



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

*Escuela Superior de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica*

**"DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS
DEDICADO ENTRE LAS RADIO BASES DE
ACAJETE, CUACNOPALA, ESPERANZA Y UNA
CENTRAL EN PUEBLA"**

TESIS
PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTAN:

Flores Mercado Miguel Angel
Hernández Pérez Marco Antonio
Martínez Montoya Wady

Directores de la tesis:
M. en C. Fabiola Martínez Zúñiga
Ing. Guillermo Santillan Guevara

ESIME ZACATENCO

MÉXICO, D.F., DICIEMBRE 2007

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ ADOLFO LOPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCION DE TITULACION TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**C. MIGUEL ANGEL FLORES MERCADO
C. MARCO ANTONIO HERNÁNDEZ PÉREZ
C. WADY MARTÍNEZ MONTOYA**

**“DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO ENTRE LAS RADIO BASES DE
ACAJETE, CUACNOPALA, ESPERANZA Y UNA CENTRAL EN PUEBLA”**

**DISEÑAR UN ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO QUE PERMITA LA COMUNICACIÓN
ENTRE UNA ESTACIÓN BASE CONTROLADORA, UBICADA EN LA CIUDAD DE PUEBLA, QUE
OPERA BAJO EL ESTANDAR GSM Y LAS ESTACIONES BASE NODO UBICADAS EN LAS
ENTIDADES DE: ACAJETE, CUACNOPALA Y ESPERANZA.**

- **INDÍCE GENERAL**
- **INDÍCE DE FIGURAS**
- **INDÍCE DE TABLAS**
- **INTRODUCCIÓN GENERAL**
- **HIPÓTESIS**
- **OBJETIVO GENERAL**
- **JUSTIFICACIÓN**
- **ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DE LA TELEFONÍA CELULAR**
- **PRINCIPIOS Y ESTRUCTURA DE GSM**
- **ESTUDIO TÉCNICO REGIONAL, ESTRUCTURA INTERNA DE UNA BTS Y LA BSC.**
- **DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO**
- **ANEXO A**
- **ANEXO B**
- **GLOSARIO DE TÉRMINOS**
- **BIBLIOGRAFÍA**

MÉXICO D.F., 25 DE JUNIO 2008

ASESORES


M. EN C. FABIOLA MARTÍNEZ ZUÑIGA.


ING. GUILLERMO SANTILLÁN GUEVARA.


M. EN C. RICARDO MENESES GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
JEFATURA
DE I.C.E.

AGRADECIMIENTOS

Ahora que las circunstancias me han hecho encaminarme hacia otros nuevos horizontes que irán mas allá de una perspectiva estudiantil, y remontando la visión de mi vida hacia un futuro de trabajo y recompensa por los largo años de estudio.

Siento la necesidad de hace una mención de la gente que ha estado conmigo apoyándome y que ha forjado un lazo de amistad a través de los tiempos: principiando con mi familia, en especial con mi Mamá y mi Papá (**Marco y Martha**) que siempre han estado ahí y siempre he encontrado en ellos la fuerza de mis pasos y la paciencia para lograr mis acometidas, a mis hermanas **Martha, Lucia, Araceli, Roció** por ser ellas y ser el ejemplo de mis estudios, a mis cuñados.

Ahora al pasar el tiempo encuentro un puñado de compañeros que han demostrado que el andar por esta vida forma lazos de amistad bastante grandes, a todos ellos muchas gracias.

En especial a Miguel Ángel y Wady por su gran apoyo en cualquier momento, y por hacer que este trabajo de tesis saliera adelante.

Es un buen punto para dar la vuelta y saber que las cosas pueden lograrse, y con el apoyo de la gente que estuvo ha estado y seguirá agradezco todas las cosas buena y malas en las que nos hemos encontrado ya que eso ha forjado mi convicción de seguir y no rendirme.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por haberme dado la oportunidad de obtener una carrera.

A mi Alma mater IPN por haberme formado como persona y haberme guiado a un sendero de conocimiento.

A la Facultad de ICE que me ha ofrecido todas sus instalaciones durante mi formación.

A mis profesores por haberme ofrendado su conocimiento, experiencia y paciencia.

A M. en c. Fabiola Martínez Zúñiga por darme la oportunidad de realizar este trabajo, orientándome y apoyándome durante este.

A Ing. Miriam Cuevas León que nos impulso durante este trayecto.

A Marco Antonio Hernández Pérez que junto con el, logre un equipo formidable y lograr un excelente trabajo como tesis. Además de su paciencia, serenidad y amistad.

A todos mis amigos y compañeros de carrera, de quienes aprendí y con quienes disfrute mi estancia en la Facultad.

A todas aquellas personas que contribuyeran con su granito de arena en mi formación y por quienes tengo la satisfacción de estar en este lugar.

Wady Martínez Montoya

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por darme mucha salud durante estos años de estudio, también doy las gracias a mis profesoras Fabiola Martínez Zúñiga y Miriam Cuevas León por que contribuyeron para que pudiera terminar este trabajo de tesis.

Además quiero agradecer infinitamente a todos y cada uno de mis profesores que colaboraron en mi desarrollo profesional durante estos nueve semestres, ya que sin sus conocimientos y ayuda no hubiera concluido con mis estudios.

Miguel Ángel Flores Mercado

DEDICATORIAS

A mis padres y hermanas

Que siempre han mostrado su apoyo, cariño y paciencia a mí. Pues sin ellos nunca hubiera podido realizar mis metas.

