dB
2 tonos de intermodulación	-60 dB para -20 entradas del dBm
Máximo nivel de entrada	+1 dBm
Rango de temperatura	-20 grados a +50 grados Celsius
Conectores	Hembra – N
Energía	110 V, 200 – 260 V una fase, 40 – 60 Hz y 24 Vdc
Aislamiento de RX a RX	>20 dB
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	> 150,000 horas
Dimensiones	483 X 250 X 88 mm.
Peso	6.5 Kg.

2.7.5 ALIMENTADOR (*FEEDER*)

Las unidades de transmisión-recepción están conectadas a las antenas por medio de alimentadores. Los alimentadores son un cable coaxial de baja pérdida con una impedancia de 50 Ω . Estos cables deben soportar humedad, por lo tanto algunas veces son presurizados. Los cables deben tener cierta capacidad de flexión o doblado (específicamente un radio mínimo de flexión) para que ellos descansen del contenedor del equipo vía el mástil del sistema de antena. Dos tipos de cable pueden ser encontrados en instalaciones de comunicaciones móviles.

- Cable coaxial semirígido (aluminio ó cobre).
- Cable coaxial flexible.

Como la distancia de la cubierta de la unidad de transmisión-recepción a la antena es larga y tiene acoplamiento flexible (trenzado) los cables coaxiales no pueden usarse debido a su alta atenuación y grado de energía limitada. Estos cables son usados principalmente en móviles. Los cables semirígidos tienen mayor tamaño y menor atenuación (tabla 2.4), y son usados en radiobases y repetidores. Tienen un conductor acanalado externo y usan aire como dieléctrico con hélice de polietileno para mantener la separación entre el conductor interno y externo.

Alternativamente, el dieléctrico puede tener una espuma sólida. La espuma de los cables dieléctricos es usada para moderar longitudes, y el aire es usado para conexiones largas. Para ligarse al cable principal del equipo de la antena se hace por medio de pedazos cortos de cable flexible a causa de su mayor capacidad de flexión o dobles. La figura 2.5 muestra una configuración típica de una estación base, los diversos componentes del sistema de la antena y los accesorios que pueden ser considerados.

TABLA 2.4 CARACTERÍSTICAS DEL ALIMENTADOR

		Atenuación (dB/100m).			Significa energía (kW) por cada 40⁰ ambientales.		
Tipo	Diámetro	30 MHz	400 MHz	1000 MHz	30 MHz	400 MHz	1000 MHz
Espuma semirígida de cobre	1/2''	1.21	4.59	7.54	5.0	1.3	0.80
	7/8''	0.65	2.62	4.49	10.5	2.8	1.7
	1-1/4''	0.49	2.0	3.44	18	4.0	2.4
	1-5/8''	0.39	1.57	2.85	23	5.2	3.0
Aire semirígido de cobre	1/2''	1.49	5.64	9.15	3.7	0.98	0.61
	7/8''	0.66	2.56	4.23	13	3.3	2.1
	1-5/8''	0.36	1.36	2.29	29	7.8	4.9
	3''	0.24	0.89	1.43	70	17	9.15

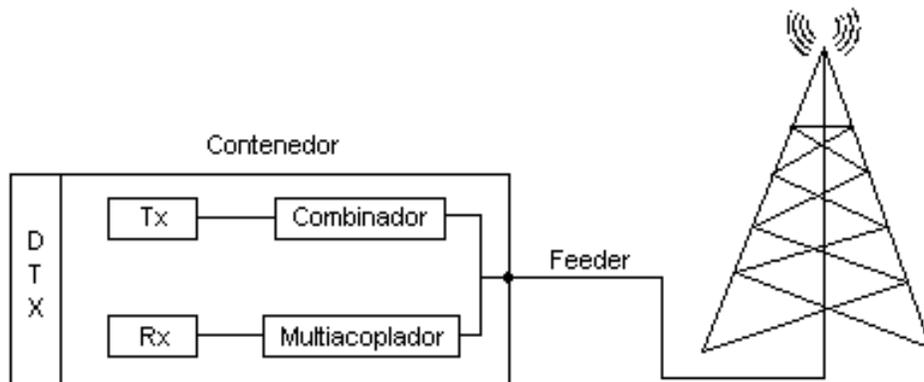


FIGURA 2.5 CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UNA RADIOBASE

2.7 MODULACIÓN DIGITAL EN GSM

Debido a las características del canal de comunicación, el sistema de modulación usado en GSM debe tener una alta eficiencia espectral y presentar una fuerte resistencia frente a los efectos desfavorables que introduce el canal de radio. El grupo de esquemas de modulación con fase continua y envolvente constante se usa mucho en sistemas con atenuación variable debido a su robustez frente a las interferencias y la atenuación, mientras mantiene una buena eficiencia espectral. Cuanto más lentos y suaves sean los cambios en la fase, mejor es la eficiencia espectral. El sistema de modulación con estas características es "Modulación digital Gaussiana" (*Gaussian Minimum Shift Keyng*) GMSK. Se deriva de la "Modulación digital Mínima" (*Minimum Shift Keyng*) MSK, en el que los cambios de fase entre bits contiguos son lineales por trozos, por lo que se tienen cambios instantáneos en la frecuencia. Esto ensancha el espectro, por lo que se usa GMSK en el que se suaviza la fase con un filtro Gaussiano.

2.8.1 MODULACIÓN MSK

MSK es un tipo de modulación derivada de FSK, con fase continua. MSK significa la mínima separación en frecuencia que permite una detección ortogonal. MSK es una modulación espectralmente eficiente.

Posee propiedades como envolvente constante, eficiencia espectral, buena respuesta ante los errores de bits, y capacidad de sincronización. La figura 2.6 muestra un modulador y demodulador típico MSK. Multiplicando una señal portadora por $\cos[\pi t/2T]$, se producen dos señales coherentes en fase a las frecuencias $f_c+1/4T$ y $f_c-1/4T$. Estas dos señales FSK se separan usando dos filtros paso banda estrechos y se combinan apropiadamente para formar las dos señales en fase y en cuadratura, $x(t)$ e $y(t)$ respectivamente. Estas portadoras se multiplican por las cadenas de bits impares y pares, $m_I(t)$ y $m_Q(t)$ para producir la señal modulada MSK.

En el receptor (demodulador) de la figura, la señal recibida (en ausencia de ruido e interferencias) se multiplica por las portadoras respectivas en fase y en cuadratura. La salida de los multiplicadores se integra durante dos periodos de bit y se introduce en un circuito de decisión al final de estos dos períodos. Basado en el nivel de la señal a la salida del multiplicador, el dispositivo de decisión decide si la señal es 1 ó 0. Las cadenas de datos de salida se corresponden con las señales $m_I(t)$ y $m_Q(t)$, que se combinan para obtener la señal demodulada.

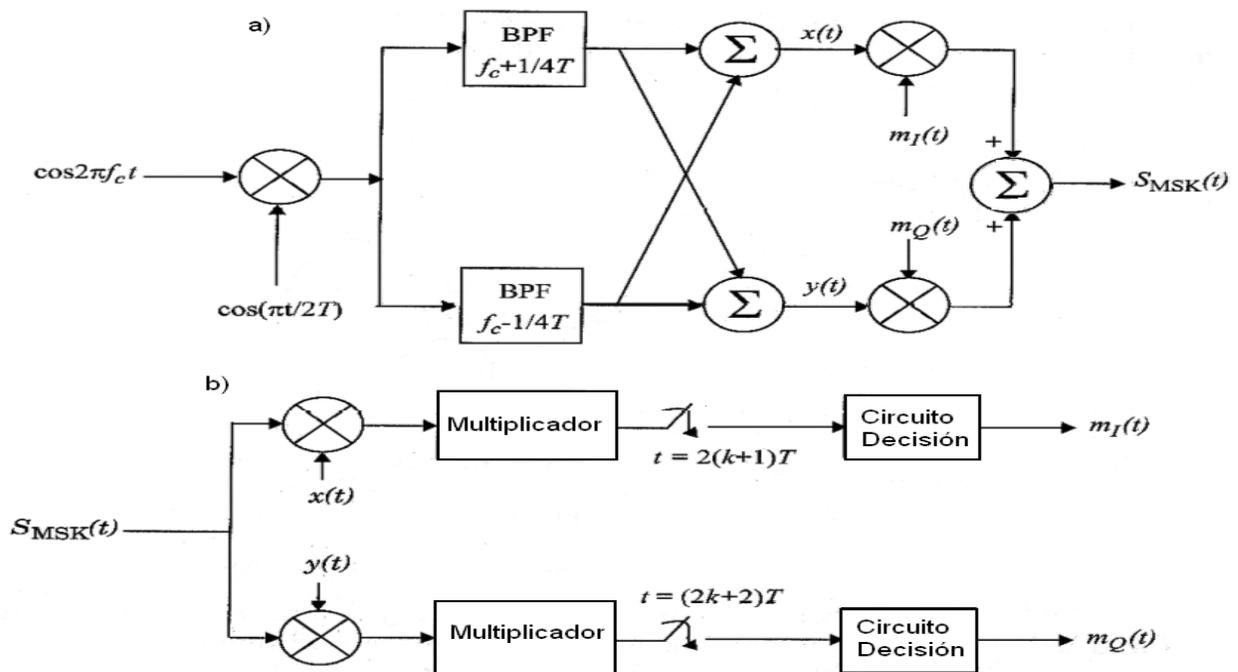


FIGURA 2.6 A) MODULADOR MSK, B) DEMODULADOR MSK

2.8.2 MODULACIÓN GMSK

GMSK es un sistema de modulación binaria simple derivado de MSK. En GMSK, los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK se reducen pasando los datos modulantes a través de un filtro Gaussiano de premodulación. El filtro gaussiano aplanar la trayectoria de fase de la señal MSK y por lo tanto, estabiliza las variaciones de la frecuencia instantánea a través del tiempo. Esto tiene el efecto de reducir considerablemente los niveles de los lóbulos laterales en el espectro transmitido.

El filtrado convierte cada dato modulante que ocupa en banda base un período de tiempo T , en una respuesta donde cada símbolo ocupa varios períodos. Sin embargo, dado que esta conformación de pulsos no cambia el modelo de la trayectoria de la fase, GMSK se puede detectar coherentemente como una señal MSK, o no coherentemente como una señal simple FSK. GMSK es un sistema de modulación muy atractivo por su excelente eficiencia de potencia y espectral. El filtro de premodulación introduce interferencia Intersimbólica en la señal transmitida, pero esta degradación no es grave si el parámetro BT del filtro es mayor de 0.5. Debido que en GSM se tiene que BT es 0.3, se tienen algunos problemas de interferencia intersimbólica y es por ello que la señal no es totalmente de envolvente constante.

La manera más simple de generar una señal GMSK es pasar una cadena de mensajes a través de un filtro gaussiano paso baja, seguido de un modulador de FM. Esta técnica de modulación se muestra en la figura 2.7 y se usa actualmente en una gran cantidad de implementaciones analógicas y digitales, entre ellas en GSM.



FIGURA 2.7 DIAGRAMA A BLOQUES DE UN TRANSMISOR GMSK USANDO GENERACIÓN DIRECTA DE FM

2.9 PROCESO DE TRANSMISIÓN DEL MÓVIL

En la siguiente figura se muestra el proceso que realiza el móvil para efectuar la transmisión.

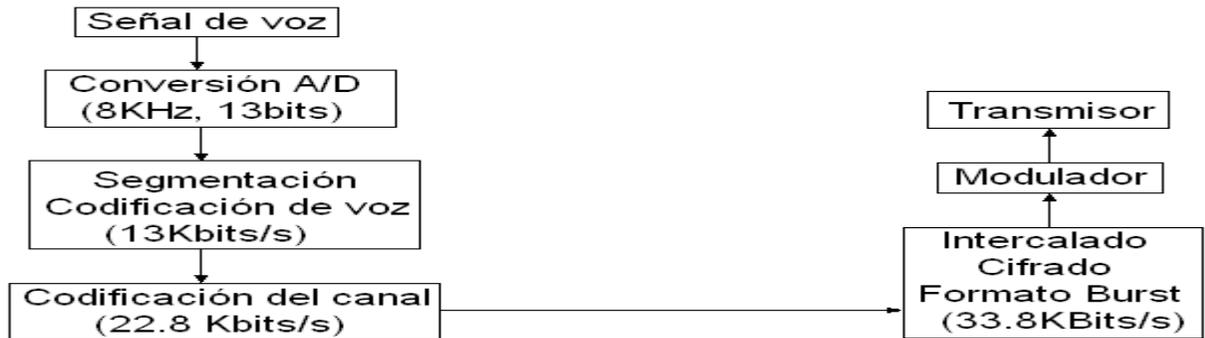


FIGURA 2.8 PROCESO DE TRANSMISIÓN DEL MÓVIL

2.9.1 SEÑAL DE VOZ

La señal de voz es analógica y se encuentra en el rango de 300-3400Hz. Como frecuencia máxima se toma el valor de la señal de voz de 4KHz.

2.9.2 CONVERSIÓN A/D (8KHz, 13bits)

MUESTREO

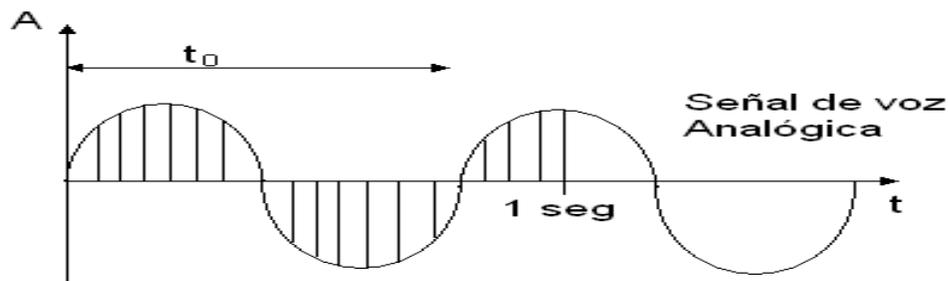


FIGURA 2.9 MUESTREO DE LA SEÑAL DE VOZ

NYQUITS	$f_s = 2f_{max}$	Ecuación 2.1
	$f_s = 2(4KHz)$	
	$f_s = 8000$ muestras /seg	

CUANTIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN

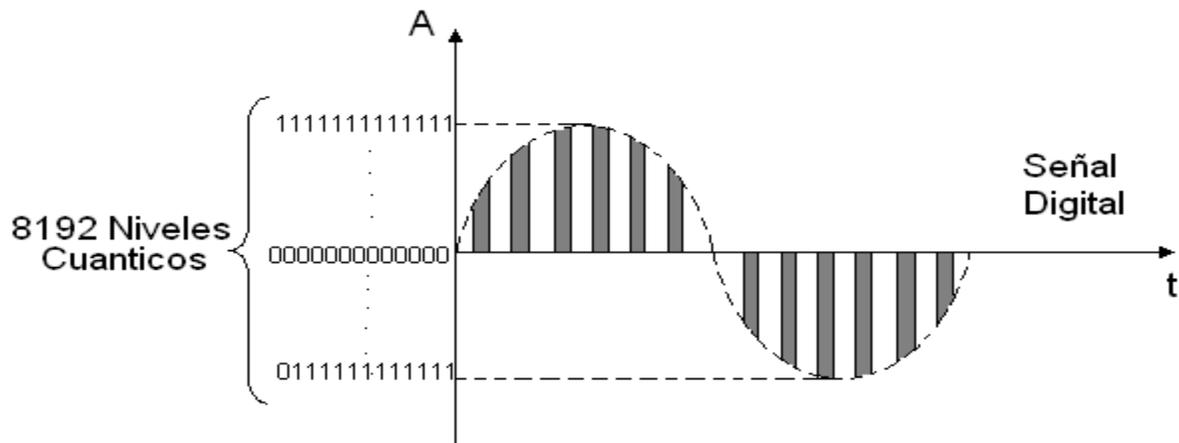


FIGURA 2.10 CUANTIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE LA SEÑAL DE VOZ

GSM reproduce 8192 muestras a las cuales les asigna 8192 niveles cuánticos. A cada nivel cuántico se le asigna un código, se necesitan 13 bits para cada nivel cuántico con diferente valor cada uno.

$$8000\text{muestras/seg}(13\text{bits})=104\text{Kbits/seg}$$

Conversión de una señal analógica de 4KHz a una digital de 104Kbits/seg

2.9.3 SEGMENTACIÓN (CODIFICACIÓN DE VOZ 13Kbits/seg)

Un canal GSM requiere de 200KHz y consta de 8 usuarios.

$$1 \text{ usuario} = 104\text{Kbits/seg}$$

$$8 \text{ usuarios} = 8 \text{ usuarios} \times 104\text{Kbits/seg} = 832\text{Kbits/seg}$$

Por cada Hz se transmite 1 bit, entonces se necesitan 832KHz para un canal y sólo se tienen 200KHz, para resolver este problema se realiza la segmentación. La información de voz se segmenta en trozos de 20mseg. Por cada 20mseg de voz se toman 50 muestras y se codifican con 260 bits, por lo tanto:

$$1 \text{ usuario} = 260\text{bits} \times 50\text{muestras} = 13\text{Kbits/seg}$$

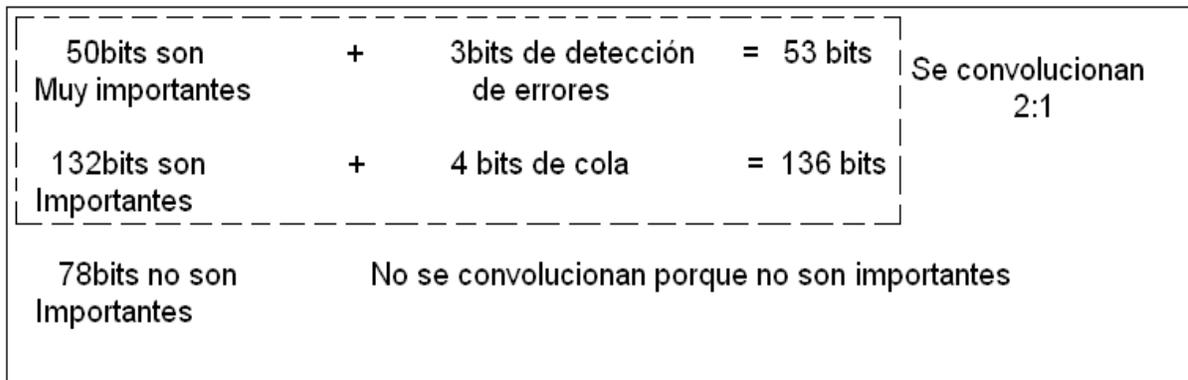
$$8 \text{ usuarios} = 8 \text{ usuarios} \times 13\text{Kbits/seg} = 104\text{Kbits/seg}$$

2.9.4 CODIFICACIÓN DEL CANAL

La codificación del canal consiste:

Codificador }
 Entran 260bits } Por cada 20mseg
 Salen 456bits } de voz se tienen
 456bits en el canal.