Marco Antonio Hernández Pérez

DEDICATORIAS

A mis padres

**Francisco Martínez Rivas y Martina
Montoya Crisóstomo**

Quienes me han apoyado incondicionalmente durante el transcurso de mi carrera y a quienes les debo lo que soy.

A mi hermana

Josemin Lizerth Martínez Montoya

A quien quiero mucho y de quien espero ser un ejemplo a seguir.

Wady Martínez Montoya

DEDICATORIAS

En especial quiero dedicar esta tesis **a mis padres y hermanas**, ya que gracias a su apoyo moral y económico pude concluir satisfactoriamente mi carrera profesional.

Miguel Ángel Flores Mercado

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1: ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DE LA TELEFONÍA CELULAR.

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL	2
1.3	HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO	4
1.4	CONCEPTOS BÁSICOS DE COMUNICACIONES	6
1.4.1	La Onda Electromagnética	6
1.4.2	Propagación de las ondas electromagnéticas	8
1.4.3	Tipos de acceso al medio	9
1.5	MODULACIÓN	11
1.6	MICROONDAS	12
1.6.1	Enlaces de microondas terrestres	13
1.7	CONCLUSIONES	14

CAPITULO 2: PRINCIPIOS Y ESTRUCTURA DE GSM.

2.1	INTRODUCCIÓN	15
2.2	ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO	16
2.2.1	Sistemas de microondas y sus componentes	17
2.3	GSM	21
2.4	BANDAS DE FRECUENCIA DE GSM	23
2.5	ARQUITECTURA DE GSM	23
2.5.1	PLMN y Subsistemas de GSM	24
2.6	INTERFACES EN GSM	29
2.6.1	La interfaz de radio Um (MS hacia BTS)	29
2.6.2	Interfaz de Abis (BTS hacia BSC)	30
2.6.3	Interfaz A (BSC hacia MSC)	31
2.6.4	Interfaces entre otras entidades de GSM	32
2.6.5	Mapeo de planos de GSM dentro de las capas de OSI	33
2.7	CONCLUSIONES	35

CAPITULO 3: ESTUDIO TÉCNICO REGIONAL, ESTRUCTURA INTERNA DE UNA BTS Y LA BSC.

3.1	INTRODUCCIÓN	36
3.2	BTS (ESTACIÓN BASE TRANSRECEPTORA)	36
3.2.1	Componentes de la BTS	37
3.2.2	Comunicación BTS- BSC	48
3.3	COMPONENTES DE LA BSC	52
3.4	ESTUDIO TÉCNICO REGIONAL	55
3.4.1	Comunidad de Acajete	57
3.4.2	Comunidad de Cuacnopala	61
3.4.3	Comunidad de Esperanza	63
3.5	CONCLUSIONES	66

CAPITULO 4: DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO

4.1	INTRODUCCIÓN	67
4.2	PROTOCOLO DE MONTAJE DE LAS ESTACIONES BASE	67
4.3	DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDAS	76
4.3.1	Enlace Puebla – Acajete	77
4.3.2	Enlace Acajete – Tepeaca	83
4.3.3	Enlace Tepeaca – Cuacnopala	89
4.3.4	Enlace Cuacnopala – Esperanza (1/2)	95
4.3.5	Enlace Cuacnopala – Esperanza (2/2)	104
4.4	EQUIPOS DENTRO DE LA BSC Y LA RADIO BASE NODO	114
4.4.1	Equipos para la BSC	114
4.4.2	Equipos para la radio base nodo	115
4.5	CONCLUSIONES	118

Anexo A

A-I	MODULACIÓN QPSK
A-II	DIRECTIVIDAD
A-III	GANANCIA
A-IV	LATITUD
A-V	LONGITUD
A-VI	AZIMUT

Anexo B

B-I	CÓDIGO DEL PROGRAMA PARA EL CALCULO DE ALTURA DE TORRES
B-II	TABLAS QUE MUESTRAN LOS VALORES PARA GRAFICAR EL PERFIL TOPOGRÁFICO.
B-III	CÁLCULOS DE LA GANANCIA DEL SISTEMA.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1: ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DE LA TELEFONÍA CELULAR.

Figura 1.1 Evolución de la telefonía móvil	4
Figura 1.2 Onda electromagnética	6
Figura 1.3 Modulación por distribución de frecuencia	9
Figura 1.4 Modulación por distribución de tiempo	10
Figura 1.5 Modulación por distribución de código	10
Figura 1.6 Comparación entre las modulaciones analógicas	11
Figura 1.7 Comparación entre las modulaciones digitales	12
Figura 1.8 Enlace terrestre de microondas	14

CAPITULO 2: PRINCIPIOS Y ESTRUCTURA DE GSM.

Figura 2.1 Enlace de microondas entre los puntos (A) y (B)	16
Figura 2.2 Diagrama a bloques de un transmisor	17
Figura 2.3 Diagrama a bloques de un receptor	17
Figura 2.4 Factores que interfieren en sistemas móviles	19
Figura 2.5 Pérdida de línea de vista	20
Figura 2.6 La red GSM	23
Figura 2.7 Subsistemas GSM	25
Figura 2.8 Administración desde la MSC hacia zonas de cobertura	25
Figura 2.9 Arquitectura básica de la MSC	29
Figura 2.10 Interconexiones a través de interfaz Abis	31
Figura 2.11 Modelo de referencia de una red GSM con interfaces	32
Figura 2.12 Referencia con OSI en MS, BSS, MSC	34

CAPITULO 3: ESTUDIO TÉCNICO REGIONAL, ESTRUCTURA INTERNA DE UNA BTS Y LA BSC.