De los 260 bits:



$$53+136=189 \times 2 = 378\text{bits}+78\text{bits}=456 \text{ bits}$$

FIGURA 2.11 CODIFICACIÓN DEL CANAL DE VOZ

2.9.5 INTERCALAR

Un segmento de 20mseg de voz está definido por 456bits. Estos 456bits se dividen en 8 bloques de 57bits cada uno

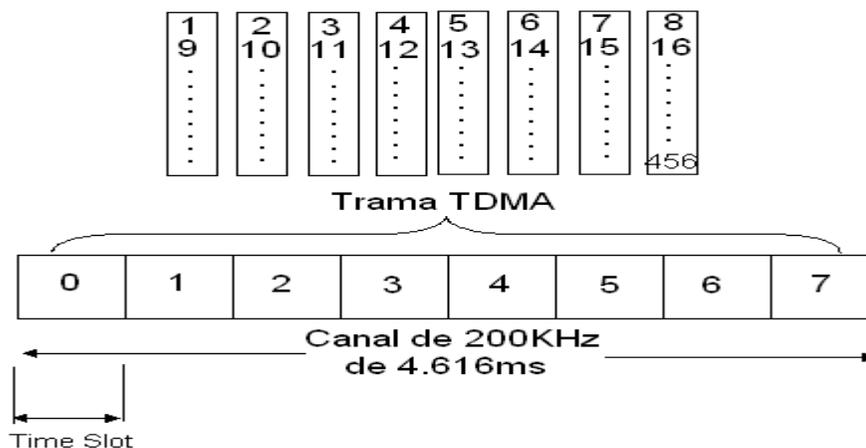


FIGURA 2.12 TRAMA TDMA

RÁFAGA (*burst*): Información que se transmite en un (intervalo de tiempo) en una llamada, contiene 148bits

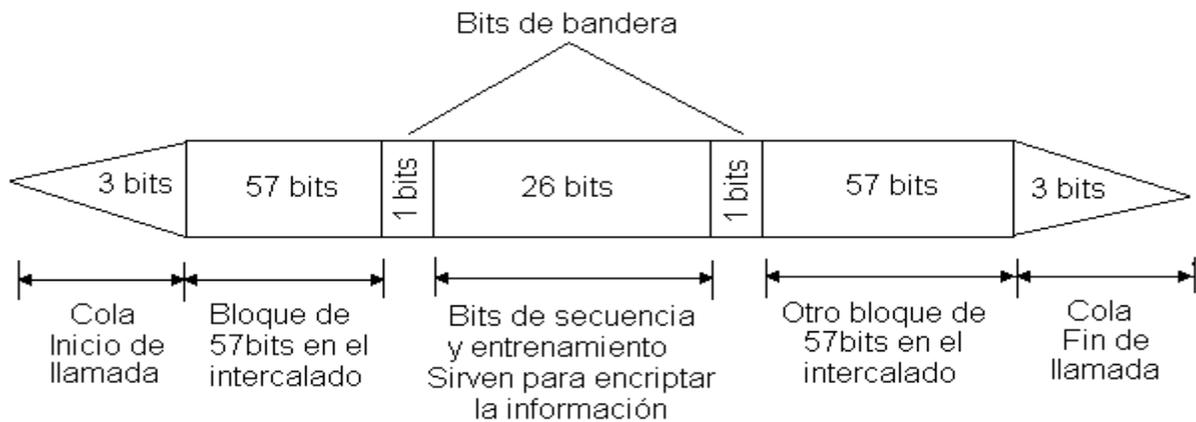


FIGURA 2.13 FORMATO RÁFAGA

Cada intervalo de tiempo manda 4 ráfagas:

$$2\text{bloques de información por cada ráfaga} \times 4 \text{ ráfagas} = 8\text{bloques}$$

Si se pierde 1 ráfaga se pierden 2 bloques, el 25% de la llamada. Para evitar esto se realiza el intercalado que consiste en que en un ráfaga se envía un bloque de un usuario y el otro bloque de un usuario diferente, así si se pierde un ráfaga solo se pierde el 12.5% por cada usuario.

Cada intervalo de tiempo tiene una duración de 0.577ms. En un intervalo de tiempo se envían 156.25bits. La ráfaga contiene 148bits en total, por lo que los 8.25bits que sobran son utilizados para periodos de guarda para evitar interferencias.

➤ Velocidad de transmisión en GSM:

$$156.25\text{bits}/0.577\text{ms}=270.8\text{Kbits/seg}$$

➤ Velocidad de transmisión por usuario:

$$270.8/8=33.8\text{Kbits/seg}$$

2.9.6 MODULADOR

La señal pasa por un modulador GMSK para poder ser transmitida. El modulador se encarga de realiza el proceso de modulación de la señal, usando la técnica GMSK esto permite tener un mejor aprovechamiento de canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

2.9.7 TRANSMISOR

Por medio del transmisor la señal monitorea la radiobase más cercana y le envía la información del móvil. El móvil transmite la información a la radiobase.

2.10 PROBLEMAS EN LA TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL

Existen diversos factores que alteran la transmisión de la señal los cuales son:

- Pérdida de la señal
- Sombreado
- Desvanecimiento multitrayectoria
- Desvanecimiento de Rayleigh
- Dispersión en el tiempo
- Alineación en el tiempo

PERDIDA DE LA SEÑAL

La pérdida de trayectoria ocurre cuando la señal recibida se debilita al aumentar la distancia entre el móvil y la BTS, la señal se debilita porque hay pérdida de potencia, aún cuando no haya obstáculos entre transmisor y receptor. Este problema pocas veces provoca llamadas caídas.

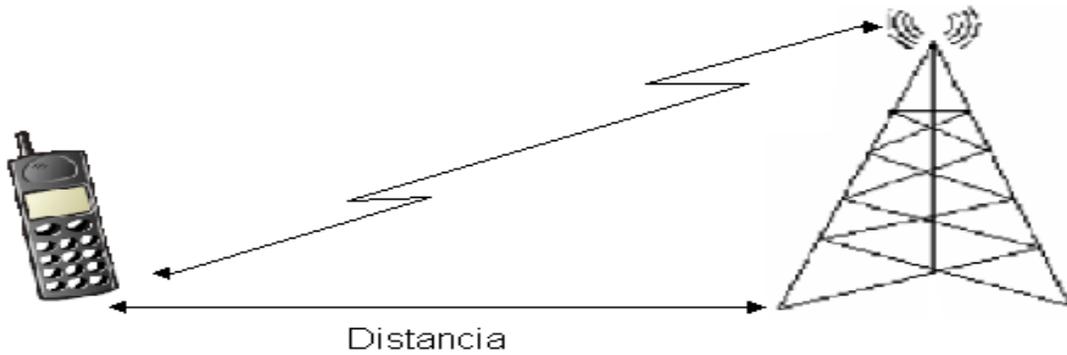


FIGURA 2.14 PÉRDIDA DE LA SEÑAL

SOMBREADO

Este problema ocurre cuando existen obstáculos físicos durante el transcurso de la señal. Estos obstáculos crean un efecto de sombreado que hace que la potencia de la señal recibida decaiga.

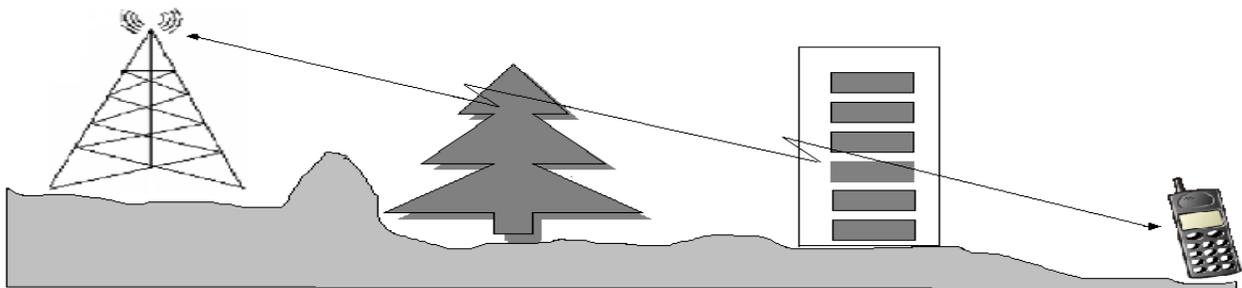


FIGURA 2.15 SOMBREADO

DESVANECIMIENTO MULTITRAYECTORIA

Este problema ocurre cuando existe más de una trayectoria de transmisión entre el móvil y la BTS, esto es, que llega más de una señal al receptor. Esto provoca que la señal tenga pérdidas o ganancias de potencia, debido a la fase y amplitud de las señales, las señales que llegan al móvil son debido a reflexiones de obstáculos. Un ejemplo de desvanecimiento multitrayectoria es el desvanecimiento de Rayleigh y la dispersión en el tiempo.

DESVANECIMIENTO DE RAYLEIGH

Ocurre cuando una señal toma más de una trayectoria entre el móvil y la BTS. En este caso, la señal no es recibida en línea de vista directamente, sino que es reflejada desde diferentes superficies y recibida por trayectorias indirectas. Este tipo de problema ocurre cuando los obstáculos están muy cerca de la antena receptora. La señal recibida es la suma de varias señales idénticas que difieren solo en la fase.

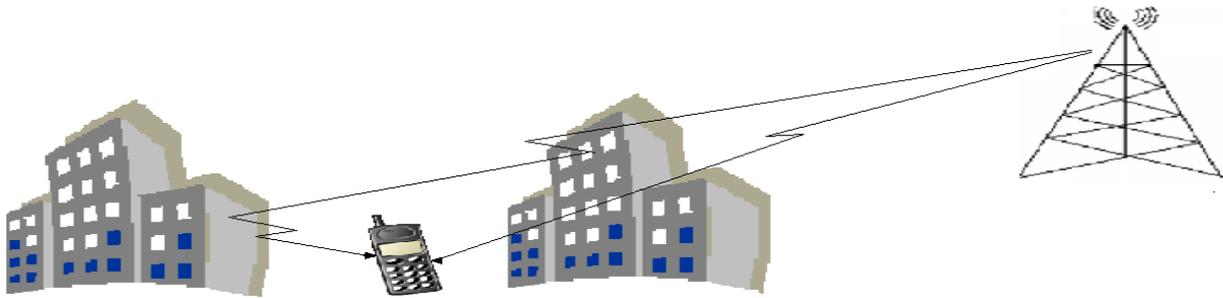


FIGURA 2.16 DESVANECIMIENTO DE RAYLEIGH

DISPERSION EN EL TIEMPO

La señal reflejada proviene de objetos que se encuentran lejos de la antena receptora. La dispersión en el tiempo causa Interferencia Inter-símbolo (ISI), esto es, que los símbolos (bits) consecutivos interfieren con otros dificultando al receptor determinar cual símbolo es el correcto.

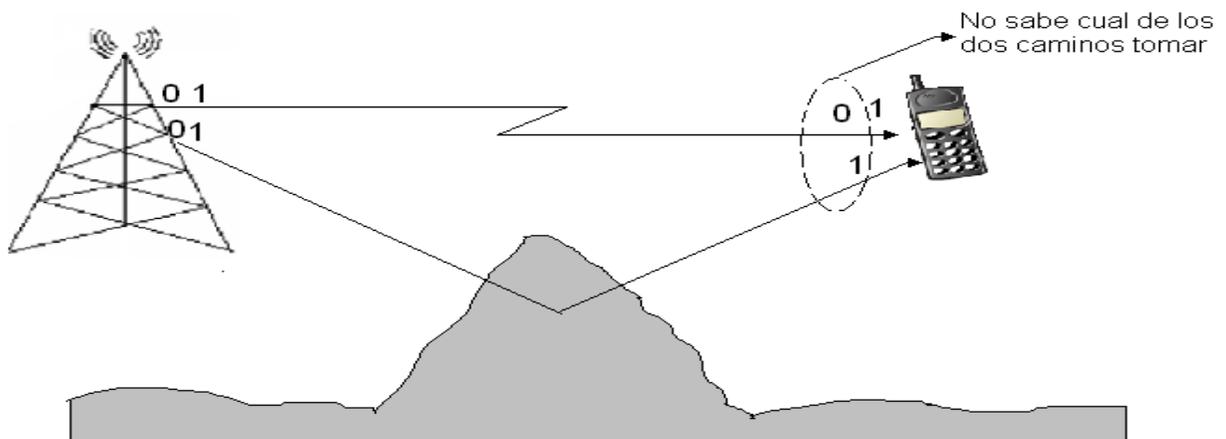


FIGURA 2.17 DISPERSION EN EL TIEMPO

ALINEACIÓN EN EL TIEMPO

Cada móvil en una llamada utiliza un intervalo de tiempo en la trama TDMA, lo cual es el tiempo durante el cual transmite información a la BTS. El problema de alineación en el tiempo ocurre cuando la información transmitida por el móvil no llega dentro de su intervalo de tiempo e interfiere con la información de otro.

2.11 SOLUCIONES EN LA TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL

Existen diferentes alternativas de solución para corregir o evitar los problemas de transmisión los cuales son:

- Codificación del canal y detección de bits erróneos
- Multirango adaptable
- Intercalado
- Diversidad de las antenas
- Ecuilización adaptable
- Salto de frecuencia
- Temporizador adaptable

CODIFICACIÓN DEL CANAL Y DETECCIÓN DE BITS ERRONEOS

Se agregan bits a los bits de información para poder detectar errores. En una transmisión digital, la calidad de la señal transmitida es expresada en términos de cuantos bits recibidos son incorrectos y es llamado BER, que define el porcentaje de bits recibidos incorrectos.

TABLA 2.5 BER

Bits transmitidos	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
Bits recibidos	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Errores		↑					↑			
$2/10=20\%$ BER										

MULTIRANGO ADAPTABLE

Consiste de un número de códigos diferentes, que, junto con la codificación del canal asociado, ha sido optimizado para diferentes entornos de radio. Dependiendo de las mediciones de C/I, se selecciona el rango de codificación de voz adecuado, lo cual resulta en mejora significativa de la calidad de voz.

INTERCALADO

Generalmente los bits erróneos se presentan en secuencias, causados por desvanecimientos largos que afectan secuencias de bits consecutivos. El intercalado de secuencias se usa para separar bits consecutivos de un mensaje para ser transmitidos no secuencial.

DIVERSIDAD DE LAS ANTENAS

Incrementa el nivel de la señal recibida ayudándose de las propiedades naturales de las ondas de radio. Existen dos tipos de diversidad de antenas:

- Diversidad en el espacio: Hay una antena de transmisión y dos de recepción, con una separación de aislamiento entre ellas. Este tipo de diversidad permite incrementar el nivel de la señal recibida.
- Diversidad por polarización: Se reemplazan las dos antenas de recepción por una antena polarizada en modo dual vertical/horizontal ó en combinaciones de $\pm 45^\circ$.

ECUALIZACIÓN ADAPTABLE

Se utiliza para neutralizar el problema de dispersión en el tiempo. Antes de enviar la información al móvil la BTS le envía los bits de entrenamiento con valores predeterminados.

SALTO DE FRECUENCIA

Esta solución se utiliza para corregir el problema de desvanecimiento de Rayleigh. Es posible que la BTS y el móvil salten de frecuencia en frecuencia durante una llamada, este salto de frecuencia debe estar sincronizado tanto en el transmisor como en el receptor. La BSC soporta dos tipos de saltos:

- Salto en banda base: Son saltos de frecuencias en diferentes unidades de transmisión-recepción en una celda.
- Salto sintetizador: Son saltos de frecuencia a frecuencia en la misma unidad de transmisión-recepción de una celda.

TEMPORIZADOR ADAPTABLE

Es una solución diseñada para resolver el problema de alineación en el tiempo. El temporizador adaptable trabaja por instrucción del móvil para transmitir su burst antes o después del tiempo normal de transmisión.

2.12 TIPOS DE CANALES

En GSM existen dos tipos de canales:

- Canales físicos
- Canales lógicos

2.12.1 CANALES FISICOS

Un canal físico puede ser usado para transmitir voz, datos o información de señalización. Cada intervalo de tiempo en una trama TDMA es llamado canal físico, existen 8 canales físicos por frecuencia.

2.12.2 CANALES LÓGICOS

Cada canal físico lleva diferentes mensajes de información, a estos mensajes de información se les conoce como canal lógico y se define de acuerdo al tipo de información que transmite. Un canal lógico es la función que realiza un canal físico.

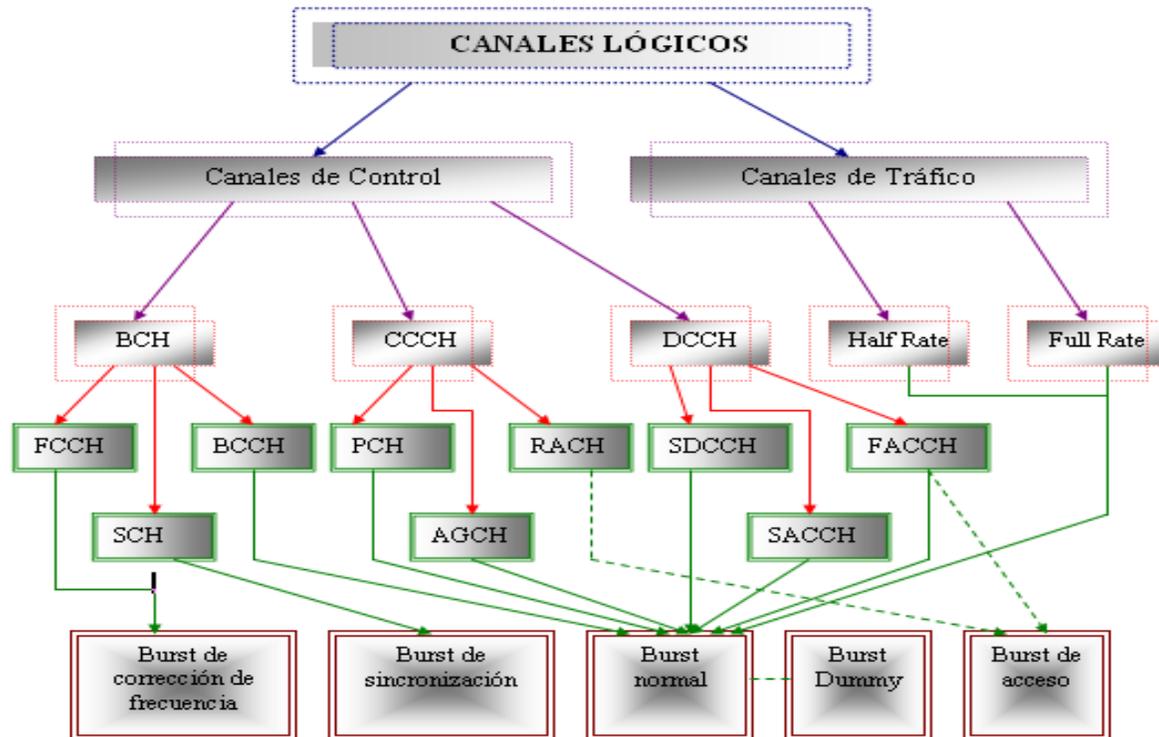


FIGURA 2.18 CANALES LÓGICOS

2.12.2.1 CANALES DE CONTROL

BCH

También conocidos como canales de difusión, son aquellos que transmiten información al móvil, como área de localización, información de sincronización e identidad de la red. Sin esta información el móvil no puede acceder a la red, la información se difunde a intervalos regulares de tiempo por la BTS. La potencia máxima de salida es de 1 a 2 watts. El canal BCH se divide en tres:

- FCCH: Canal de corrección de frecuencia
- SCH: Canal de sincronización
- BCCH: Canal de control de difusión

En la tabla 2.6 se muestran las funciones de los canales de difusión.

TABLA 2.6 CANALES DE DIFUSIÓN

CANALES DE DIFUSIÓN BCH			
CANAL LÓGICO	BTS	MÓVIL	DIRECCIÓN
FCCH	Transmite la frecuencia de la portadora (canal).	Identifica la frecuencia del BCCH y se sincroniza con ella.	Radio base a Móvil Punto-multipunto
SCH	Transmite información sobre la estructura de la trama TDMA y la identidad de la BTS (BSIC Código de identidad de la estación base).	Se sincroniza con la estructura de la trama e identifica a la celda servidora.	Radio base a Móvil Punto-multipunto
BCCH	Difunde información, como es el área de localización, la máxima potencia de salida permitida en la celda y las frecuencias del BCCH de celdas vecinas.	Recibe el LA y lo almacena en la SIM. Ajusta su nivel de potencia de salida en base a la información recibida. Almacena la lista de BCCH de celdas vecinas y mide sus niveles de potencia.	Radio base a Móvil Punto-multipunto

CCCH

También conocidos como canales de control comunes. Una vez que el móvil tiene toda la información recibida de BCH para poder acceder a la red, el móvil puede realizar o recibir una llamada, para esto hace uso de los canales de control común.

Los canales CCCH se dividen en tres:

- PCH: Canal de búsqueda
- RACH: Canal de acceso aleatorio
- AGCH: Canal de acceso

En la tabla 2.7 se muestran las funciones de los canales de control común CCCH

TABLA 2.7 CANALES DE CONTROL COMÚN

CANALES DE CONTROL COMÚN CCCH			
CANAL LÓGICO	BTS	MÓVIL	DIRECCIÓN
PCH	Transmite un mensaje de búsqueda para indicar una llamada o mensaje de texto entrante. El mensaje contiene el número de identidad del móvil buscado.	En ciertos intervalos de tiempo el móvil escucha al PCH, si identifica su propio número de identidad responderá.	Radio base a Móvil Punto-multipunto
RACH	Recibe la solicitud de acceso del móvil para iniciar una llamada, actualizar su localización.	Responde al mensaje de búsqueda sobre este canal solicitando un canal de señalización.	Móvil a Radio base Punto-punto
AGCH	Asigna un canal de señalización (SDCCH) al móvil.	Recibe el canal de señalización asignado	Radio base a Móvil Punto-punto

DCCH

También conocidos como canales de control dedicados. En este punto el móvil y el sistema de estación base están listos para iniciar el proceso de inicio de llamada. Para esto es necesario que el móvil y la radio base utilicen los canales de control dedicados. Los canales DCCH se dividen en cuatro:

- SDCCH: Canal de control dedicado autónomo
- CBCH: Canal de difusión de la celda
- SACCH: Canal de control asociado lento
- FACCH: Canal de control asociado rápido

En la tabla 2.8.1 y 2.8.2, se muestran las funciones de los canales de control dedicados DCCH

TABLA 2.8.1 CANALES DE CONTROL DEDICADOS

CANALES DE CONTROL DEDICADOS DCCH			
CANAL LÓGICO	BTS	MÓVIL	DIRECCIÓN
SDCCH	La BTS conmuta al SDCCH asignado, usado para la señalización del inicio de la llamada. El canal de tráfico es asignado a través de este canal.	El móvil conmuta al SDCCH asignado. El inicio de la llamada se lleva a cabo. El móvil recibe la información de asignación del canal de tráfico (portadora e intervalo de tiempo)	Radio base a Móvil y Móvil a Radio base Punto-punto
CBCH	Transmite SMS de difusión de celda	Recibe mensajes de difusión	Radio base a Móvil Punto-multipunto

TABLA 2.8.2 CONTINUACIÓN DE CANALES DE CONTROL DEDICADOS

CANAL LÓGICO	BTS	MÓVIL	DIRECCIÓN
SACCH	Indica al móvil la potencia de transmisión permitida y los parámetros para alineación en el tiempo. SACCH es usada para los mensajes SMS durante la llamada	Envía las mediciones promedio de nivel de señal y calidad de su propia BTS, así como los niveles de señal de las celdas vecinas.	Radio base a Móvil y Móvil a Radio base Punto-punto
FACCH	Transmite información de <i>handover</i>	Transmite información necesaria para <i>handover</i> .	Radio base a Móvil y Móvil a Radio base Punto-punto

2.12.2.2 CANALES DE TRÁFICO

Una vez que el procedimiento de inicio de llamada ha sido completado en los canales de control, el móvil se sintoniza al canal de tráfico (TCH). Existen dos tipos de canales de tráfico:

- Canal de tráfico de tasa completa (*Full rate*)
- Canal de tráfico de tasa media (*Half rate*)

CANAL DE TRÁFICO DE TASA COMPLETA

Transmite a una velocidad de 13Kbits/seg, un canal de tasa completa ocupa todo el canal físico (el intervalo de tiempo completo).

CANAL DE TRÁFICO DE TASA MEDIA

Transmite a una velocidad de 6.5Kbits/seg. Dos canales *half rate* pueden compartir un canal físico. Esto duplica la capacidad de la celda.

2.12.3 TIPOS DE RÁFAGA

Existen 5 tipos de ráfaga los cuales son:

- Ráfaga normal
- Ráfaga de corrección de frecuencia
- Ráfaga de sincronización
- Ráfaga de acceso
- Ráfaga *dummy*

RÁFAGA NORMAL

Es usado para llevar información sobre el canal de tráfico y los canales de control. Contiene:

- Dos bloques de 57 bits cada uno con información de tráfico
- Secuencia de entrenamiento (26 bits)
- 2 banderas (1 bit para cada una)
- 3 bits de cola al inicio de la ráfaga y tres al final de esta
- Periodo de guarda: 8.25 bits (30.525µseg)

RÁFAGA DE CORRECCIÓN DE FRECUENCIA

Es usado para sincronización de frecuencia del móvil. Contiene:

- 142 bits de corrección de frecuencia
- 6 bits de cola
- Periodo de guarda: 8.25 bits (30.525µseg)

RÁFAGA DE SINCRONIZACIÓN

Es usado para sincronizar la trama del móvil. Contiene:

- Dos bloques de 39 bits para información de la estructura de la trama TDMA
- 64 bits de sincronización
- bits de cola
- Periodo de guarda: 8.25 bits (30.525µseg)

RÁFAGA DE ACCESO

Esta ráfaga es usada para acceso aleatorio y *handover*. Contiene:

- 41 bits de sincronización
- 36 bits de información de acceso
- Bits de cola
- Periodo de guarda: 68.25 bits (0.253 mseg). En este tipo de ráfaga se requiere mayor periodo de guarda ya que en la primera transmisión hacia el móvil no se tiene información de alineación en el tiempo disponible.

RÁFAGA DE RELLENO (DUMMY)

Es usada cuando el canal físico no necesita llevar información. Consiste de un patrón de secuencia de entrenamiento y un patrón de bits mezclados. Este tipo de ráfaga es usada por todos los intervalos de tiempo libres.

2.13 RELACIÓN ENTRE BITS Y TRAMAS

1 intervalo de tiempo tiene 156.25 bits de duración (0.577 mseg).

1 trama TDMA tiene ocho intervalos de tiempo, 1250 bits de duración (4.615 mseg).

1 multitrama contiene 26 tramas, usada para canales TCH, SACCH y FACCH y tiene una duración de 120 mseg.

1 multitrama contiene 51 tramas, usada para canales BCCH, CCCH, SDCCH y SACCH y tiene una duración de 235 mseg.

1 supertrama contiene 1326 tramas TDMA, 51 multitramas de 26 tramas ó 26 multitramas de 51 tramas, y tiene una duración de 6.12 seg.

1 hipertrama contiene 2048 supertramas, 2715648 tramas de TDMA y tiene una duración de 3 hrs, 28 min, 53 seg, 760 mseg.

2.14 RELACIÓN ENTRE PORTADORAS E INTERVALOS DE TIEMPO

El intervalo de tiempo 0, de la primera portadora en una celda siempre es reservado para propósitos de señalización. De la BTS al móvil lo usan los canales BCCH y CCCH y del móvil a la BTS es utilizado por el RACH. El intervalo de tiempo 1, de la primera portadora es reservado para propósitos de señalización para el uso del canal DCCH. 8 SDCCH y 4 SACCH pueden compartir el mismo canal físico, lo que significa que se pueden iniciar 8 llamadas simultáneamente. Los intervalos de tiempo restantes son utilizados para canales de tráfico.

2.15 PROCESO DE INICIO Y TERMINACIÓN DE UNA LLAMADA

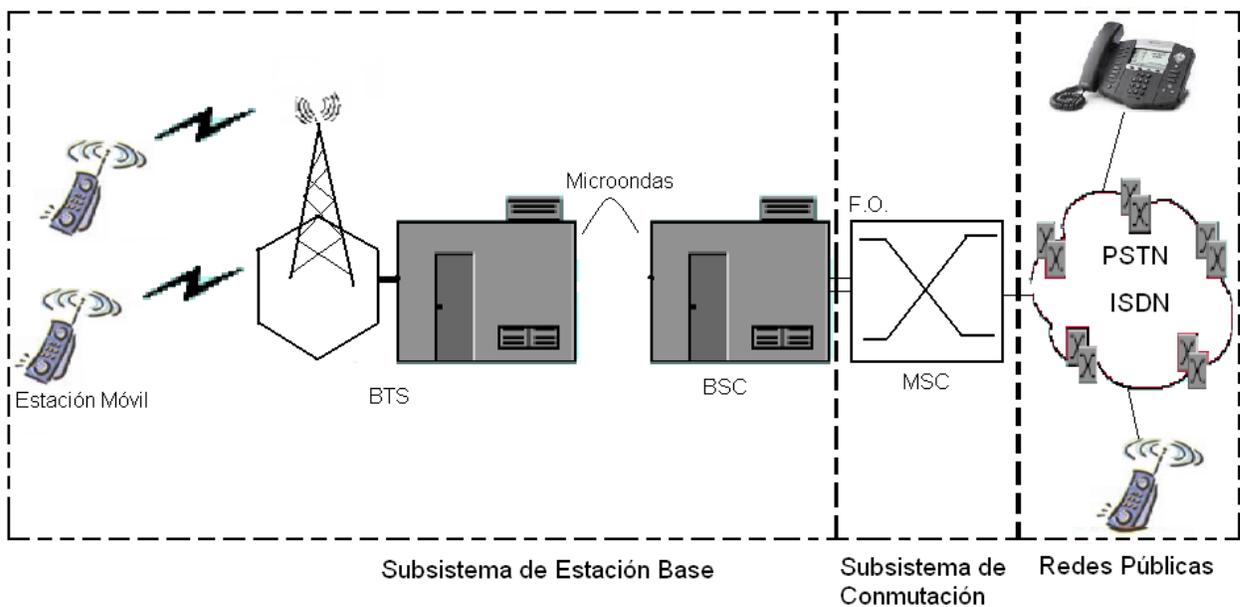


FIGURA 2.19 DIAGRAMA GENERAL GSM

PROCESO DE UNA LLAMADA AL MÓVIL

- El MSC conoce el área de localización donde se encuentra el móvil. Se envía un mensaje de búsqueda (*paging*) a la BSC que controla esa área de localización.
- La BSC distribuye el mensaje de búsqueda a las BTS en el área de localización deseada. Las BTS transmiten el mensaje sobre el aire usando el canal PCH.
- Cuando el móvil recibe el mensaje de búsqueda y se identifica a si mismo, envía una petición de canal de señalización usando el canal RACH.
- La BSC usa el canal AGCH para informar al móvil el canal de señalización SDCCH y SACCH que puede usar.
- Los canales SDCCH y SACCH son usados para iniciar la llamada. Un canal TCH es asignado y el SDCCH es liberado.
- El móvil y la BTS conmutan a la frecuencia del TCH y al intervalo de tiempo asignado. El móvil genera el tono de llamada, si el usuario contesta se establece la conexión. Durante la llamada las señales pueden ser enviadas y recibidas por el móvil usando el canal SACCH.

PROCESO DE UNA LLAMADA DEL MÓVIL

- El móvil escanea el canal de control más fuerte.
- El móvil envía al MSC una petición de llamada.
- El móvil envía su MIN (número de identificación del móvil) y su ESN (número de serie electrónico).
- La BTS recibe los datos y los envía al MSC.
- La MSC válida la petición de llamada, conecta a la PSTN y le indica a la BTS que asigne un canal de voz al móvil.
- La BTS indica al móvil a que frecuencia debe sintonizarse, si el usuario contesta se establece la conexión. Durante la llamada las señales pueden ser enviadas y recibidas por el móvil usando el canal SACCH.

2.16 MODELOS DE PROPAGACIÓN

Los modelos de propagación se utilizan para poder predecir el nivel de recepción de la señal transmitida a una distancia determinada del transmisor. Los modelos de propagación consideran los fenómenos básicos de propagación, como son la difracción, refracción y reflexión, para poder predecir las pérdidas a través de la trayectoria hacia el móvil ("*path loss*"). Además se adecuan dependiendo del tipo de área ya sea urbana, suburbana, rural o en interiores. Los modelos de propagación se pueden clasificar de acuerdo a la distancia en que pueden predecir la potencia de la señal:

- De gran escala (*large-scale*).- Predicen la potencia de la señal para distancias grandes de separación entre el transmisor y el receptor, y son de gran utilidad para el cálculo de áreas de cobertura para sistemas de radio.
- De pequeña escala (*Small-Scale*).- Predicen los cambios rápidos en la intensidad de la señal recibida en distancias pequeñas de unas cuantas longitudes de onda.

Existen factores que se deben tener en cuenta como son:

- Un perfil del terreno de la zona a modelar (zona de cobertura)
- Presencia de obstáculos como edificios, árboles, etc.

2.16.1 MODELO DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

Este modelo se utiliza para predecir la potencia de la señal cuando existe una línea de vista clara, sin obstáculos, entre el transmisor y el receptor. Este modelo de propagación se puede usar para sistemas de comunicación satelital y enlaces de microondas.

El modelo en el espacio libre predice que la potencia recibida decae en función de la distancia de separación entre el transmisor y receptor, dicha potencia recibida esta dada por la ecuación siguiente:

$$P_r = \frac{P_{tx} G_{tx} G_{rx} \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad [\text{Watts}] \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

P_{tx} es la potencia transmitida.

P_{rx} es la potencia recibida en función de la separación Tx-Rx

G_{tx} es la ganancia de antena transmisora.

G_{rx} es la ganancia de la antena receptora.

d es la distancia de separación de Tx-Rx dada en metros.

L es el factor de pérdida del sistema.

λ es la longitud de onda dada en metros.

La ganancia de la antena está dada por:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad [\text{Adimensional}] \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

A_e es la apertura efectiva y se relaciona con el tamaño físico de la antena

λ es la longitud de onda y se obtiene mediante la ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{Metros}] \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

f es la frecuencia de la portadora dada en Hertz.

c es la velocidad de la luz dada en metros/segundo.

Los valores de P_{tx} y P_{rx} deben ser expresados en las mismas unidades, mientras que G_{tx} y G_{rx} son cantidades adimensionales. Las pérdidas (L) son usualmente debidas a: la atenuación de la línea de transmisión, a las pérdidas por filtros, y a las pérdidas de la antena en los sistemas de comunicación. Cuando $L=1$ significa que no hay pérdidas en el sistema. Por tal motivo se debe buscar tener un valor de $L \leq 1$. Este modelo de propagación presenta una atenuación en la potencia de la señal de 20 dB/década.

Para realizar el cálculo de las pérdidas por trayectoria, que representan la atenuación de la señal como una cantidad positiva medida en dB, se puede incluir o excluir el efecto de ganancia de las antenas. Cuando se incluye el efecto de ganancia de las antenas la ecuación es la siguiente:

$$P_L(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Cuando la ganancia de las antenas es excluida, se asume que tienen ganancia unitaria y la ecuación se convierte en:

$$P_L(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.6}$$

2.16.2 MODELO DE OKUMURA

El modelo de Okumura es uno de los más utilizados para predicción de señales en áreas urbanas. Este modelo es aplicable para frecuencias en el rango de 150 MHz a los 1920 MHz, es decir, comprende la banda de VHF y UHF y distancias de 1 Km a 100 Km. Puede ser usado para alturas de la antena de la radiobase en el rango de 30 m a 1000 m.

Okumura obtuvo un grupo de curvas que muestran la atenuación relativa media en el espacio libre, y se usan como nivel de referencia, para una zona urbana sobre terreno casi-plano.

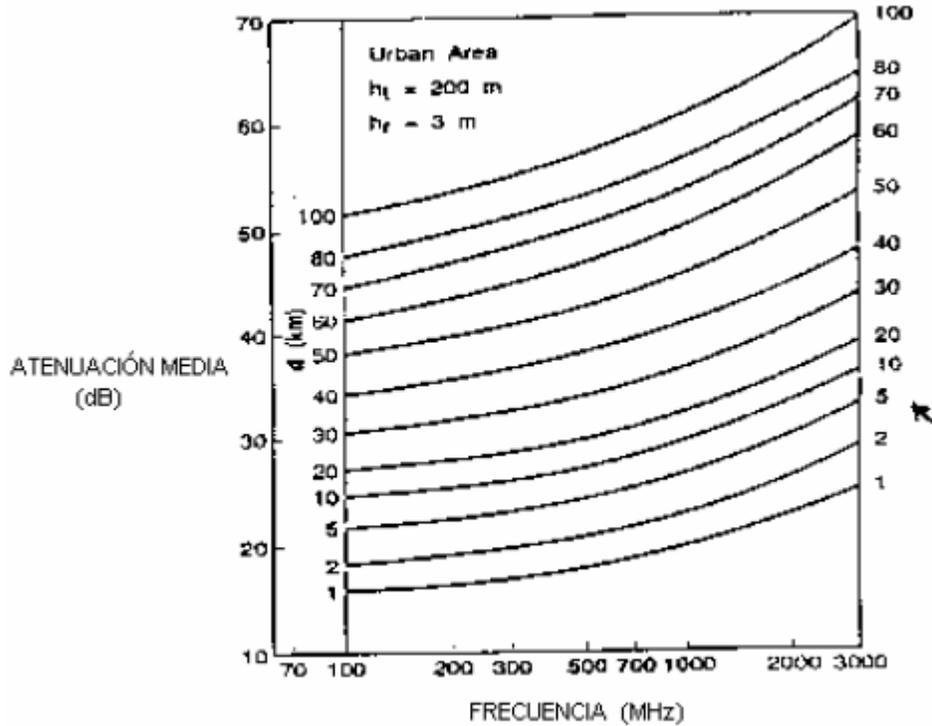


FIGURA 2.20 TABLA USADA POR OKUMURA PARA HACER PREDICCIONES.

Los valores para cada curva fueron obtenidos mediante varias mediciones usando antenas verticales y omnidireccionales tanto en la radiobase como en el móvil, graficando en función de la frecuencia, en el rango de los 100 MHz a los 1920 MHz, y de la distancia. Este modelo puede ser expresado como:

$$L_{50}(\text{dB}) = L_F + A_{\text{mu}}(f, d) - G(h_{\text{te}}) - G(h_{\text{re}}) - G_{\text{área}} \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

$L_{50}(\text{dB})$: Atenuación mediana por trayectoria

L_F : Atenuación de espacio libre

$A_{\text{mu}}(f, d)$: Atenuación relativa promedio (curvas)

$G(h_{\text{tx}}) = G(h_{\text{te}})$: Ganancia de la antena de Tx.

$G(h_{\text{rx}}) = G(h_{\text{re}})$: Ganancia de la antena de Rx.

$G_{\text{área}}$: Ganancia debido al tipo de ambiente

Después de un análisis muy cuidadoso Okumura encontró que $G(h_{te})$ varía a un índice de 20 dB/década y $G(h_{re})$ varía a un índice de 10 dB/década para alturas menores que 3 m. Formulando las siguientes ecuaciones:

$$G(h_{te}) = 20 \log \left(\frac{h_{te}}{200} \right) \text{ para } 10\text{m} < h_{te} < 1000\text{m} \quad [\text{Adimensional}] \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \text{ para } h_{re} \leq 3\text{m} \quad [\text{Adimensional}] \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \text{ para } 3\text{m} < h_{re} < 10\text{m} \quad [\text{Adimensional}] \quad \text{Ecuación 2.10}$$

En base a lo anterior, Okumura desarrolló un modelo de las pérdidas del enlace considerando factores de corrección dependiendo del tipo de terreno. Es uno de los modelos más simples y adecuados para las predicciones de atenuación en sistemas celulares y sistemas de radio terrestre para zonas urbanas, su principal desventaja es que no es un buen modelo para zonas rurales. Además presenta en las mediciones de la atenuación presenta errores con una desviación estándar entre los 10 dB a 14 dB.

2.16.3 MODELO HATA (OKUMURA-HATA)

Es una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los 150 MHz a los 1500 MHz. Hata presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar:

$$L_{50(\text{urbano})}(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d \quad [\text{dB}]$$

Ecuación 2.11

La ecuación anterior es valida para:

$$150\text{MHz} < f_c < 1500\text{MHz}$$

$$30 \text{ m} < h_{te} < 200\text{m}$$

$$1\text{m} < h_{re} < 10\text{m}$$

Donde:

f_c : frecuencia portadora en MHz

h_{te} : altura de antena transmisora en el rango de 30 a 200 metros

h_{re} : altura de antena receptora en el rango de 1 a 10 metros

$a(h_{re})$: factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio en dB.

d : distancia entre transmisor y receptor en Km.