Figura 3.1 Sistema de conexión multicanal	38
Figura 3.2 Ejemplo de sistema combinador de 4 transmisores	39
Figura 3.3 Sistema de cavidades pasa banda para doble TX y RX	41
Figura 3.4 Esquema básico de un multiacoplador	42
Figura 3.6 Esquema básico de un duplexor	43
Figura 3.7 Diagrama a bloques de una estación base	45
Figura 3.8 Interior de un shelter	46
Figura 3.9 Infraestructura de una BTS	48
Figura 3.10 Comunicación dentro de la BTS	51
Figura 3.11 Estructura de la BSC	52
Figura 3.12 Multiplexación en la BSC	54
Figura 3.13 Ubicación geográfica del Estado de Puebla en México	56
Figura 3.14 Ubicación del municipio de Acajete dentro de Puebla	57
Figura 3.15 Ubicación del municipio de Cuacnopala dentro de Puebla	61

Figura 3.16 Actividades económicas en Cuacnopala	62
Figura 3.17 Ubicación del municipio de Esperanza dentro de Puebla	63
Figura 3.18 Actividades económicas en Esperanza	65

CAPITULO 4: DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO

Figura 4.1 Enlace principal de la red de microondas	70
Figura 4.2 Torre con antenas de microondas	73
Figura 4.3 Diagrama del sistema del enlace de microondas	76
Figura 4.4 Ubicación de la BSC en Puebla	77
Figura 4.5 Vista del enlace desde la BSC Puebla hacia Acajete	79
Figura 4.6 Perfil topográfico desde Puebla hacia Acajete	80
Figura 4.7 Perfil topográfico desde puebla hacia Acajete con torres	81
Figura 4.8 Ubicación de la radio base nodo en Tepeaca	85
Figura 4.9 Ubicación de la radio base nodo en Acajete	86
Figura 4.10 Enlace Acajete – Tepeaca	86
Figura 4.11 Perfil topográfico Acajete – Tepeaca con torres	87
Figura 4.12 Ubicación de radio base nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez)	91
Figura 4.13 Enlace Tepeaca – Cuacnopala	92
Figura 4.14 Perfil topográfico Tepeaca – Cuacnopala con torres	93
Figura 4.15 Imagen en la ubicación de la radio base nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez)	96
Figura 4.16 Otra imagen en la ubicación de la radio base nodo Cuacnopala con vista hacia el cordón de Xolaca	96
Figura 4.17 Enlace de la radio base nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez) hacia repetidor sobre el Cordón de Xolaca	97
Figura 4.18 Ubicación del repetidor sobre el Cordón de Xolaca	98
Figura 4.19 Enlace Cuacnopala (Guadalupe Enríquez) esperanza con línea de vista	99
Figura 4.20 Enlace Cuacnopala (Guadalupe Enríquez) esperanza con línea de vista evadiendo obstáculo	100
Figura 4.21 Imagen de uno de los cerros que conforman el Cordón de Xolaca	103
Figura 4.22 Imagen en la ubicación del repetidor sobre el Cordón de Xolaca	103
Figura 4.23 Enlace desde el repetidor en cordón de Xolaca hacia Esperanza	104
Figura 4.24 Vista del pueblo de Esperanza	106
Figura 4.25 Croquis de ubicación de la plaza campesina en Esperanza	108
Figura 4.26 Perfil topográfico del enlace final entre Cuacnopala y Esperanza	109
Figura 4.27 Ubicación de la plaza campesina en Esperanza vista desde las alturas	111
Figura 4.28 Fachada de la plaza campesina en Esperanza	112
Figura 4.29 Terreno de la plaza campesina en Esperanza	112
Figura 4.30 Dimensiones de la antena	113

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1: ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DE LA TELEFONÍA CELULAR.

Tabla 1.1 Tecnologías celulares analógicas	3
Tabla 1.2 Tecnologías celulares digitales	3
Tabla 1.3 Evolución de la telefonía celular en México.	5
Tabla 1.4 Proveedores de servicios celulares en México	6
Tabla 1.5 Ecuaciones de Maxwell	7
Tabla 1.6 Ecuaciones de propagación de las OEM	8
Tabla 1.7 Bandas de radio frecuencia para microondas	12

CAPITULO 2: PRINCIPIOS Y ESTRUCTURA DE GSM.

Tabla 2.1 Tabla de frecuencias en Bandas GSM	23
--	----

CAPITULO 3: ESTUDIO TÉCNICO REGIONAL, ESTRUCTURA INTERNA DE UNA BTS Y LA BSC.