Como se puede observar, este modelo involucra una nueva variable que es el factor de corrección de la antena del móvil y se define según el tamaño de la ciudad:

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7)h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8)\text{dB} \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54h_{re})^2 - 1.1\text{dB} \quad \text{para } f_c < 300\text{MHz} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 1.75h_{re})^2 - 4.97\text{dB} \quad \text{para } f_c > 300\text{MHz} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Para utilizar la misma fórmula en un ambiente suburbano se utiliza como:

$$L(\text{dB}) = L_{50(\text{urbano})} - 2 \left[\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Para áreas rurales:

$$L(\text{dB}) = L_{50(\text{urbano})} - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.98 [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Este modelo se adapta muy bien para el diseño de sistemas de gran escala, pero no para sistemas PCS, los cuales tienen células del orden de 1 Km de radio. Para éste efecto se hace una formulación numérico-empírica de los datos gráficos entregados por Okumura de atenuación para zonas urbanas.

A pesar de que el modelo de Hata no tiene correcciones específicas para distintas rutas, que sí existen para el modelo de Okumura, las predicciones de Hata son muy similares a las predicciones de Okumura para distancias Tx-Rx mayores a 1 km.

2.16.4 MODELO DE HATA EXTENDIDO O MODELO COST – 231

La Cooperativa Europea para investigación y técnica (EURO – COST) desarrolló el modelo COST 231 también conocido como modelo de Hata extendido, en el cual extiende la frecuencia de operación del modelo de Hata hasta el rango de 2 GHz cubriendo la banda de VHF y UHF. El modelo expresa las pérdidas del enlace en área urbana de la siguiente manera:

$$L_{50}(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d + C_M \quad [\text{dB}]$$

Ecuación 2.17

Donde:

f_c : Frecuencia de operación (1500 a 2000 MHz).

h_{te} : Altura efectiva de la antena de transmisión (30 a 200 m).

h_{re} : Altura efectiva de la antena de recepción (1 a 10 m).

d : Distancia de separación entre transmisor y receptor (1 a 20 Km).

$a(h_{re})$: Factor de corrección de la antena del móvil (0 cuando $h_{re} = 1.5$ m).

C_M : Factor de corrección para adecuar el modelo extendido al rango de frecuencia para el que opera el modelo de Hata.

$C_M = 0$ dB para ciudades medianas y suburbanas.

$C_M = 3$ dB para ciudades grandes

Una de las aportaciones de este modelo es considerar pérdidas por dispersión.

2.16.5 MODELO WALFISH – IKEGAMI O COST 231

El modelo COST 231, también conocido como el modelo de Walfish – Ikegami, es una evolución del modelo de Ikegami. Este modelo es aplicable en áreas urbanas donde no hay visibilidad directa del transmisor debido a la obstrucción de los edificios. Este modelo además de considerar la influencia de la calle donde se localiza el móvil, incluye la contribución a la pérdida total de trayectoria debido al hecho de que la señal ilumina la calle donde se propaga el móvil sobre numerosos edificios.

A continuación se muestran los parámetros de calle y trayectoria que intervienen en el modelo:

h_B = Altura de la antena de la estación base sobre el piso (metros).

h_m = Altura de la antena de la estación móvil sobre el piso (metros).

h_R = Altura del edificio principal (metros) ($h_R > h_m$).

w = Ancho de la calle donde la estación móvil se localiza

b = distancia entre centros de edificios.

d = Distancia de la estación base a la estación móvil.

Φ = Angulo de la trayectoria de radio con respecto al eje de la calle.

$\Delta h_B = h_B - h_R$: Variación de altura contra el edificio principal.

$\Delta h_R = h_R - h_m$: Altura principal del edificio sobre la antena de la estación móvil

La expresión general para el modelo de Walfish – Ikegami - COST 231 es:

$$L_b = L_{fs} + L_{rts} + L_{msd} \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Donde L_{fs} son las pérdidas por espacio libre.

$$L_{fs}(\text{dB}) = 32.4 + 20\log f(\text{MHz}) + 20\log d(\text{Km}) \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.19}$$

L_{rts} son las pérdidas debido a la difracción azotea a calle. Esta tiene la siguiente expresión:

$$L_{rts}(\text{dB}) = -16.9 - 10\log(w) + 10\log(f) + 20\log(\Delta h_R) + L_{ori} \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.20}$$

Si $L_{rts} \leq 0$ dB, un valor será tomado como $L_{rts} = 0$ dB. L_{ori} considera la orientación de la calle relativa al transmisor.

$$L_{ori} = \left\{ \begin{array}{l} -10 + 0.3574\varphi \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35^\circ) \\ 4 - 0.114(\varphi - 55^\circ) \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} 0 < \varphi < 35^\circ \\ 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{array} \right\} \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Donde φ es el ángulo de la trayectoria de radio con respecto al eje de la calle. L_{msd} es una estimación de los efectos de difracción por los múltiples obstáculos de las experiencias del rayo entre la antena de transmisión y la pared del edificio en el receptor, debido a los edificios intermedios. Esta tiene la siguiente expresión:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(f) - 9\log(b) \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Los parámetros involucrados en esta expresión están calculados de la siguiente manera:

$$L_{bsh} = -18\log(1 + \Delta h_E) \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.23}$$

Si $h_B < 0$, $L_{bsh} = 0$

$$\begin{aligned}
 k_a &= \begin{cases} 54 & \Delta h_B \geq 0 \\ 54 - 0.8\Delta h_B & \Delta h_B < 0 \text{ \& } d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8\Delta h_B(d/0.5) & \Delta h_B < 0 \text{ \& } d < 0.5 \end{cases} \\
 k_d &= \begin{cases} 18 & \Delta h_B \geq 0 \\ 18 - 15\Delta h_B/h_R & \Delta h_B < 0 \end{cases} \\
 k_f &= \begin{cases} -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \dots\dots\dots (1) \\ -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \dots\dots\dots (2) \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{Ecuación 2.24}$$

En el caso de k_f la Ec. (1) es para áreas suburbanas ó ciudades medias con modera densidad de vegetación. Mientras que la Ec (2) es para ciudades ó grandes centros metropolitanos.

La aplicabilidad del modelo COST 231 corresponde al siguiente rango de parámetros:

- $800 \leq f(\text{MHz}) \leq 2000$;
- $4 \leq h_B \text{ (m)} \leq 50$;
- $1 \leq h_m \text{ (m)} \leq 3$;
- $0.02 \leq d \text{ (km)} \leq 5$

Si los datos sobre el ambiente urbano son desconocidos, se recomiendan los valores siguientes por descontado.

- b : 20 – 50m;
- w : $b/2$;
- φ : 90 grados;
- h_R : 3m x (No. de pisos) + altura del techo (m) (con ático: 3m (echado)), 0m (departamento).

2.16.6 MODELO WALFISH Y BERTONI

Este modelo considera el efecto de la altura y los techos de las edificaciones utilizando modelos de difracción para predecir la potencia media de la señal a nivel del pavimento. Se modela la pérdida de trayectoria, “S”, como el producto de tres factores:

$$S_0 = P_0 \cdot Q^2 P_L \quad [\text{Watts}] \quad \text{Ecuación 2.25}$$

Donde:

P_0 es la pérdida de espacio libre entre antenas isotrópicas, y se calcula de la siguiente manera:

$$P_0 = \left[\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right]^2 \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.26}$$

Donde:

Q^2 = Da la reducción de la señal a nivel “de los techos”, a causa de la fila de construcciones que ensombrecen al receptor.

P_L = Representa las pérdidas por difracción en la señal que va desde los techos al nivel del pavimento.

Se puede expresa en decibeles de la siguiente manera:

$$S(\text{dB}) = L_0 + L_{rts} + L_{ms} \quad [\text{dB}] \quad \text{Ecuación 2.27}$$

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA RADIOBASE

3.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

Debido al crecimiento demográfico, económico e industrial que ha surgido en las comunidades rurales en los últimos años, surge la necesidad de brindar cobertura de telefonía móvil a Tepeaca, Puebla, en el presente capítulo se muestran los elementos necesarios para el análisis y planeación de la puesta en marcha de una radiobase, para brindar cobertura.

3.2 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La comunidad rural en la cual desarrollaremos nuestro proyecto es Tepeaca, este lugar es un municipio que se localiza en la parte central del estado de Puebla. Tiene una superficie de 179.9 kilómetros cuadrados, se encuentra en el lugar 72 con respecto a los demás municipios de Puebla. Limita al norte con Nopalucan, al sur con Cuapiaxtla de Madero, Tecali de Herrera y Santo Tomás Hueyotlipan, al oriente con Acatzingo y al poniente con Acajete, Cuautinchán y Tecali de Herrera.

El municipio cuenta con 18 localidades principales que son: Tepeaca, San Hipólito Xochiltenango, Santiago Acatlán, San José Carpinteros, San Nicolás Zoyapetlayoca, San Pablo Activan, Álvaro Obregón, San Bartolomé Hueyapan, San Lorenzo la Joya de Rodríguez, San Mateo Parra, San Pedro la Joya, Santa María. Oxtotipan, Zahuatlán de Morelos, Guadalupe Calderón, San Cristóbal los Nava, San Cristóbal Hidalgo, San Felipe Tenextepepec, Vicente Guerrero.



FIGURA 3.1- ESTADO DE PUEBLA

3.2.1 OROGRAFÍA

En el municipio existen tres regiones morfológicas:

- Al norte, a partir de la cota 2400 metros, se localizan las faldas inferiores de la Malinche.
- Al centro-occidente, se alzan las estribaciones de la sierra de Amozoc.
- El resto del territorio, forma parte del valle de Tepeaca.

El municipio presenta al norte un relieve montañoso e irregular, donde destacan los cerros Atlacuilo, Pardo, San Miguel, Encinos Grandes y Cuachichila, alcanzando en ocasiones hasta 400 metros de altura con respecto al nivel del valle.

El centro y el sur del municipio presenta una topografía plana, con una altura promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar y un ligero declive norte-sur, además de algunos cerros aislados como el Tlacacoltzi, Tenextepc, Tepoxcolula, Totolpacho y Cuaxapo. La altura del municipio oscila entre 2080 y 2840 metros sobre el nivel del mar. El municipio se localiza en una zona de climas templados de Puebla; presenta un solo clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL USO DEL SUELO

En el municipio se identifican suelos pertenecientes a cuatro grupos que a continuación se describen:

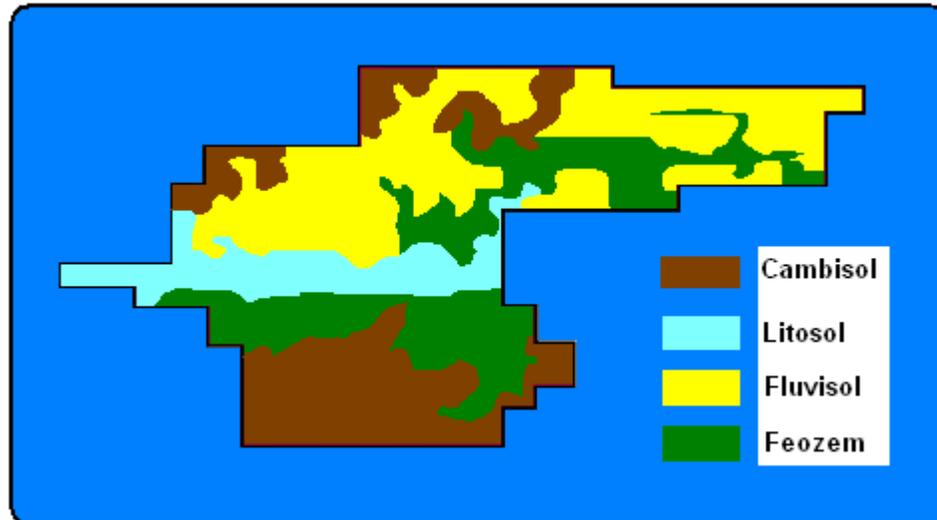


FIGURA 3.2 -TIPOS DE SUELOS DE TEPEACA

CAMBISOL

Es el suelo predominante; ocupa la zona sur del municipio y algunas áreas dispersas del norte; presenta fase dúrica (Tepetate a menos de 50 centímetros de profundidad).

LITOSOL

Se localiza en la sierra de Amozoc y en los cerros Encinos Grandes. Se caracteriza por tener una profundidad menor a los 10 cm. Tiene características muy variables, pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos y son susceptibles a la erosión.

FLUVISOL

Ocupa una angosta franja que cruza el centro del municipio de este a oeste; presenta fase gravosa (fragmentos de roca o tepetate menores de 7.5 centímetros de diámetro en el suelo), muchas veces posee capas alternadas de arena, arcilla o grava.

FEOZEM

Se identifican en una extensa zona del centro y noreste del municipio. Se distingue por su capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes. Se utilizan para cultura de riego o de temporal y se erosionan con mucha facilidad.

3.3 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO

El municipio cuenta con 62,651 habitantes, siendo 30,189 hombres y 32,462 mujeres, con una densidad de población de 315 habitantes por kilómetro cuadrado; teniendo una tasa de crecimiento anual de 3.06%. Se estima que en un futuro la densidad de población será de 400 habitantes por kilómetro cuadrado.

3.4 MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Cuenta con servicio de red de telefonía pública conmutada y correo, recibe señal de cadenas de TV. y de estaciones radiodifusoras.

En cuestión de telefonía móvil el servicio telefónico en áreas rurales y de extrarradio no es exclusivamente una preocupación de las naciones en vías de desarrollo, sino que constituye un problema particular para casi todos los países.

La telefonía rural tiene implicaciones de índole económico y temporal dictadas por factores tales como:

- Densidad de población.
- Infraestructuras existentes.
- Características del terreno.
- Clima.
- Políticas del servicio telefónico.

Los factores anteriores condicionan la elección de la tecnología que puede ser:

- Conmutadores rurales.
- Monocanales y multicanales radio (Sistemas de radio analógicos)
- Multiacceso (Sistema de radio punto a multipunto).
- Satélite

Sin embargo debido a que son soluciones lentas, caras y de elevados costos de mantenimiento, la telefonía celular es una alternativa de tipo técnico y económico que, no habiendo surgido para ofrecer soluciones en las comunicaciones rurales, hoy se puede considerar como ventajosa para la extensión de la telefonía tanto privada como pública en ambientes rurales y de extraradio.

La principal ventaja de un sistema celular sobre otros sistemas móviles de radio es su capacidad para manejar mayores cargas de tráfico debido a la reutilización eficiente de las frecuencias disponibles en el espectro de radio.

3.5 ACTIVIDAD ECONÓMICA

3.5.1 INDUSTRIA

El municipio de Tepeaca cuenta con industrias manufactureras como: fabricación de prendas de vestir, calzado e industria del cuero, productos de madera y corcho.

También cuenta con laminadoras de mármol, productos metálicos, equipo de transportes y sus partes, maquinaria, equipos eléctricos y electrónicos, elaboración de alimentos, fabricación de cal, explotación y transformación de ónix y mármol.

3.5.2 COMERCIO

Cuenta con establecimientos comerciales como abarrotes, loncherías, farmacias, carnicerías, neverías, refresquerías, pollerías, venta de frutas y legumbres frescas, vinatería, almacenes varios, sastrerías, papelerías, y una gran cantidad de centros comerciales en donde se venden artículos de primera y segunda necesidad.

3.5.3 POBLACIÓN ECONOMICAMENTE ACTIVA POR SECTOR

La Población económicamente activa del municipio es del 38.2 % y el 59.7 % corresponde a la población económicamente inactiva, siendo el 2.1 % no especificado.

Dentro de las actividades económicas por sector se tiene una población ocupada del 98.6 % distribuidas de la siguiente forma:

TABLA 3.1 - ACTIVIDAD ECONÓMICA POR SECTOR

Sector	Actividades	Porcentaje
Primario	Agricultura, Ganadería, Caza y Pesca	39.8 %
Secundario	Minería, Petróleo, Industria Manufacturera, Construcción y Electricidad	22.1 %
Terciario	Comercio, Turismo y Servicios	35.2 %

Su principal actividad económica es el comercio. El número de habitantes aproximado es de 20,201. Tiene una distancia aproximada a la capital del estado de 37.5 kilómetros.

3.5 CAPACIDAD

Se refiere a la cantidad de usuarios que se pueden atender simultáneamente. En un factor de elevada relevancia, después del adecuado dimensionamiento de la capacidad del sistema, según demanda el servicio, depende la calidad del servicio que se preste al usuario. Esta capacidad se puede incrementar mediante el uso de técnicas tales como la reutilización de frecuencias, la asignación de canal, el control de potencia, saltos de frecuencia, algoritmos de codificación, diversidad de antenas en la estación móvil, etc. Un canal GSM de 200 KHz puede ser usado hasta por 8 usuarios como se muestra en la figura 3.3.

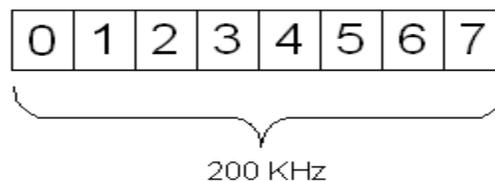


FIGURA 3.3 - CANAL GSM

3.6 COBERTURA

La cobertura del sistema se refiere a las zonas geográficas en las que se va a prestar el servicio. La tecnología más apropiada es aquella que permite una máxima cobertura con un mínimo de radiobases, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios. La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios en cualquier lugar, ya sea local, regional, nacional e incluso mundial, lo que exige acuerdos de interconexión entre diferentes operadoras para extender el servicio a otras áreas de influencia diferentes a las áreas donde cada red ha sido diseñada.

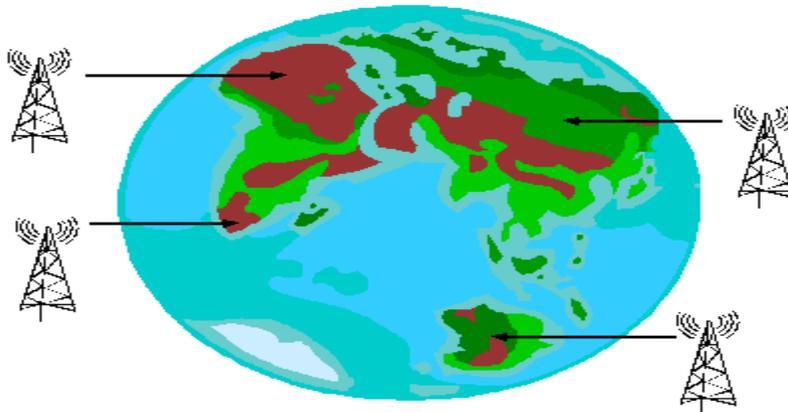


FIGURA 3.4 - COBERTURA GSM

3.7.1 TIPOS DE CELDAS

Según la capacidad y cobertura requeridas en el área de influencia de la red, su diseño implicara la utilización de celdas de diferentes radios y las antenas de las radiobase presentaran diferentes alturas y potencias de transmisión.

MACROCELDAS

Las macroceldas son los modelos de comunicación más comunes para operación celular. El rango de cubrimiento de estas se encuentra entre 1 y 10 Km., por lo que son utilizadas principalmente para el manejo de trafico originado por usuarios que se encuentran en movimiento a gran velocidad, disminuyendo de esta forma el numero de *hand-off* y aumentando de esta manera la calidad del servicio al reducir la probabilidad de caída de llamadas. Antenas utilizadas:

- Omnidireccionales 360°
- Sectoriales $3 \times 120^{\circ}$

MICROCELDAS

El uso de microceldas tiene un rango de cubrimiento entre 100 y 1000 metros, incrementa la capacidad de la red, ya que permite hacer un mayor manejo de tráfico y hace posible la utilización de potencias de transmisión muy bajas.

Desde el punto de vista del operador, esto se traduce en ventajas adicionales como una mejor cobertura, bajos costos de la red por suscriptor y mayor eficiencia en la operación del sistema.