Tabla 3.1 Características del Estado de Puebla	56
Tabla 3.2 Comunidades de interés para nuestro proyecto	57
Tabla 3.3 Características de Acajete	58
Tabla 3.4 Distribución de servicios en el municipio de Acajete	58
Tabla 3.5 Distribución de población por sector económico	59
Tabla 3.6 Población económicamente activa por tipo de hogar y genero	60
Tabla 3.7 Características de Cuacnopala	61
Tabla 3.8 Servicios en Cuacnopala	62
Tabla 3.9 Actividades por sector en Cuacnopala	63
Tabla 3.10 Características de Esperanza	64
Tabla 3.11 Servicios en Esperanza por localidad	64
Tabla 3.12 Población económicamente activa por sector Esperanza	65
Tabla 3.13 Población por edad Esperanza	66

CAPITULO 4: DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO

Tabla 4.1 Protocolo para realizar un enlace de microondas dedicado	68
Tabla 4.2 Claves y nombres de cartas topográficas usadas en el proyecto	69
Tabla 4.3 Ubicación y distancias de las comunidades	70
Tabla 4.4 Ecuaciones de calculo de curvatura de la tierra	71
Tabla 4.5 Ecuaciones de cálculo de altura real	71
Tabla 4.6 Ecuaciones de cálculo zonas de Fresnel	72

Tabla 4.7 Ecuaciones de cálculo perdidas por espacio libre	73
Tabla 4.8 Ecuaciones de cálculo ganancia del sistema	74
Tabla 4.9 Análisis de potencia Puebla – Acajete	78
Tabla 4.10 Parámetros del enlace Puebla – Acajete	78
Tabla 4.11 Ubicación geográfica Puebla – Acajete	78
Tabla 4.12 Especificación de equipos Puebla – Acajete	79
Tabla 4.13 Perfil arquitectónico de la BSC en Puebla	82
Tabla 4.14 Croquis de la planta BSC en Puebla	83
Tabla 4.15 Análisis de potencia Acajete – Tepeaca	84
Tabla 4.16 Parámetros del enlace Acajete – Tepeaca	84
Tabla 4.17 Ubicación geográfica Acajete – Tepeaca	84
Tabla 4.18 Especificación de equipos Acajete – Tepeaca	85
Tabla 4.19 Perfil arquitectónico radio base nodo Acajete	88
Tabla 4.20 Croquis de planta radio base nodo Acajete	89
Tabla 4.21 Análisis de potencia Tepeaca – Cuacnopala	90
Tabla 4.22 Parámetros del enlace Tepeaca – Cuacnopala	90
Tabla 4.23 Ubicación geográfica Tepeaca – Cuacnopala	90
Tabla 4.24 Equipos de radio para el enlace de Acajete – Tepeaca	91
Tabla 4.25 Perfil arquitectónico radio base nodo Tepeaca	94
Tabla 4.26 Croquis de planta radio base nodo Tepeaca	95
Tabla 4.27 Perfil arquitectónico de la radio base nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez)	101
Tabla 4.28 Croquis de planta radio base nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez)	102
Tabla 4.29 Perfil arquitectónico del repetidor en el Cordón de Xolaca	105
Tabla 4.30 Croquis de planta del repetidor en cordón de Xolaca	106
Tabla 4.31 Análisis de potencia	107
Tabla 4.32 Parámetros del enlace de microondas en Esperanza	107
Tabla 4.33 Coordenadas del lugar de la BTS en Esperanza	107
Tabla 4.34 Equipos para el enlace de microondas para Esperanza	108
Tabla 4.35 Perfil arquitectónico de la BTS en Esperanza	110
Tabla 4.36 Croquis de planta de la BTS en Esperanza	111
Tabla 4.37 Especificaciones de la antena	113
Tabla 4.38 Equipos componentes de la BSC	114
Tabla 4.39 Equipos componentes de las radio bases	115
Tabla 4.40 Equipos perimetrales y de conexión de las radio bases	116
Tabla 4.41 Equipos amplificadores y de aire acondicionado de las radio bases	117

INTRODUCCION GENERAL

Se vislumbra que México ha entrado de lleno a la era de las telecomunicaciones lo que implica expandir entre otros muchos servicios y beneficios de los avances tecnológicos, la telefonía celular; por lo que el diseñar una ruta que amplíe este servicio es un punto primordial y por ello tenemos la función de realizar una propuesta y diseño que pretenda esparcir esta red para comunicar a más lugares y gente dentro del estado de Puebla.

En esta tesis se hablará sobre la teoría electromagnética haciendo referencia de esta como una herramienta indispensable para explicar los procesos de las comunicaciones inalámbricas. Haciendo referencia también a conceptos básicos de comunicaciones que son la base para el entendimiento de la estructura telefónica celular. Sin hacer omisión de la evolución de los sistemas de telecomunicaciones personales tanto en México como en el mundo.

Una vez aterrizando todos los conocimientos obtenidos, daremos paso a la explicación de lo que es una red de telefonía móvil celular bajo el estándar GSM; sus componentes y a su vez la forma en que esta se administra y se comporta.

En la actualidad una red celular es de suma importancia; su difusión y alcance solo están limitadas por la situación geográfica que se tenga, por esta razón nuestra investigación será enfocada a generar el puente que se necesita para llevar esta tecnología a otros lugares (comunidades de puebla).

Generación y diseño de un enlace de microondas dedicado; para alcanzar este objetivo tenemos que realizar un estudio a fondo sobre los componentes que conforman los equipos del enlace.

Se extenderá y se establecerá un rumbo fijo y geográfico hacia donde se va a realizar el diseño de nuestro proyecto, considerando cualquier tipo de cálculo que nos ayudara a establecer patrones óptimos de diseño.

HIPÓTESIS

Se desea llevar un enlace de microondas dedicado desde una central de conmutación ubicada en la capital del estado de Puebla hacia las comunidades de Acajete, Cuacnopala, Esperanza, con el fin de extender los servicios de telefonía celular.