Los requerimientos claves del sistema microcelular incluyen la coexistencia e interoperabilidad con los sistemas ya instalados, necesitándose un desarrollo mínimo de ingeniería para su diseño. Antenas utilizadas:

- Sectoriales

PICOCELDAS

Al reducir muchos más el tamaño de las celdas, se logran las picoceldas, su cubrimiento es menor a 100 metros. Como se sabe, una reducción en el tamaño de una celda implica un aumento en su capacidad (manejo de tráfico), por lo que las picoceldas se utilizan para brindar cobertura en las zonas identificadas como de muy alto tráfico, tales como centros de negocios ó centros comerciales, donde los usuarios tienen un patrón de comportamiento de baja movilidad y se encuentran en un ambiente cerrado. Antenas utilizadas:

- Sectoriales

3.8 BANDAS DE FRECUENCIAS ASIGNADAS PARA 1900 MHz

TABLA 3.2 – FRECUENCIAS ASIGNADAS PARA GSM

Banda	Operador	Canales asignados	Ancho de banda
A	Uefon	512 a 586	15 MHz
B	Telefónica	611 a 683	15 MHz
D	Telcel	587 a 610	5 MHz

3.9 DIMENSIONAMIENTO DE TRÁFICO

3.9.1 TRÁFICO

El tráfico telefónico se asocia al concepto de ocupación. Se dice que un circuito telefónico está cursando tráfico cuando está ocupado, nunca si esta libre. El flujo de tráfico ó tráfico telefónico a través de una central es medible en términos de tiempo, se define como el producto del número de llamadas y su duración promedio durante un periodo de observación de una hora. Es decir:

$$A = CT \quad [\text{Erlangs}] \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

A =Flujo de tráfico

C = No. de llamadas originadas en una hora

T = Tiempo promedio de llamada

El tráfico tiene las siguientes características:

- Intensidad de tráfico: Es el flujo de tráfico expresado en horas-llamadas, y representa el número promedio de llamadas simultáneas.
- Densidad de tráfico: Representa el número de llamadas simultáneas en un instante dado.
- Tráfico transportado: Es el volumen de tráfico manejado por la central, y se obtiene de mediciones.
- Tráfico ofrecido: Es una cantidad no medible, correspondiente al tráfico transportado más el tráfico bloqueado o perdido (si lo hay).

3.9.2 UNIDADES DE TRÁFICO TELEFÓNICO

ERLANG

A la unidad internacional de tráfico telefónico se le denomina Erlang en reconocimiento al matemático danés A. K. Erlang, fundador de la teoría de tráfico telefónico.

Un Erlang representa un circuito ocupado por una hora. La intensidad de tráfico expresada en erlangs representa:

- El número promedio de llamadas en progreso simultáneamente durante el periodo de una hora.
- El número promedio de llamadas originadas durante un periodo de tiempo igual al promedio de llamada normal.
- El tiempo total, expresado en horas, para transportar todas las llamadas.

El número de erlangs para una BTS dependiendo del área en que se encuentre es el siguiente:

- BTS urbana 50 Erlangs.
- BTS rural 25 Erlangs.

Las fórmulas para calcular la frecuencia de recepción (*uplink*) y transmisión (*downlink*) son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 F_{Rx} &= [(\# \text{ canal} - 512)0.2\text{MHz}] + 1850 && \text{[Hz]} && \text{Ecuación 3.2} \\
 F_{Tx} &= [(\# \text{ canal} - 512)0.2\text{MHz}] + 1930
 \end{aligned}$$

CIEN-SEGUNDOS-LLAMADA

Los términos “unidad de llamada” UC (“*Unit call*”) ó su sinónimo ‘Cien-segundos-llamada” CCS (“*Hundred-call-seconds*”) son de uso mas o menos generalizado. Y corresponde al número de circuitos ocupados en observaciones de cada 100 segundos. La relación de los CCS con el Erlang es:

$$1 \text{ Erlang} = 36 \text{ [CCS]} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

3.9.3 GRADO DE SERVICIO

El grado de servicio (Gos) define combinaciones de probabilidad, responde al llamado de tener que esperar para tener servicio (porque todo el tráfico de canales está ocupado) y espera un tiempo límite.

Es por eso que se le considera un parámetro necesario y relevante para el dimensionamiento troncal de la red de trabajo del sistema. Por tal motivo el grado de servicio se define como el porcentaje de llamadas pérdidas o no completadas. Por lo general se utiliza un grado de servicio del 2%.

El grado de servicio debe incluir los dos puntos que se muestran a continuación:

- Una referencia del tiempo de espera.
- Una probabilidad de exceder el tiempo de espera a lo menos con dos niveles de probabilidad, un objetivo diseñado y un nivel de sobrecarga.

3.10 BTS PARA GSM.

MODELO DE BTS.- E-CELL

A continuación se presentan las especificaciones técnicas para este modelo de BTS:

- Rango de Frecuencia: GSM 900 / 1800 / 1900 y banda dual GSM 900 / 1800.
- Sensibilidad del receptor: -104 dBm.
- Potencia de salida mínima: 30 dBm/1 W (modulación GMSK), 27 dBm/0.5 W para EDGE (modulación 8PSK).
- Tamaño del radio gabinete: 31 Litros/1.09 pies cúbicos con equipo de instalación.
- Peso del radio gabinete: 23 kg/50.7 lbs con equipo de instalación.
- Capacidad de un gabinete: O2

- Configuraciones: O2 / O4 / Banda dual en dos gabinetes.
- Instalación: Montado en la pared o en un poste.
- Suministro de potencia: Estándar -48 V DC y opción para 96-254 V AC.
- Tipos de transmisión: E1 (2 Mb/s) o T1 (1.54 Mb/s).
- Alarmas externas: 4 por gabinete.
- Antena interna esta disponible como una opción.
- Batería de respaldo esta disponible como una opción: 15 minutos a 25°C/77°F en energía llena.
- Rango de temperatura de operación: -40°C a + 50°C/-40°F a +122°F.

MODELO DE BTS.- NORTEL GSM BTS 18000 (INTERIORES Y EXTERIORES).

A continuación se presentan las especificaciones técnicas para este modelo de BTS:

- Rango de Frecuencia: GSM/EDGE 900/850/1800/1900 MHz.
- Dimensiones: Interiores (H x W x D): 1.750 m x 0.600 m x 0.600 m y Exteriores (H x W x D): 1.500 m x 1.350 m x 0.735 m.
- Capacidad de un gabinete: Arriba de 18 Transmisores en un solo gabinete. Arriba de 3 radio gabinetes.
- Suministro de potencia: Interiores: DC-48V, opcional +24V, Exteriores: Tres fases 230V (50/60Hz) AC, batería interna o externa del gabinete.
- Rango de temperatura de operación: Interiores: -5° a 45° C , Exteriores: -40° a 50° C



FIGURA 3.5 – NORTEL GSM BTS 18000

MODELO DE BTS.- 6000

A continuación se presentan las especificaciones técnicas para este modelo de BTS:

- Rango de Frecuencia: GSM/EDGE 900/850/1800/1900 MHz.
- Dimensiones: H x W x D: 1.080 m x 0.580 m x 0.655 m.
- Capacidad de un gabinete: Arriba de 6 Transmisores en un solo gabinete, Arriba de 3 radio gabinetes.
- Suministro de potencia: 230 V 50/60 Hz o 48 VDC.
- Rango de temperatura de operación: -33° a 50° C.

MODELO DE BTS.- BTS S12000- INTERIORES Y EXTERIORES.

A continuación se presentan las especificaciones técnicas para este modelo de BTS:

- Rango de Frecuencia: GSM 900 MHz / extendido GSM 900 MHz, GSM 1800 MHz y banda dual GSM 900/1800, GSM 850 MHz, GSM 1900 MHz y banda dual 850 / 1900.
- Sensibilidad del receptor: Sin diversidad: -110 dBm garantizada (**TMA**), Con diversidad: -115 dBm garantizada (TMA).
- Dimensiones: Alto: 1950 mm (Interior) 1910 mm (Exterior), Ancho: 910 mm (Interior) 1350 mm (Exterior), Profundidad: 450 mm (Interior) 650 mm (Exterior).
- Potencia de salida mínima: Estándar: 30W (+/- 0.5 dB) GMSK, 30W (+/- 0.5 dB) 8-PSK EDGE, Opcional: 60W (+/- 0.5 dB) GMSK.
- Peso del radio gabinete: Gabinete vacío: 170 kg (Interior) 200 kg (Exterior), Con equipo: 415 kg (Interior) 570 kg (Exterior).
- Capacidad de un gabinete: Arriba de 12 Transmisores en un solo gabinete, arriba de 3 radio gabinetes.
- Configuraciones: Una banda Trisectorial: Arriba de S12-12-12 (3 radio gabinetes).

- Banda dual Trisectorial: S222_222 (1 radio gabinete).
- Suministro de potencia: tres fases 230V (50/60Hz) AC, Integrada una batería de respaldo.
- Tipos de transmisión: Estándar: 6 E1/T1.
- Rango de temperatura de operación: Interior: -5°a 45°C, Exterior: -40° a 50° C.



FIGURA 3.6 – BTS S12000

3.11 TORRES PARA ANTENAS DE GSM

Son estructuras que contienen diversos tipos de antenas, por ejemplo antenas de GSM y de microondas. Las torres son de gran ayuda para la transmisión de señales, ya que nos ayudan a brindar cobertura a un área determinada evitando los obstáculos que puedan existir.

Existen diversos elementos que estas estructuras deben soportar, como las antenas y equipos para telecomunicaciones, entre otros. La mayoría de estas estructuras son ligeras, por lo que en su diseño se debe considerar la velocidad del viento, y debido a su poco peso el sismo es un elemento que no afecta mucho a estas estructuras

3.11.1 TIPOS DE TORRES PARA TELECOMUNICACIONES

Estas estructuras pueden variar según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se vayan a colocar. Existen desde torres arriostradas (torres con tirantes), torres auto soportadas, monopolos, mástiles, entre otras, las cuales suelen estar compuestas por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, pernos, remaches o por medio de soldadura. Estas estructuras pueden ser de diversas alturas, dependiendo de los requerimientos para poder suministrar un correcto funcionamiento. La geometría de la estructura puede variar de acuerdo a cada fabricante.

Existen actualmente muchas compañías que se dedican a fabricar estas estructuras y muchas de ellas tienen sus modelos optimizados para que se tenga un correcto funcionamiento de la estructura, en donde los perfiles y ángulos varían de tamaño y espesor dependiendo de la altura de la estructura, y del lugar en donde se va a construir, afectando principalmente la velocidad del viento que exista en el lugar en cuestión.

TORRES ARRIOSTRADAS O ATIRANTADAS (SOBRE EDIFICACIONES)

Muchas veces se requieren instalar antenas celulares en puntos específicos o regiones, por lo que se recurre a construir torres arriostradas sobre edificaciones existentes. Estas torres cuentan generalmente de tirantes o arriostres a diferentes distancias. El peso que genera la torre sobre la estructura existente no es muy grande, por lo que no le adiciona mucho peso a la edificación, sin embargo, se debe colocar el apoyo de las torres y sus arriostres sobre columnas y elementos resistentes, porque la descarga de la torre no puede colocarse sobre una losa o algún otro elemento inadecuado, porque este podría fallar. La base de la torre transmitirá un esfuerzo de compresión en el lugar donde esta apoyada, y los arriostres generalmente transmitirán esfuerzos de tensión.

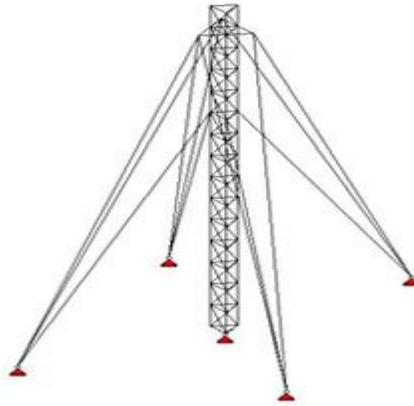


FIGURA 3.7 - MODELO DE TORRE ARRIOSTRADA O ATIRANTADA

Los cables o arriostres generalmente se tensan al 10% de su Resistencia, la cual es proporcionada por el fabricante. Por ejemplo, si el cable tiene una resistencia a la ruptura de 4.95 Ton en tensión, entonces se acostumbra tensar los cables a 0.495 Ton. También se pueden tensar los cables con diferentes fuerzas, calculando una tensión tal que el sistema este en equilibrio.

Cuando al centro de la edificación no se encuentre una columna para poder apoyar la base de la torre, se puede recurrir a la colocación de alguna viga de acero o alguna estructura para que la torre se apoye. Esta estructura podrá apoyarse sobre otras columnas de la edificación.

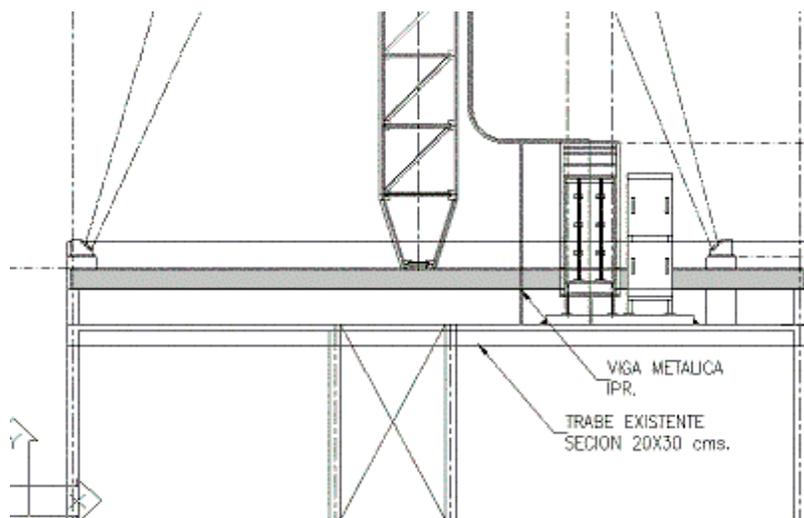


FIGURA 3.8 - MODELO DE TORRE SOBRE VIGA METALICA

TORRES AUTOSOPORTADAS

Estas torres se construyen sobre terrenos, en áreas urbanas o cerros, y deberán de contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre.

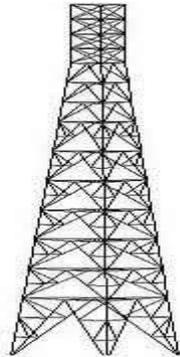


FIGURA 3.9 - CIMENTACION PARA TORRE AUTOSOPORTADA

TORRES TIPO MONOPOLO

Estas estructuras son instaladas en lugares en donde se requiere conservar la estética, pues son las que ocupan menos espacio, y se pintan de algún color o se adornan para que se permita que la estructura se camufleje y se simule la vegetación. Como estas estructuras están sobre terrenos, se debe construir una cimentación adecuada para resistir los efectos de la misma.



FIGURA 3.10 - MODELO DE TORRE TIPO MONOPOLO

3.11.2 UBICACIÓN Y ALTURA DE LAS TORRES

Los teléfonos celulares son radios sofisticados que trabajan con frecuencias que cubren o abarcan áreas o células de cierto diámetro. Departamentos de radiofrecuencia y transmisión determinan la localización de estas antenas, y su altura para que funcionen correctamente. Una vez dada esta ubicación, en donde se tiene un radio de aproximación, se procede a visitar el área y encontrar un lugar adecuado para la instalación de la torre.

Esta área puede estar sobre una casa, y se procede a hacer un levantamiento del inmueble, y verificar su altura, para así saber la altura de la torre a construir. También se debe de revisar que el inmueble este en condiciones óptimas para soportar a la torre. Si el área es un terreno, entonces la torre puede ser autosoportada o tipo monopolo.

3.11.3 EQUIPOS

Cuando se construyen estas torres, se instalan antenas en su parte superior, y en la parte inferior se instalan los equipos adicionales para su funcionamiento. Por ejemplo, se pueden tener contenedores pesados (en el análisis se consideran generalmente de 9 Ton de peso). Esto es para sistemas antiguos, ya que los nuevos equipos casi no pesan nada, como los equipos para tecnología GSM que pesan como 0.5 Ton.



FIGURA 3.11 - CONTENEDOR PARA EQUIPO DE TELECOMUNICACIONES

Al instalar todos los equipos y operar correctamente se está llegando a la utilización de la estructura para lo que fue construida. Hay veces que en una misma estructura se encuentran más de un equipo, ya que la empresa que haya construido la torre, puede rentar a otra empresa para que también instale sus equipos.

3.11.4 ANÁLISIS DE CARGAS

A continuación se muestran las cargas que se consideran para el diseño de una torre para telecomunicaciones:

CARGA MUERTA

Antenas celulares, parábolas, alimentadores, cama para guía de onda, escalera, plataforma triangular y/o descanso. La carga muerta correspondiente al peso de las antenas se tomará directamente de la información proporcionada por el fabricante.

CARGA VIVA

El personal para su instalación. Se considera generalmente 300kgs (3 personas de 100kg cada una).

3.11.5 ANÁLISIS DE FUERZAS DE VIENTO

Las cargas de viento se calculan generalmente por medio de un análisis dinámico. En el caso de las cargas de viento sobre la estructura, estas se obtienen por medio de fórmulas estipuladas en los reglamentos correspondientes para cada país, por ejemplo, en Estados Unidos se calcula por medio del reglamento AESC, en México por medio del reglamento de la CFE, en Argentina por medio del reglamento CIRSOC.

En dichas fórmulas se calculan las áreas de exposición de los elementos estructurales, las cuales se multiplican generalmente por otros coeficientes. Para calcular las fuerzas del viento pero ahora sobre las antenas, se calcula a partir de las medidas experimentales tomadas por los fabricantes del equipo.

3.12 ANTENAS PARA GSM

Una antena es un dispositivo capaz de emitir o recibir ondas de radio. Está constituida por un conjunto de conductores diseñados para radiar (transmitir) un campo electromagnético cuando se le aplica una fuerza electromotriz alterna. De manera inversa, en recepción, si una antena se coloca en un campo electromagnético, genera como respuesta a éste una fuerza electromotriz alterna.

El tamaño de las antenas está directamente relacionado con la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, esta debe ser un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda. Debido a esto, a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño. Asimismo, dependiendo de su forma y orientación, pueden captar diferentes frecuencias, así como niveles de intensidad.

3.12.1 ANTENAS DIRECTIVAS

Antena directiva es aquella que concentra toda la energía de radiación en una dirección preferente, con una ganancia máxima en esa dirección, en consecuencia la ganancia en otras direcciones disminuye. Existen dos tipos básicos de antenas directivas:

- Las que están formadas por diversos elementos, todos ellos activos que suelen denominarse antenas de cortina.
- Las antenas en las que sólo hay un elemento activo y otra serie de elementos no activos que se llaman parásitos.

DIRECTIVIDAD

Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación, a una cierta distancia y la potencia total radiada dividida por el área de la esfera de radio r . La Directividad se puede calcular a partir del diagrama de radiación.

POLARIZACIÓN

Es la indicación de la orientación del vector de campo eléctrico en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo. También se define como la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. En telefonía celular la polarización usada es la vertical.

IMPEDANCIA

Es un parámetro muy importante ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener determinados valores de corriente en la antena y como resultado, una determinada potencia radiada. La impedancia de una antena receptora es la misma que la impedancia de dicha antena actuando como transmisora.

IMPEDANCIA DE ENTRADA

Es la impedancia de la antena en sus terminales. Es la relación entre la tensión y la corriente de entrada.

$$Z = \frac{V}{I} \quad [\text{Ohms}] \quad \text{Ecuación 3.4}$$

La impedancia es compleja. La parte real de la impedancia se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria es la reactancia.

La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas. Las antenas se denominan resonantes cuando se anula su reactancia de entrada.

ANCHURA DEL LÓBULO

Es el punto de máxima radiación, el ángulo donde se obtiene la máxima ganancia, pero no es toda el área de cobertura. Es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Se puede definir el ancho de haz a -3dB, que es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la máxima. También se puede definir el ancho de haz entre ceros, que es el intervalo angular del haz principal del diagrama de radiación, entre los dos ceros adyacentes al máximo.

DIAGRAMA DE RADIACIÓN

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de una distancia fija. Normalmente se representa el módulo del campo eléctrico o la densidad de potencia radiada, pero también se pueden encontrar diagramas de polarización o de fase. Al diagrama de radiación con polarización deseada se le conoce como diagrama copolar y al diagrama de radiación con la polarización contraria se le conoce como contrapolar.