OBJETIVO GENERAL

Diseñar un enlace de microondas dedicado que permita la comunicación entre una estación base controladora, ubicada en la ciudad de Puebla, que opera bajo el estándar GSM y las estaciones base nodo ubicadas en las entidades de: Acajete, Cuacnopala y Esperanza.



JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran aplicación de los sistemas de comunicaciones inalámbricas en la actualidad, implica que es posible extender la red de telefonía celular hacia los entornos rurales de México



CAPÍTULO 1



Antecedentes y generalidades de la telefonía celular.

Revisar los conceptos fundamentales de comunicaciones, así como la historia y difusión de la telefonía móvil desde sus inicios y su importancia en México.

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es común establecer el término telecomunicaciones que nos incita a pensar en los avances científicos en pro de las relaciones humanas y sociales en distancias muy grandes, debido a una gran serie de avances en este terreno es posible concebir un sin número de sistemas electrónicos que han y están ayudando al hombre a estar cada vez mas “cerca” los unos de los otros.

Al realizar nuestra investigación de tesis realizaremos una retrospectiva a los acontecimientos que han sufrido las comunicaciones móviles, tomando en cuenta su aparición teórica y la evocación de los principales hechos en su historia, evolución y desarrollo de aplicaciones enfocadas hacia la telefonía celular en el mundo; teniendo en conciencia estos puntos será posible discernir como este proceso llegó y ha revolucionado el tema de las telecomunicaciones celulares en nuestro país, México.

Sin perder el enfoque de nuestra exploración; en este, el primer capítulo, englobaremos los aspectos fundamentales de la teoría electromagnética que han de ser pilares de las comunicaciones móviles, es de suma importancia retomar los puntos esenciales que nos ayudarán a comprender el fenómeno de generación y propagación de las ondas electromagnéticas, sus principales características y el comportamiento de estas, de forma clara y sencilla.

Dentro del capítulo hacemos referencia a las microondas como un cimiento de nuestra trabajo que culminará con la elaboración de un enlace dedicado, llevando de la mano los principio de la historia mundial y nacional de las comunicaciones celulares, la definición de principios y conocimientos generales de electromagnetismo y su aplicación en diferentes tipos de propagación y envío de información por medio de las ondas electromagnéticas.

1.2 EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA MÓVIL

En 1873, Clerk James Maxwell unió todas las leyes conocidas de electrostática y magnetostática, electrodinámica y magnetodinámica, como consecuencia del trabajo de Poisson (en electrostática), Gauss (en magnetostática), Ampere (en electrodinámica), y Faraday (en magnetodinámica), en una teoría unificada de electromagnetismo. Describió estas leyes en el formulario terminado de cuatro ecuaciones de apareamiento. Quince años después, en 1888, Heinrich Rudolf Hertz hizo una demostración de práctica de los fenómenos que Maxwell había obtenido matemáticamente. En 1901, Guillermo Marconi mostró la posibilidad de formular enlaces de comunicación de radio entre dos estaciones con un alcance de 1000 km. Como una transmisión de información, usó la señal de Morse "S." A mediados de 1930, los enlaces de comunicación de equipo emisor y receptor fueron diseñados en las frecuencias de 30-40 MHz. Una década después, los sistemas de transmisión que usaban vías de comunicación móviles fueron operados en las frecuencias de 100-200 MHz. Al principio de 1960, empezaron a desarrollarse enlaces de comunicación de radio, los diseñadores de sistemas de comunicación comenzaron a trabajar en la banda de frecuencia arriba de 450 MHz. El concepto de la radio celular fue desarrollado inicialmente por AT&T en sus laboratorios Bell a finales de 1970, para suministrar la capacidad de radio adicional para una área geográfica de servicio al cliente. El inicio de los sistemas móviles fue referenciado primeramente como sistemas de teléfono móvil (STM). Las mejoras posteriores ocurrieron para estos sistemas, y los sistemas fueron referidos como sistemas de teléfono móvil mejorados (STMM). Uno de los problemas principales con estos sistemas era que un llamado móvil no podía ser transferido de una estación radio base a otra sin la pérdida de la comunicación. Este problema fue resuelto implementando el concepto de reutilización de las frecuencias asignadas del sistema y llamadas entre estaciones base (*Hand off*). Reutilizando las frecuencias en sistemas celulares, permite que a un mercado se le brinde la capacidad de tráfico de radio más alta.

El tráfico de radio permite incrementar más usuarios en un área geográfica del servicio con el STM o el STMM. Desde que surgió el término de telefonía celular han aparecido diversos sistemas.

Analógicos	Banda
NMT-450. Sistema Nórdico	450 MHz
AMPS. Sistema Americano	900 MHz
TACS. Sistema del Reino Unido	900 MHz
NMT-900. Sistema Nórdico	900MHz

Tabla 1.1 Tecnologías celulares analógicas.

Todos estos sistemas tienen en común que utilizan una interfaz radio analógica, y que a pesar de seguir unas especificaciones más o menos públicas, las implementaciones son propietarias, es decir, no es posible interconectar sistemas de distintos proveedores y, como consecuencia, no existía la posibilidad de “*roaming*” (seguimiento) internacional (posibilidad de llamar o ser llamado cuando el abonado se encuentra en un país diferente). La capacidad de los sistemas analógicos no es la suficiente para dar servicio al número creciente de abonados. Con todos estos problemas a la vista, junto con la posibilidad de que los sistemas existentes agotaran su capacidad en poco tiempo, se inició en Europa, a principios de la década de los ochenta, el estudio para la implementación de un sistema digital. Una vez elegido el método de acceso, TDMA, se firmó un memorándum de entendimiento que permitirá que el sistema sea paneuropeo “*roaming*” internacional.