ANCHO DE BANDA

El ancho de banda se puede especificar como el margen de frecuencias en que se cumplen determinadas características. Dicha relación se suele expresar en forma de porcentaje:

$$BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_o} \quad [\text{Hz}] \quad \text{Ecuación 3.5}$$

El ancho de banda de la antena lo determina el sistema del que forme parte y afectará al parámetro más sensible o crítico de la aplicación. Para su especificación los parámetros pueden dividirse en dos grupos, según su relación con el diagrama o con la impedancia. En el primero de los grupos tendremos la directividad, la polarización, el ancho de haz, el nivel del lóbulo principal al secundario y la dirección de máxima radiación. En el segundo, la impedancia de la antena, el coeficiente de reflexión y la relación de onda estacionaria.

GANANCIA

La Ganancia de una antena es igual a la directividad multiplicada por la eficiencia. La ganancia es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección del máximo a una distancia r y la potencia total entregada a la antena dividida por el área de una esfera de radio r .

DIVERSIDAD

La diversidad es usada para incrementar el nivel de la señal transmitida del móvil a la radiobase, enlace ascendente (*uplink*). El problema con esta trayectoria es el hecho de que el teléfono móvil solo trabaja con baja potencia y una antena corta. Diversidad se aplica en el lado de recepción de la radiobase.

3.13 RADIOBASE

La radiobase de GSM esta compuesta generalmente por 3 antenas que funcionan de la siguiente manera:

- Una antena transmisora (Tx)
- Dos antenas receptoras (Rx)

En la figura 3.12 se muestra una radiobase GSM compuesta por las 3 antenas.

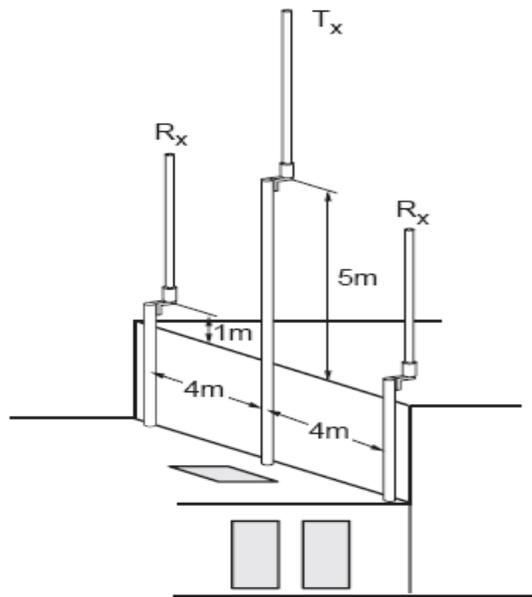


FIGURA 3.12 - RADIOBASE GSM

3.13.1 SECTORES DE LA RADIOBASE.

Por razones de capacidad la comunicación en una radiobase esta dividida en 3 sectores de 120° cada uno, como se muestra en la figura 3.13. Para la cobertura de estos tres sectores se utilizan antenas directivas, estas pueden estar colocadas a la misma altura debido a que las antenas directivas tienen un gran aislamiento.

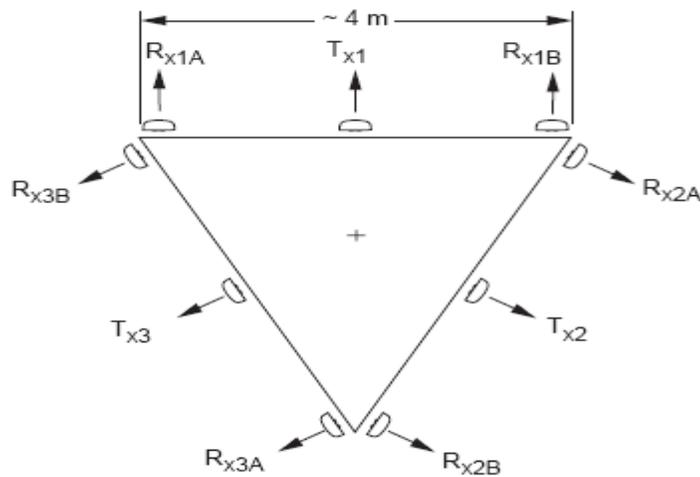


FIGURA 3.13 - SECTORES DE LA RADIOBASE

3.13.2 POLARIZACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL.

La separación entre 2 antenas receptoras con polarizaciones diferentes es de 2λ ya que no existe interferencia entre ellas. Para dos antenas receptoras con igual polarización, la separación es de 10λ esto debido a la interferencia que puede existir entre ellas. Como resultado de esto se tienen las siguientes ventajas:

- Solo se necesitan dos antenas por sector, una con polarización horizontal/Vertical que servirá como antena receptora y una con polarización vertical que servirá como antena transmisora. Esto se muestra en la figura 3.14.

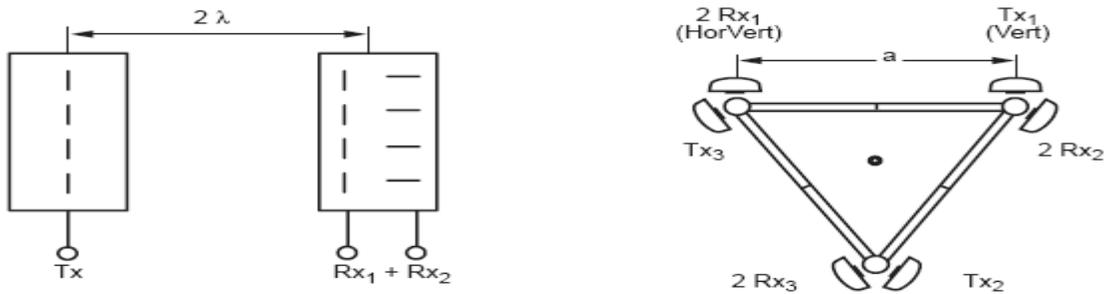


FIGURA 3.14 - SISTEMA DE DOS ANTENAS POR SECTOR.

- Como se requiere una distancia mínima de separación entre dos antenas de polarización diferente, la longitud de cada sector es menor.
- Si, se utiliza un duplexor para separar la recepción y transmisión por una vía de la antena, sólo es necesaria una antena por sector. Como resultado de esto los 3 sectores pueden ser suministrados por un mástil, como se muestra en la figura 3.15.

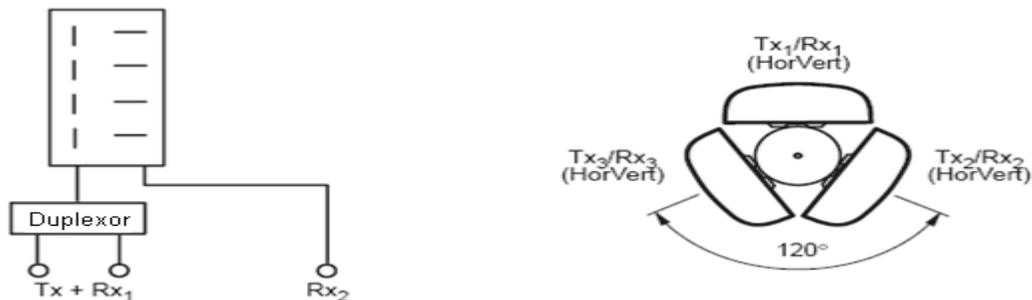


FIGURA 3.15 - SISTEMA CON UNA ANTENA POR SECTOR

3.13.3 POLARIZACIÓN DUAL $\pm 45^\circ$

También es posible utilizar antenas a $+45^\circ/-45^\circ$ en lugar de antenas con polarización horizontal y vertical a $0^\circ/90^\circ$. El sistema de polarización dual es capaz de manejar tanto polarización horizontal como vertical. Esta combinación aporta ciertas ventajas una de ellas es que ambos sistemas de antenas (± 45) pueden ser utilizados para transmitir. Con esto se consigue una mejor transmisión que cuando se utiliza polarización vertical. Ambas polarizaciones son plenamente aptas para Tx si se utilizan antenas de polarización cruzada como se muestran en la Figura 3.16.

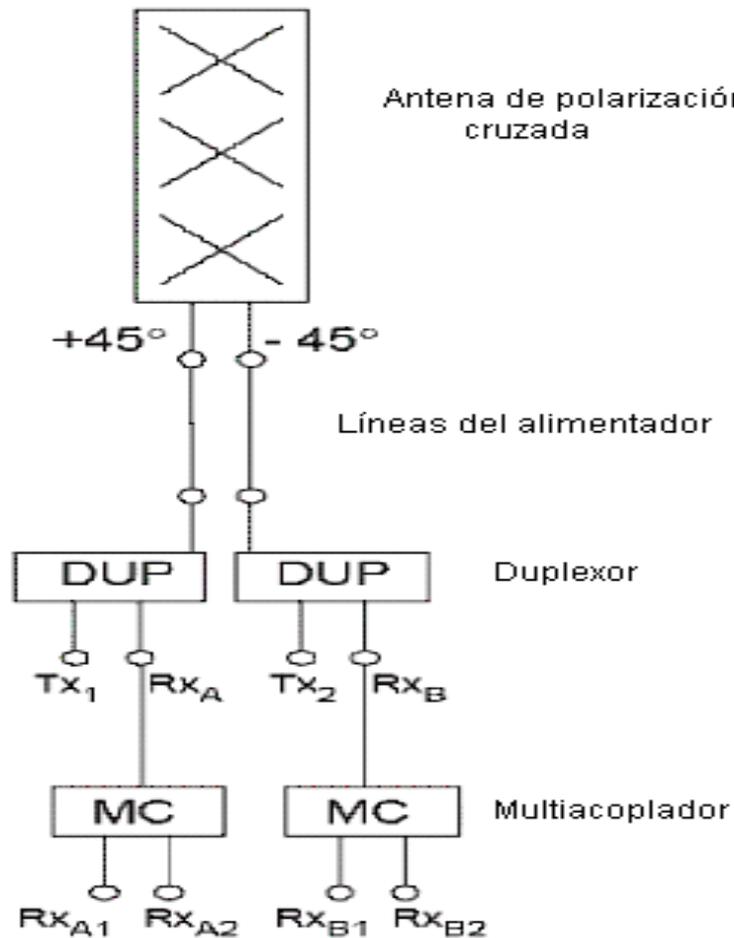


FIGURA 3.16 - SISTEMA DE POLARIZACIÓN CRUZADA

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA PUESTA EN MARCHA DE UNA RADIOBASE UTILIZANDO ESTÁNDAR GSM

4.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

El presente capítulo muestra de manera clara y concisa los cálculos a realizar para el diseño de una radiobase que brinde cobertura de telefonía celular a la comunidad rural de Tepeaca. Se presenta una propuesta del lugar más adecuado y del equipo idóneo para su implementación en el área en particular.

4.2 LOCALIZACIÓN DE LA RADIOBASE

4.2.1 LOCALIZACIÓN SATELITAL DE TEPEACA PUEBLA

Las siguientes figuras muestran el área geográfica del municipio en el que ubicaremos nuestra radiobase, en ellas se muestran las diferentes orientaciones del terreno.

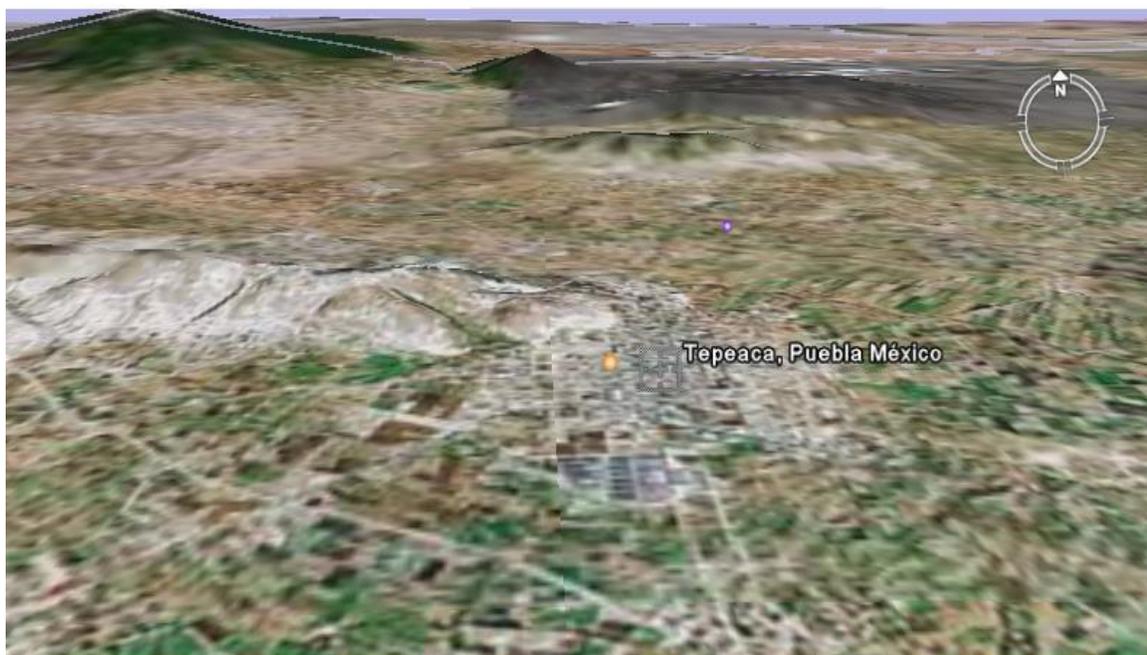


FIGURA 4.1 – ORIENTACIÓN NORTE DE TEPEACA



FIGURA 4.2 – ORIENTACIÓN ESTE DE TEPEACA

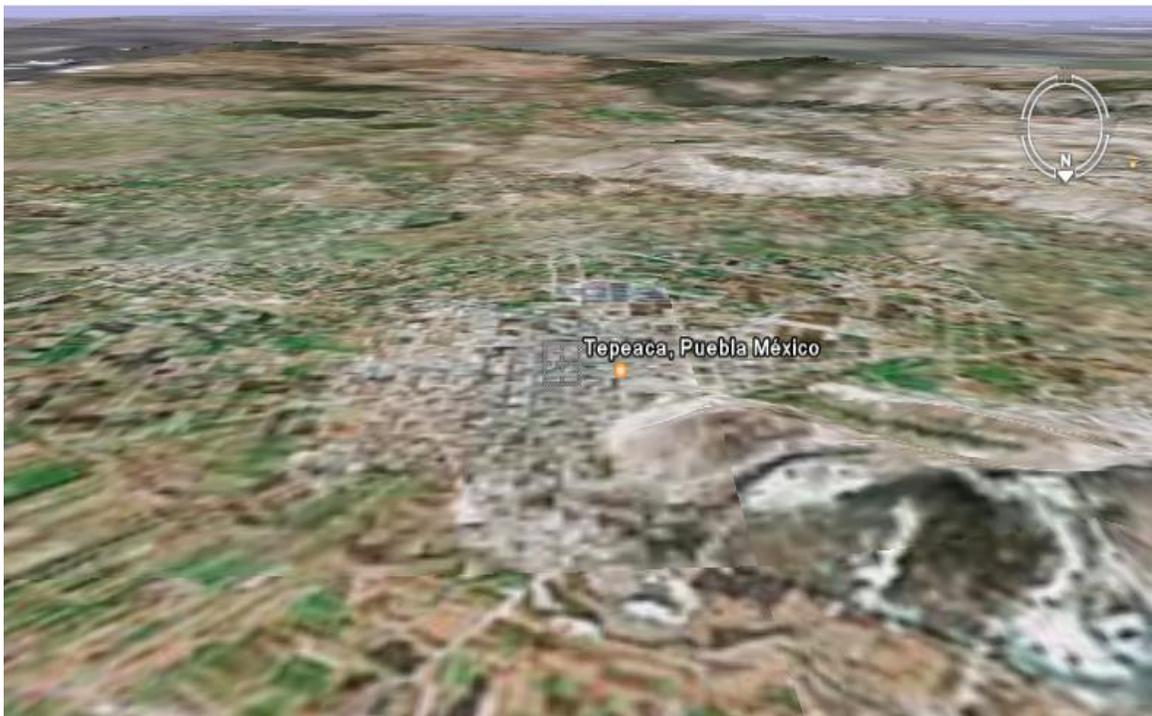


FIGURA 4.3 – ORIENTACIÓN SUR DE TEPEACA

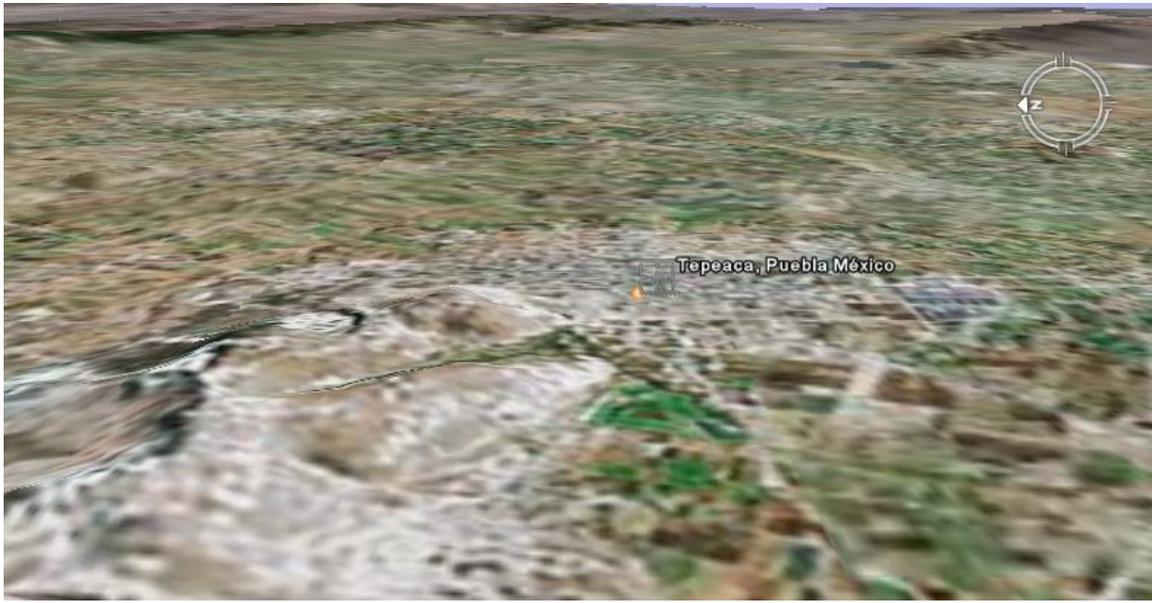


FIGURA 4.4 – ORIENTACIÓN OESTE DE TEPEACA

4.2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA RADIOBASE

Haciendo uso de la carta topográfica E14B54 de Tepeaca Puebla, a continuación se muestra la ubicación exacta de la radiobase a la que llamaremos “Tepeaca”.



FIGURA 4.5 – RADIOBASE TEPEACA

TABLA 4.1 DATOS DE LA RADIOBASE

Nombre de la radiobase	Tepeaca	
Dirección	Carretera Sierra Tentzo	
Municipio	Tepeaca	
Estado	Puebla	
Ubicación física	Suelo	
Referencia para llegar al sitio	A un costado de la Carretera Sierra Tentzo en el kilómetro 17.75	
Coordenadas	Latitud: 18°57'54.70"	Longitud: 97°54'22.71"
Altura sobre el nivel del mar	2255 metros	

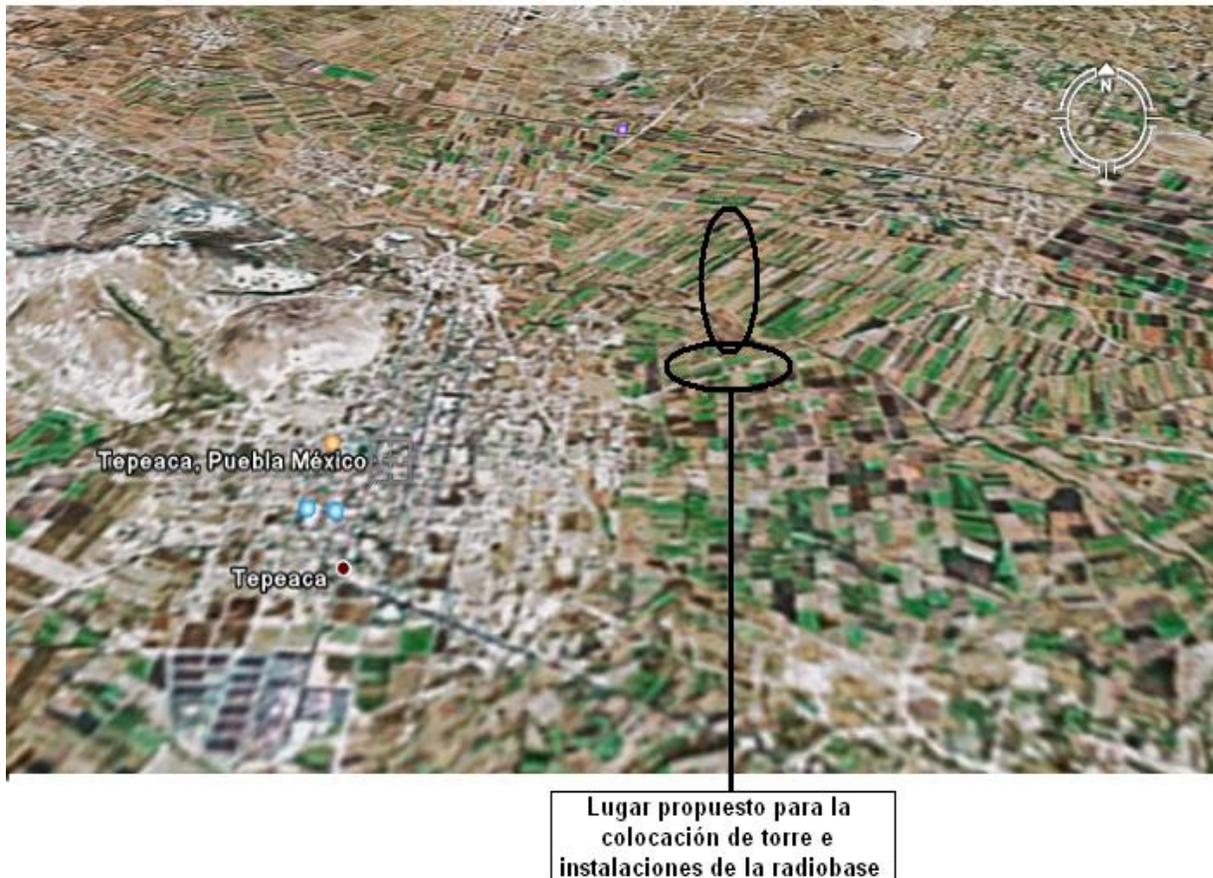


FIGURA 4.6 – LUGAR PROPUESTO PARA LA RADIOBASE DE TEPEACA.



FIGURA 4.7– CONTENEDOR DE UNA BTS



FIGURA 4.8– ANTENAS PARA GSM

4.3 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO DE TRÁFICO

CUANDO EL SISTEMA ES NUEVO

- Identificar el tipo de área en el que se desea brindar el servicio de telefonía celular: Urbana ó Rural.
- Conocer el número total de población económicamente activa en la comunidad donde se desea brindar cobertura.
- Identificar el numero de BTS`s necesarias para ofrecer cobertura a la población, abarcando la mayor distancia posible.
- Si la BTS se encuentra en una zona urbana se tiene un tráfico de 50 erlangs, de lo contrario si se encuentra en una zona rural su tráfico es de 25 erlangs.
- Dependiendo del número de sectores a utilizar se obtiene el tráfico de erlangs.
- Se ocupara un grado de servicio (GoS) del 2% que es el porcentaje estándar utilizado en la práctica.
- En base a los datos de tráfico de erlangs por sector y grado de servicio, utilizando la tabla de erlang B, se obtiene el número de canales de tráfico a los cuales se les sumaran 2 canales de control para obtener el número total de canales, cabe mencionar que una portadora tiene 8 canales.
- Realizar el esquema de reuso de frecuencia GSM 4/12 identificando la banda de frecuencias y el numero de portadoras a ocupar.
- Calcular las frecuencias de recepción y transmisión por canal.
- Calcular el número de llamadas posibles a realizar por sector, y el número total de llamadas por radio base en una hora. Se tiene que tomar en cuenta que cada canal otorga servicio a 8 usuarios.
- Por reglamentación un usuario requiere 25mErlangs para realizar una llamada.

4.3.1 ANALISIS DE COBERTURA

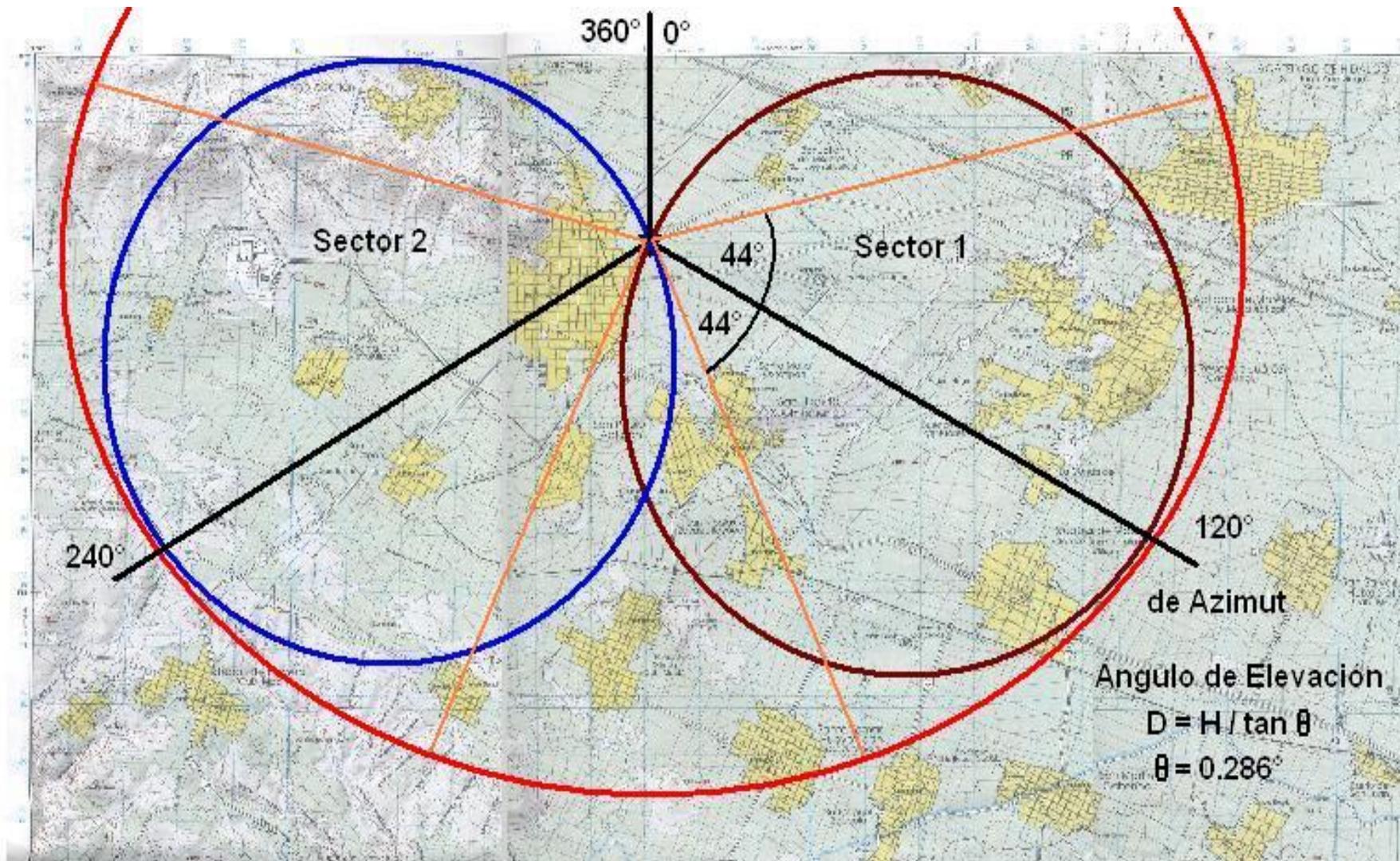


FIGURA 4.9 – LOBULOS DE RADIACION DE LA RADIOBASE

4.3.2 CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO DE TRÁFICO

Para la comunidad rural de Tepeaca se propone una BTS utilizando 2 sectores de la misma para brindar cobertura a 20,201 habitantes que son la población económicamente activa.

Grado de servicio = 2%

Trafico de Erlangs:

$$\text{Tráfico de Erlangs} = \frac{\text{Tráfico en Zona Rural}}{\text{Número de Sectores}} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$\text{Tráfico de Erlangs} = \frac{25\text{Erlangs}}{2} = 12.5\text{Erlangs}$$

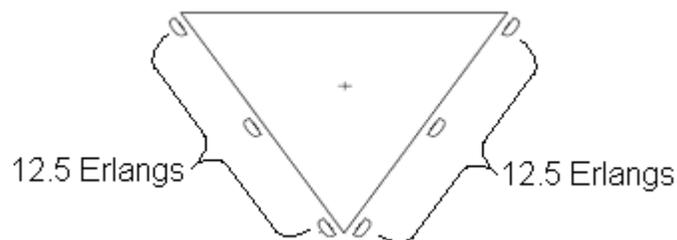


FIGURA 4.10 – SECTORES DE LA RADIOBASE

Con un tráfico de 12.5 Erlangs y un grado de servicio del 2%, aplicando la tabla de Erlang B con estos datos se obtiene que se necesitan 19 canales de tráfico (voz y datos) más 2 de control (señalización y sincronización de móviles) dando un total de 21 canales.

1 portadora = 8 canales

3 portadora = 24 canales

TABLA 4.2 TABLA B DE ERLANG

N	1%	1.5%	2%	3%	5%	10%
1	0.0101	0.0152	0.0204	0.309	0.0526	0.111
2	0.153	0.190	0.223	0.282	0.381	0.595
3	0.455	0.535	0.602	0.715	0.899	1.27
4	0.889	0.992	1.09	1.26	1.62	2.05
5	1.36	1.52	1.66	1.88	2.22	2.88
6	1.91	2.11	2.28	2.54	2.96	3.76
7	2.50	2.74	2.94	3.25	3.74	4.87
8	3.13	3.40	3.63	3.99	4.54	5.80
9	3.78	4.09	4.34	4.75	5.37	6.56
10	4.46	4.81	5.08	5.53	6.22	7.51
11	5.16	5.54	5.84	6.33	7.08	8.49
12	5.88	6.29	6.61	7.14	7.95	9.47
13	6.61	7.05	7.40	7.97	8.83	10.5
14	7.35	7.82	8.20	8.80	9.73	11.5
15	8.11	8.61	9.01	9.65	10.6	12.5
16	8.88	9.41	9.83	10.5	11.5	13.5
17	9.65	10.2	10.7	11.4	12.5	14.5
18	10.4	11.0	11.5	12.2	13.4	15.5
19	11.2	11.8	12.3	13.1	14.3	16.6
20	12.0	12.7	13.2	14.0	15.2	17.6
21	12.8	13.5	14.0	14.9	16.2	18.7
22	13.7	14.3	14.9	15.8	17.1	19.7
23	14.5	15.2	15.8	16.7	18.1	20.7
24	15.3	16.0	16.6	17.6	19.0	21.8
25	16.1	16.9	17.5	18.5	20.0	22.8
26	17.0	17.8	18.4	19.4	20.9	23.9
27	17.8	18.6	19.3	20.3	21.9	24.9
28	18.6	19.5	20.2	21.2	22.9	26.0
29	19.5	20.4	21.0	22.1	23.8	27.1
30	20.3	21.2	21.9	23.1	24.8	28.1
40	29.0	30.1	30.9	32.4	34.6	38.3

En base a la tabla 4.3 se escoge la banda B de frecuencias para realizar el esquema de reuso de frecuencias que se presenta a continuación:

TABLA 4.3 ESQUEMA DE REUSO DE FRECUENCIAS GSM BANDA B

A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622
623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634
635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646
647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658
659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670
671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682
683											
Sector 1						Sector 2					

La tabla anterior muestra que se ocupan los sectores B₁ y B₂ de donde se obtienen tres portadoras por cada sector que se necesitan para calcular las frecuencias de transmisión y recepción de cada canal.

TABLA 4.4 ESQUEMA DE REUSO DE FRECUENCIAS GSM BANDA B

SECTOR 1	SECTOR 2
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencias asignadas para la portadora 612: Frecuencia de Subida: 1870 MHz Frecuencia de Bajada: 1950 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencias asignadas para la portadora 616: Frecuencia de Subida: 1870.8 MHz Frecuencia de Bajada: 1950.8 MHz
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencias asignadas para la portadora 624: Frecuencia de Subida: 1872.4 MHz Frecuencia de Bajada: 1952.4 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencias asignadas para la portadora 628: Frecuencia de Subida: 1873.2 MHz Frecuencia de Bajada: 1953.2 MHz
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencias asignadas para la portadora 636: Frecuencia de Subida: 1874.8 MHz Frecuencia de Bajada: 1954.8 MHz 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frecuencias asignadas para la portadora 640: Frecuencia de Subida: 1875.6 MHz Frecuencia de Bajada: 1955.6 MHz

Número de llamadas por sector (N_S):

$$N_S = (24 \text{ canales}) (8 \text{ usuarios por canal}) = 192 \text{ llamadas}$$

Número de llamadas totales (N_T) por radiobase:

$$N_T = (192 \text{ llamadas}) (2 \text{ sectores}) = 384 \text{ llamadas}$$

Número de usuarios por sector (N_U):

$$N_U = 12.5 \text{ Erlangs} / 25 \text{ mErlangs} = 500 \text{ usuarios}$$

Número de usuarios totales (N_{UT}) por radiobase:

$$N_{UT} = (500 \text{ usuarios}) (2 \text{ sectores}) = 1000 \text{ usuarios}$$

4.4 DATOS DE CONFIGURACIÓN

TABLA 4.5 ESPECIFICACIONES DE ANTENAS

Sector	1	2
Portadoras por sector	3	3
Azimuth	120°	240°
Tilt mecánico	0°-8°	0°-8°
Altura del Tx	50m	50m
Tipo de antenas	Directiva tipo panel	Directiva tipo panel
Antenas por sector	2	2
Polarización de antenas	Dual	Dual
Modelo de antenas	741-989	741-989
Proveedor de antenas	Kathrein	Kathrein

TABLA 4.6 ESPECIFICACIONES DE LA TORRE

Tipo de Torre	Triangular Autosoportada
Antenas instaladas en la torre	Mástil volado
Ubicación Física	Piso firme
Altura de torre	60m
Proveedor	Trylon TSF

TABLA 4.7 ESPECIFICACIONES DE LA BTS

Modelo	BTS S12000
Proveedor	Nortel
Rango de Frecuencia	GSM 900/1800/1900 MHz
Sensibilidad del receptor	Con diversidad: -115 dBm Sin diversidad: -110 dBm
Suministro de potencia	3 fases 230 V
Rango de temperature	-40° a 50° C



Torre autoportada



Contenedor



Antena Directiva

FIGURA 4.11 – EQUIPO A UTILIZAR

4.4.1 DIAGRAMA A ESCALA DE LA RADIOBASE

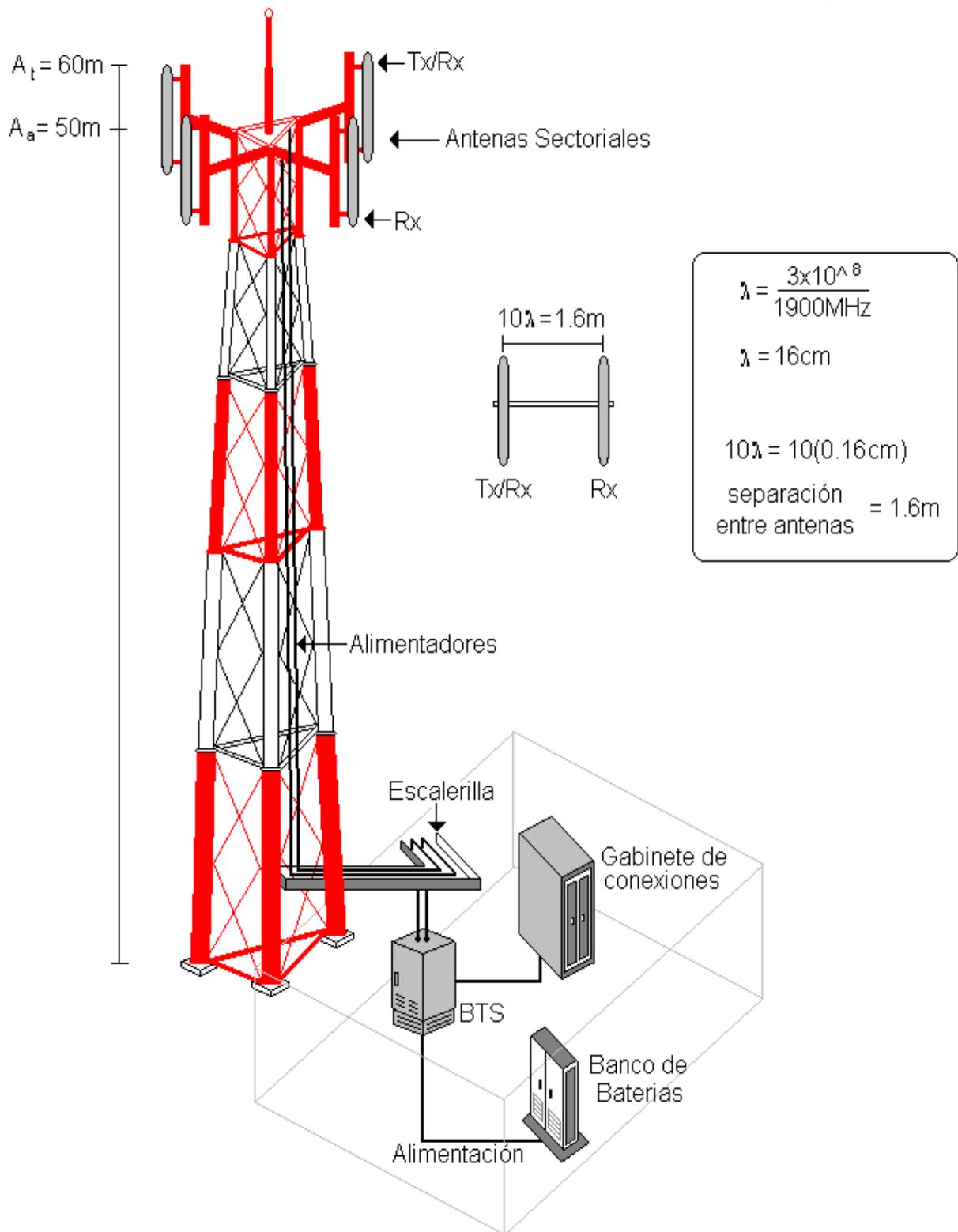


FIGURA 4.12 – REPRESENTACIÓN FINAL DE LA RADIOBASE TEPEACA

4.5 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA

1) El primer paso es calcular la potencia máxima de salida de la BTS, para esto se debe conocer la sensibilidad tanto de la BTS (BTS_{SENS}) como del móvil (MS_{SENS}), estos valores se obtienen de las hojas de especificación de cada fabricante. De igual forma se debe conocer la ganancia por diversidad de la BTS (G_d) y el valor equivalente a las pérdidas del combinador (L_{CBTS}), por último se debe conocer la potencia de salida del móvil ($P_{out_{MS}}$). Una vez obtenidos los valores anteriores se procede a calcular la potencia de salida de la BTS ($P_{out_{BTS}}$), mediante la fórmula siguiente:

$$P_{OUTBTS} = P_{OUTms} + Lc + Gd + (MS_{sens} - BTS_{sens}) \text{ [dBm]}$$

2) El siguiente paso a realizar es el cálculo de las pérdidas del sistema, para esto se debe determinar la altura tanto del transmisor (h_{te} o h_{tx}) como del receptor (h_{re} o h_{rx}), la frecuencia de operación de nuestro sistema, de acuerdo al estándar a utilizar (GSM1900), la distancia máxima a la que brindaremos cobertura (d). Un aspecto importante es la elección del modelo de propagación en base a las características del lugar, se debe elegir el tipo de área (rural, suburbana, urbana), para nuestro proyecto se utilizará el modelo de propagación de Hata-Extendido o modelo de Cost-231 ya que la planeación de la estación base se realizará en un área rural para una frecuencia de 1900 y una distancia de 50km, de acuerdo a los rangos establecidos por el modelo de propagación.