Digitales	Bandas
GSM 900 Sistema Europeo	900 MHz
DCS 1800/PCN Sistema Europeo	1800 MHz

Tabla 1.2 Tecnologías celulares digitales.

Estas tecnologías ofrecen un “*roaming*” internacional, y se contemplan como una solución al crecimiento limitado de los sistemas analógicos. El aumento de la capacidad ofrecida por el sistema se basa en la posibilidad de una mejor planificación celular con una mayor reutilización de las frecuencias, así como en la

futura existencia de canales codificados a mitad de velocidad, que permitirá duplicar la capacidad del sistema con idéntica ocupación del espectro radioeléctrico. Conforme los años trascurren, se han implementado nuevas mejoras en los sistemas de telefonía celular.

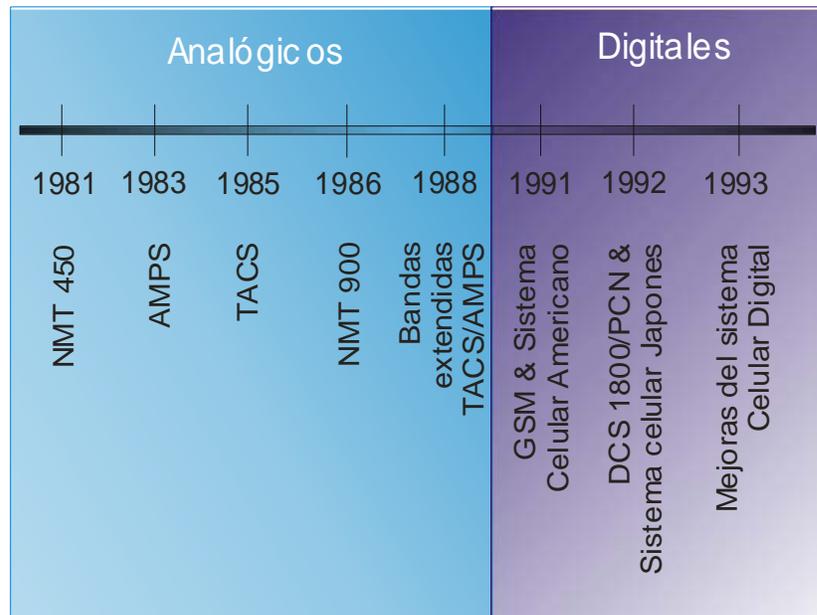


Figura 1.1 Evolución de la telefonía móvil.

1.3 HISTORIA DE LA TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO

Septiembre de 1974	Surge la empresa "Directorios Profesionales" (DIPSA), especializándose en la edición del directorio azul por calles, directorio de la construcción, turismo y otros. Durante ese mismo año como consecuencia de la modernización en las telecomunicaciones, Teléfonos de México integra a DIPSA en la administración de la Radiotelefonía Móvil.
1977	Se solicita a la SCT de México, una concesión para instalar, operar y explotar un sistema de radiotelefonía móvil en el Distrito Federal.

1981	Inicia la comercialización de este servicio, el cual fue conocido por el público como "Teléfono en el Auto", con el cual se logra, en un lapso de ocho meses, dar servicio a 600 usuarios.
Noviembre de 1984	Cambia de razón social por el de Radio móvil Dipsa S.A de C.V, con el objetivo de esclarecer las nuevas actividades.
1987	Siendo Radio móvil Dipsa S.A de C.V, surge en ella la determinación de utilizar los sistemas más avanzados para colocar a México como el país que posee los servicios de más alta calidad, eligiendo como proveedor principal en lo que se refiere a equipos de conmutación a Ericsson. De inmediato inician investigaciones de lo que en otra parte del mundo empezaba a convertirse en la nueva forma de comunicación personal, la telefonía celular. A partir de ese momento, Radio móvil Dipsa y su marca comercial Telcel se convierte en una empresa de servicio de telefonía celular
1989	La SCT autoriza la instalación del sistema celular la empresa comienza sus operaciones en la ciudad de Tijuana. Por otra parte, emerge la compañía lusacell para ofrecer el servicio de telefonía celular en el Distrito Federal.
Febrero de 1990	Telcel empieza sus operaciones ofreciendo también el servicio en la capital del país. Posteriormente ambas compañías empiezan a expandir sus redes a otras latitudes. Para ese entonces el país ya se había dividido 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 habría un concesionario operando en la banda de frecuencias "A" (825-835 MHz, 870-880 MHz). La banda "B" (835-845 MHz, 880-890 MHz) operaría en todas las 9 regiones para un solo concesionario, en este caso, Telcel.

Tabla 1.3 Evolución de la telefonía celular en México.

En la actualidad existen cuatro proveedores principales en México que proporcionan el servicio de telefonía celular. Los cuales emplean diferentes tecnologías para establecer la cobertura del servicio, y a su vez estos trabajan a diferentes frecuencias de operación. La comparación de estos proveedores se visualiza en la siguiente tabla:

Proveedores	Tecnología usada	Frecuencia de operación
Telcel	TDMA GSM	Banda "B" 800 MHz Banda "D" 1900 MHz
Iusacell / UNEFON	CDMA	1800 – 1900 MHz / 1850 – 1900 MHz
Movistar	GSM	1900 MHz

Tabla 1.4 Proveedores de servicios celulares en México.

1.4 CONCEPTOS BASICOS DE COMUNICACIONES

1.4.1 La Onda Electromagnética

Una Onda Electromagnética (OEM), es una manifestación de la energía la cual ocurre mediante la interacción de cargas eléctricas dinámicas asociadas a una corriente de desplazamiento y otra de conducción; puesto que se mueven en el espacio libre, las cargas generan un campo magnético rotacional en torno a ellas.

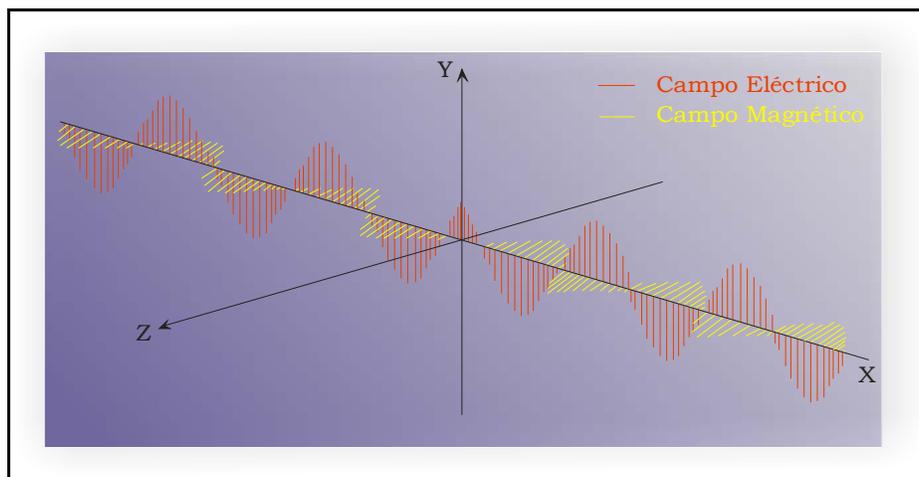


Figura 1.2 Onda electromagnética.

Dentro de las Ondas Electromagnéticas los campos eléctrico (E) y magnético (H), variables con el tiempo están acoplados entre si y a través de las ecuaciones rotacionales de Maxwell en las cuales se define el comportamiento de las ondas; ambos campos, tanto eléctrico como el magnético, se desplazan independientemente y ortogonalmente entre si, de esta forma sus propiedades y componentes nunca se combinaran y esta es una de las facultades mas apreciables de este fenómeno energético, ya que dentro de el proceso aleatorio de su generación podrán dar cabida a la utilización de estos campos para un uso practico.

En la siguiente tabla se examinan las ecuaciones de Maxwell que influyen en la definición de la onda electromagnética.

Ley de Ampere	Ley de Faraday	Ley de Gauss (H)	Ley de Gauss (E)
$\nabla \times H = J + \frac{d\vec{D}}{dT}$	$\nabla \times E = -\frac{d\vec{B}}{dT}$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho v$
La intensidad de carga eléctrica en movimiento asociado a una corriente desplazamiento y de conducción genera un campo magnético rotando.	En un campo magnético que se desplaza en el tiempo a través de un conductor cerrado, genera en este un campo eléctrico rotacional e induce un campo magnético de menor tamaño.	La divergencia de un campo magnético me garantiza la inexistencia de un monopolo magnético.	El campo eléctrico de una estática es la fuerza de acción de esta misma, las líneas de fuerza de entrada tendrán el mismo número igual a las salientes.
Donde			
$\nabla \times H$ campo magnético rotacional J densidad de corriente Eléctrica $\frac{d\vec{D}}{dT}$ corriente de desplazamiento	$\nabla \times E$ campo eléctrico rotacional $\frac{d\vec{B}}{dT}$ densidad de campo magnético	$\nabla \cdot \vec{B}$ densidad de campo magnético divergente	$\nabla \cdot \vec{D}$ densidad de campo eléctrico divergente ρv densidad de carga eléctrica

Tabla 1.5 Ecuaciones de Maxwell.

1.4.2 Propagación de las ondas electromagnéticas

La transmisión de las Ondas Electromagnéticas con dependencia con el tiempo contempla que existe una fuente o generador que produce y radia la energía de las ondas, el comportamiento de ésta respeta muchas de las leyes físicas para las ondas mecánicas viajeras.

Cuando se presenta que las ondas viajan a través de un medio (aire, agua, vacío, etc.) se puede encontrar que pueden incluir la aproximación de estas hacia un medio diferente al que inicialmente las propaga. Cuando este proceso puede llegar a ocurrir se presentan los fenómenos de reflexión y de refracción con incidencias normales u oblicuas a las fronteras de los medios involucrados, respetando las leyes de Snell, es notorio que este comportamiento de igual forma se puede presentar en otros tipos de ondas (luz, sonido, etc.).

Las ecuaciones que intervienen en la propagación de las OEM viajando a través del espacio libre, se muestran en la siguiente tabla:

Para campo magnético	Para campo eléctrico
$-\nabla^2 \vec{H} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d^2 \vec{H}}{dt^2} = 0$	$-\nabla^2 \vec{E} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = 0$
Donde	
H Campo magnético	E Campo eléctrico
Permeabilidad del vacío $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^{-2}$	Permeabilidad del vacío $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^{-2}$
Permitividad del vacío $\epsilon_0 = 8,8541878176 \times 10^{-12} \text{ F/m}$	Permitividad del vacío $\epsilon_0 = 8,8541878176 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

Tabla 1.6 Ecuaciones de propagación de las OEM.