En base al modelo de Hata-Extendido se tienen las siguientes fórmulas:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ [dB]}$$

$$L_{50}(\text{urbano}) = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d + C_M$$

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c - 40.98 \text{ [dB]}$$

3) El último paso es el cálculo de la potencia efectiva radiada (PIRE o EiRP), para ello se debe conocer el valor de la potencia de salida de la BTS ($P_{OUT_{BTS}}$) calculado en el primer paso, además debemos saber las pérdidas del feeder (obtenido de hojas de especificación del fabricante), y la ganancia de la antena transmisora (G_{TX}), posteriormente procedemos al calculo de la EiRP utilizando la formula siguiente:

$$ERP = P_{OUT_{BTS}} - Lc - Lf + G_{TX} \text{ [dBm]}$$

$$EiRP = ERP - L_p \text{ [dBm]}$$

4.4.1 CÁLCULOS DE POTENCIA

1.- BALANCE DEL SISTEMA

$$P_{OUT_{ms}} = 31.76 \text{ dBm} = 1.5 \text{ watt}$$

$$Gd = 5 \text{ dB}$$

$$Lc = 4 \text{ dB}$$

$$MS_{sens} = -100 \text{ dBm}$$

$$BTS_{sens} = -110 \text{ dBm}$$

$$P_{OUT_{BTS}} = P_{OUT_{ms}} + Lc + Gd + (MS_{sens} - BTS_{sens})$$

$$P_{OUT_{BTS}} = 31.76 + 4 + 5 + (-100 - (-110))$$

$$P_{OUT_{BTS}} = 50.76 \text{ dBm}$$

2.- POTENCIA EFECTIVA RADIADA

$$P_{OUT_{BTS}} = 50.76 \text{ dBm}$$

$$Lc = 4 \text{ dB}$$

$$Lf = 3 \text{ dB}$$

$$G_{TX} = 16.8 \text{ dBi}$$

$$ERP = P_{OUT_{BTS}} - Lc - Lf + G_{TX}$$

$$ERP = 50.76 - 4 - 3 + 16.8$$

$$ERP = 60.56 \text{ dBm}$$

3.- CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS

TIPO DE ÁREA RURAL

$$h_{te} = h_{Tx} = 50m$$

$$h_{re} = h_{Rx} = 1.6m$$

$$f_c = 1900MHz$$

$$d = 10Km$$

FACTOR DE CORRELACIÓN PARA LA ALTURA EFECTIVA DEL MÓVIL

$$a(h_{re}) = (1.1\log f_c - 0.7)h_{re} - (1.56\log f_c - 0.8)$$

$$a(h_{re}) = (1.1\log 1900 - 0.7)1.6 - (1.56\log 1900 - 0.8)$$

$$a(h_{re}) = 0.335dB$$

UTILIZANDO EL MODELO DE HATA EXTENDIDO LAS PÉRDIDAS POR TRAYECTORIA SON:

$$L_{50}(\text{urbano}) = 46.3 + 33.9\log f_c - 13.82\log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55\log h_{te})\log d + C_M$$

$$L_{50}(\text{urbano}) = 46.3 + 33.9\log 1900 - 13.82\log 50 - 0.335 + (44.9 - 6.55\log 50)\log 10 + 0$$

$$L_{50}(\text{urbano}) = 167.40dB$$

PÉRDIDAS POR TRAYECTORIA PARA UN ÁREA RURAL

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78(\log f_c)^2 - 18.33\log f_c - 40.98$$

$$L_{50}(\text{rural}) = 167.40 - 4.78(\log 1900)^2 - 18.33\log 1900 - 40.98$$

$$L_{50}(\text{rural}) = 14.93dB$$

PÉRDIDAS EN EL PUNTO MÁS LEJANO

$$L_p = L_{50}(\text{urbano}) - L_{50}(\text{rural})$$

$$L_p = 167.40 - 14.93$$

$$L_p = 152.47 \text{ dB}$$

POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA

$$EiRP = ERP - L_p$$

$$EiRP = 60.56 - 152.47$$

$$EiRP = -91.91 \text{ dBm}$$

CONCLUSIONES

En la actualidad todas las empresas de telefonía móvil buscan brindar un mejor servicio de cobertura, el cual proporcione una comunicación eficiente en cualquier lugar y en todo momento, por tal motivo continuamente se buscan implementar nuevas radiobases que logren este objetivo.

En este trabajo de tesis, se presento el diseño de una radiobase la cual tiene como fin aumentar el rendimiento de la telefonía móvil en la comunidad rural de Tepeaca, Puebla, para conseguir esto, se mostro una propuesta que ayuda a disminuir el problema de falta de cobertura que existe y así generar mayores ganancias para la población. Es necesario hacer notar que el simple hecho de disminuir el problema de cobertura traerá múltiples beneficios a la comunidad tanto en el ámbito industrial y comercial, como a la sociedad en general, trayendo como consecuencia el aumento de la demanda del servicio.

Dentro de este trabajo se plantea la puesta en marcha de una radiobase, situación que fue sumamente complicada. Los resultados obtenidos son alentadores, sin embargo los costos de fabricación son elevados, por tal motivo no es viable en este momento llevar a cabo la puesta en marcha de la radiobase para nosotros, aunque tenemos confianza que en un futuro cualquier empresa de telefonía móvil puede llevar a cabo este proyecto.

Es necesario reconocer que los factores externos que afectan a cualquier empresa son múltiples y cambiantes. En este sentido deberán de tomarse en cuenta para poner en marcha la radiobase en el momento más oportuno, es por eso, que solo se realizo la planeación y se ejecutara el proyecto cuando las condiciones económicas así lo permitan.

Los logros alcanzados en el desarrollo de esta investigación ayudaran a reducir de manera importante el problema planteado, por lo que merece la pena seguir trabajando para alcanzar una reducción mayor en el futuro inmediato.

El objetivo de este trabajo, implica el suministrar servicio de telefonía celular mediante la aplicación de una propuesta, este se alcanzo, ya que fue posible establecer una planeación con la que se brindara cobertura a la comunidad de Tepeaca. Es necesario mencionar que los datos utilizados en la planeación de la radiobase son reales y no meras proyecciones, por lo que los resultados presentados son veridicos.

Este trabajo de tesis llevo la investigación al terreno practico, por tal motivo debe recordarse que la constancia y disciplina en la ejecución de esta propuesta será de gran ayuda, ya que de nada servirá haber logrado un objetivo si este se olvida y desvanece con el tiempo

Un punto que cabe mencionar y que fue de vital importancia en este trabajo, es que una planeación adecuada de los materiales y equipos es necesaria, debido a que poco o nada se podrá lograr sino se cuenta con la información correcta y cálculos acertados de perdidas y potencias. Aunque el trabajo se dirigió más a la parte teórica que a la practica, no se descuido el efecto que tendría el llevar a cabo la puesta en marcha de la radiobase.

La planeación que se realizo en este trabajo puede servir de base para el desarrollo de nuevas propuestas, cuyo fin, sea alcanzar mayor productividad y hacer mas rentables las empresas de telefonía móvil, para que estas puedan ser mas competitivas en un mundo cada vez mas globalizado que exige lo mejor de cada individuo que trabaja en ella, para otorgar un servicio de mayor calidad a toda la población.

ANEXOS

Multi-band F-Panel 1710-2200
Dual Polarization X
Half-power Beam Width 88°
Adjust. Electrical Downtilt 0°-8°
 set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

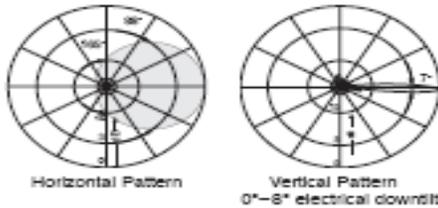
KATHREIN
 Antennen · Electronic

XPol F-Panel 1710-2200 88° 17dBi 0°-8°T

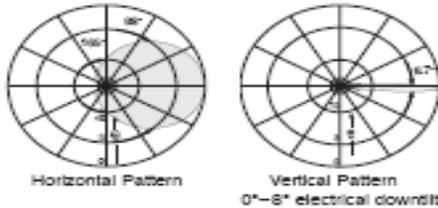
Type No.	741 989		
Frequency range	1710 - 1880 MHz	1710-2200 1850 - 1990 MHz	1920 - 2200 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 16.5 dBi	2 x 16.8 dBi	2 x 16.7 dBi
Half-power beam width Copoloar +45°/-45°	Horizontal: 88° Vertical: 7°	Horizontal: 88° Vertical: 6.7°	Horizontal: 88° Vertical: 6.5°
Electrical tilt continuously adjustable	0°-8°	0°-8°	0°-8°
Vertical Pattern - sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 2° ... 5° ... 8° T 18 ... 18 ... 16 ... 14 dB	0° ... 2° ... 5° ... 8° T 20 ... 20 ... 18 ... 17 dB	0° ... 2° ... 5° ... 8° T 18 ... 18 ... 18 ... 17 dB
Front-to-back ratio (180° ± 30°)	Copoloar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copoloar: > 25 dB Total power: > 25 dB	Copoloar: > 24 dB Total power: > 24 dB
Cross polar ratio Maindirection Sector	0° ±60° Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB
Isolation, between ports	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc		
Max. power per Input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



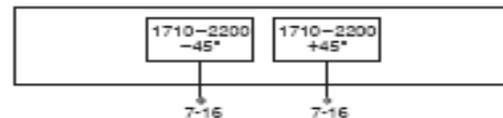
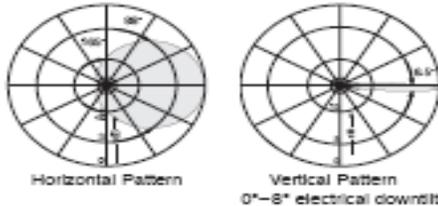
1710 - 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 - 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 - 2200 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Weight	7.5 kg
Wind load	Frontal: 130 N (at 150 km/h) Lateral: 110 N (at 150 km/h) Rearside: 310 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1574 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	1302 / 155 / 69 mm

FIGURA A - ESPECIFICACIONES ANTENA 741 989

Multi-band F-Panel
Dual Polarization
Half-power Beam Width
Adjust. Electrical Downtilt
 set by hand or by optional RCU (Remote Control Unit)

1710-2170
 X
 88°
 0°-6°

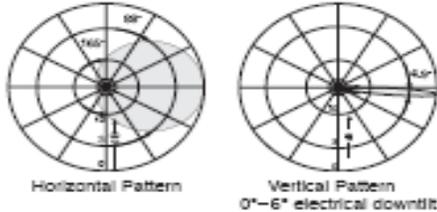
KATHREIN
 Antennen · Electronic

XPol F-Panel 1710-2170 88° 18dBi 0°-6°T

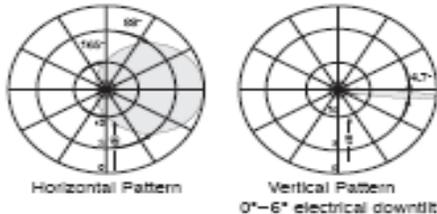
Type No.	741 990		
Frequency range	1710 - 1880 MHz	1710-2170 1850 - 1990 MHz	1920 - 2170 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 17.7 dBi	2 x 18 dBi	2 x 18.2 dBi
Half-power beam width Copolars +45°/-45°	Horizontal: 88° Vertical: 4.9°	Horizontal: 88° Vertical: 4.7°	Horizontal: 88° Vertical: 4.5°
Electrical tilt continuously adjustable	0°-6°	0°-6°	0°-6°
Vertical Pattern - sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 2° ... 4° ... 6° T 17 ... 17 ... 17 ... 17 dB	0° ... 2° ... 4° ... 6° T 18 ... 18 ... 18 ... 18 dB	0° ... 2° ... 4° ... 6° T 18 ... 18 ... 18 ... 18 dB
Front-to-back ratio, copolar total power	> 25 dB > 25 dB	> 25 dB > 25 dB	> 25 dB > 25 dB
Cross polar ratio Maindirection Sector ±50°	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB
Isolation, between ports	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc		
Max. power per Input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



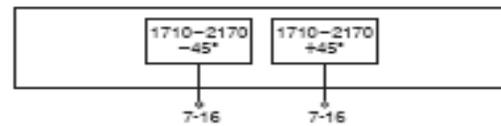
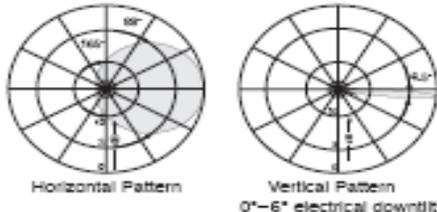
1710 - 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 - 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 - 2170 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Weight	9 kg
Wind load	Frontal: 195 N (at 150 km/h) Lateral: 160 N (at 150 km/h) Rearside: 480 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	2214 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	1942 / 155 / 69 mm

FIGURA B - ESPECIFICACIONES ANTENA 741 990

Multi-band F-Panel
Dual Polarization
Half-power Beam Width
Excellent Sidelobe Suppression

1710–2170

X

88°

20 dB

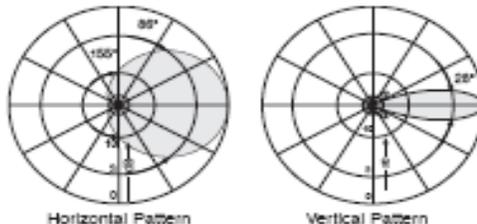
KATHREIN
 Antennen · Electronic

XPoL F-Panel 1710–2170 88° 11.5dBi

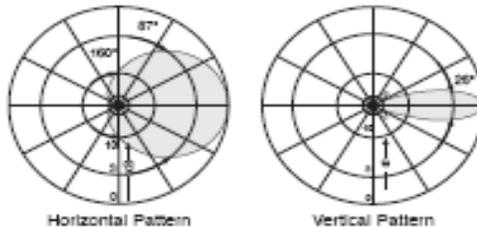
Type No.	741 984		
Frequency range	1710 – 1880 MHz	1850 – 1990 MHz	1920 – 2170 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 11.3 dBi	2 x 11.5 dBi	2 x 11.6 dBi
Half-power beam width Copolar +45°/-45°	Horizontal: 86° Vertical: 28°	Horizontal: 87° Vertical: 26°	Horizontal: 88° Vertical: 26°
Sidelobe suppression vertical sector ±45°	> 20 dB	> 20 dB	> 20 dB
Front-to-back ratio (180° ± 30°)	Copolar: > 23 dB Total power: > 23 dB	Copolar: > 23 dB Total power: > 23 dB	Copolar: > 23 dB Total power: > 23 dB
Cross polar ratio Maindirection Sector	0° ±60°	Typically: 20 dB > 18 dB	Typically: 20 dB > 15 dB
Isolation, between ports	> 30 dB		
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.4		
Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier)	< -150 dBc		
Max. power per input	150 W (at 50 °C ambient temperature)		



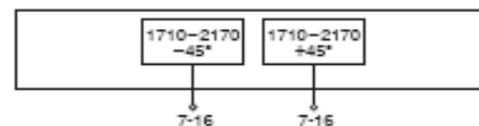
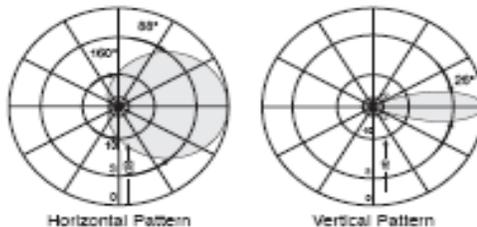
1710 – 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 – 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 – 2170 MHz: +45°/-45° Polarization

**Mechanical specifications**

Input	2 x 7-16 female
Connector position [†]	Bottom or top
Weight	2 kg
Wind load	Frontal: 35 N (at 150 km/h) Lateral: 25 N (at 150 km/h) Rearside: 80 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	444 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	342 / 155 / 69 mm

[†] Inverted mounting:
 Connector position top: Change drain hole screw.

FIGURA C – ESPECIFICACIONES ANTENA 741 984

**Multi-band F-Panel
Dual Polarization
Half-power Beam Width
Fixed Electrical Downtilt**

1710-2200
X
65°
2°

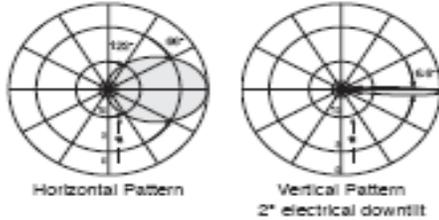
KATHREIN
Antennen · Electronic

XPol F-Panel 1710-2200 65° 18.3dBi 2°T

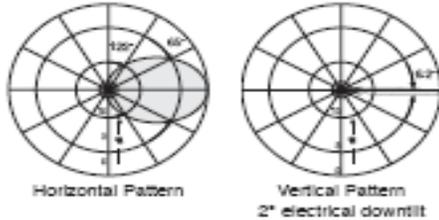
Type No.	800 10426		
Frequency range	1710 - 1880 MHz	1850 - 1990 MHz	1920 - 2200 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 17.9 dBi	2 x 18.1 dBi	2 x 18.3 dBi
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	66°	65°	63°
Front-to-back ratio, copolar	> 28 dB	> 30 dB	> 33 dB
Cross polar ratio 0° Sector ±60°	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB	Typically: 20 dB > 10 dB
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	6.6°	6.2°	5.8°
Electrical tilt	2°, fixed	2°, fixed	2°, fixed
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	> 14 dB	> 15 dB	> 15 dB
First null-fill below main beam	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB	Typically: 25 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.4		
Isolation, between ports	> 30 dB		
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per Input	300 W (at 50 °C ambient temperature)		



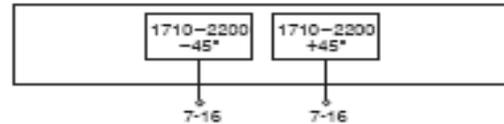
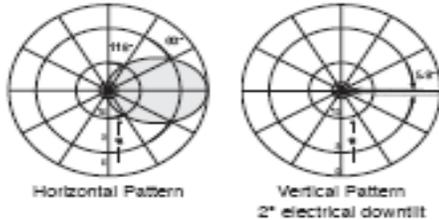
1710 - 1880 MHz: +45°/-45° Polarization



1850 - 1990 MHz: +45°/-45° Polarization



1920 - 2200 MHz: +45°/-45° Polarization



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Weight	6.6 kg
Wind load	Frontal: 130 N (at 150 km/h) Lateral: 110 N (at 150 km/h) Rearside: 310 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	1404 x 172 x 92 mm
Height/width/depth	1302 / 155 / 69 mm

FIGURA D - ESPECIFICACIONES ANTENA 800 10426

BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. H. Hayt. **Teoría Electromagnética**. Mc Graw Hill. 2ª. Edición. 1985. México.
- [2] David Muñoz Rodríguez. **Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal**. Alfaomega. 3ª. Edición. 2002. México D.F.
- [3] José M. Hernández. F. Pérez-Fontán. **Introduction to Mobile Communication Engineering**. Artech House Publishers. 2ª. Edición. 1999. Boston London.
- [4] Eugenio Rey. **Telecomunicaciones Mviles**. Alfaomega Marcombo. 2ª. Edición. 1999. Barcelona España.
- [5] Jhon Wiley y Sans, Husni Hammuda. **Cellular Mobile Radio Systems**. Wiley. 2ª. Edición. 1997. New York.
- [6] Domingo Lara Rodríguez, David Muñoz Rodríguez. **Sistema de Comunicación Móvil**. Alfaomega. 1ª. Edición. 1995. México.
- [7] Danielle Graziani, Michael Mould. **Roaming with GSM**. Itineris. 1ª. Edición. 1995. Francia.
- [8] www.inegi.gob.mx
- [9] www.puebla.gob.mx
- [10] www.kathrein.com