De la misma forma las Ondas Electromagnéticas con una fuente en movimiento acarrea el efecto Doppler en el tiempo, en su propagación hacia el receptor.

1.4.3 Tipos de acceso al medio

El acceso múltiple es una técnica por medio de la cual muchos suscriptores o estaciones locales pueden compartir el uso de un canal de comunicación al mismo tiempo; a pesar de que sus transmisiones individuales puedan originarse desde ubicaciones diferentes. Por razones evidentes es deseable que en un sistema de acceso múltiple se logre compartir los recursos del canal sin provocar interferencia seria entre los usuarios del sistema; en este contexto, es posible identificar tres tipos básicos de acceso múltiple.

FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia)

Esta técnica permite separar el espectro en distintos canales de voz, al separar el ancho de banda en pedazos uniformes de frecuencias. Del mismo modo se debe considerar una banda de guarda para evitar que las señales se traslapen. Se emplea principalmente en la transmisión analógica.

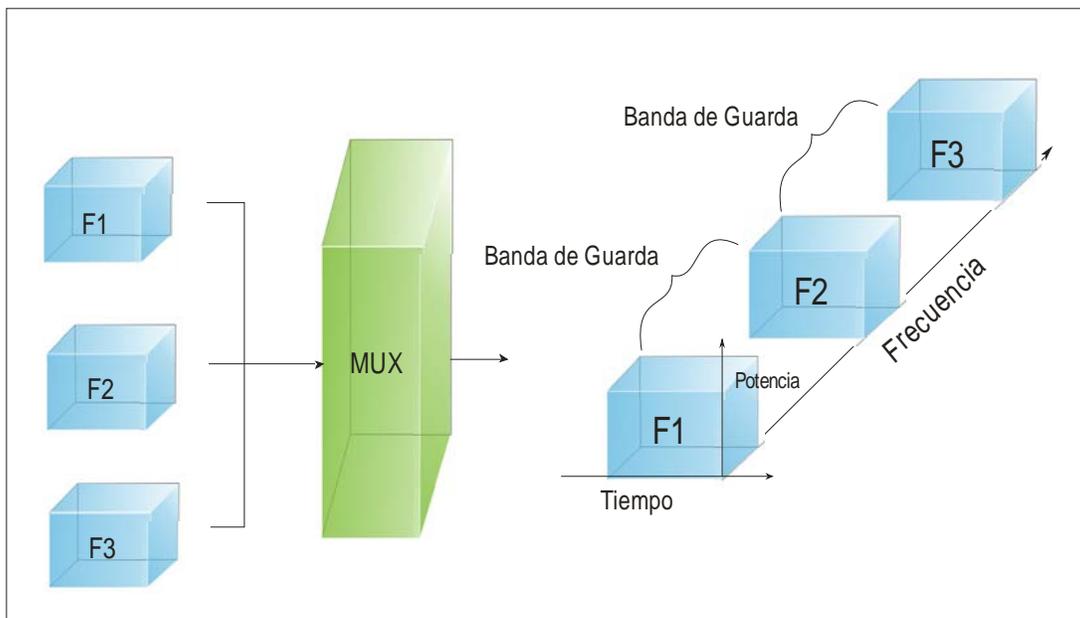


Figura 1.3 Modulación por distribución de frecuencia.

TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo)

En esta técnica las señales son enviadas en ráfagas de tiempo, además se emplea todo el ancho de banda; y tiene la capacidad de utilizar el mismo número de canales, que en un sistema analógico.

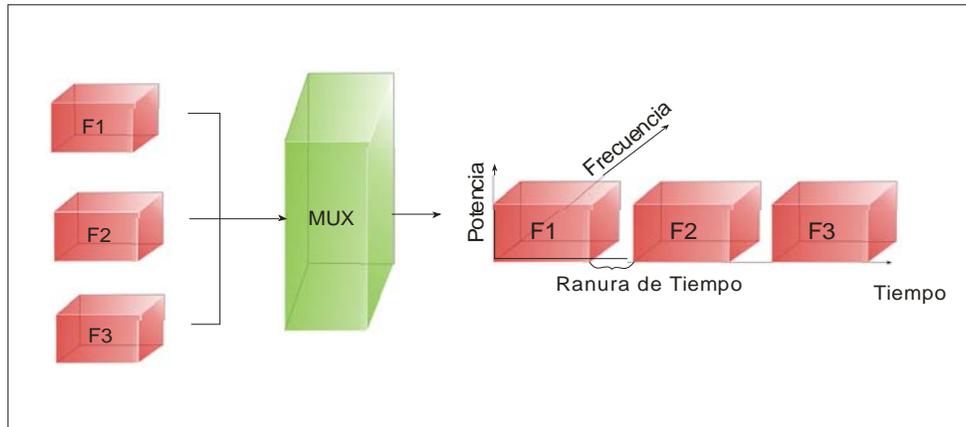


Figura 1.4 Modulación por distribución de tiempo.

CDMA (Acceso múltiple por división de código)

En esta técnica después de digitalizar la información, se transmite a través de todo el ancho de banda disponible. Varias llamadas son sobrepuestas en el canal y cada una tiene un código de secuencia único. Usando esta técnica, es posible comprimir muchas llamadas digitales para que ocupen el mismo espacio, que ocuparía una sola llamada en el sistema analógico.

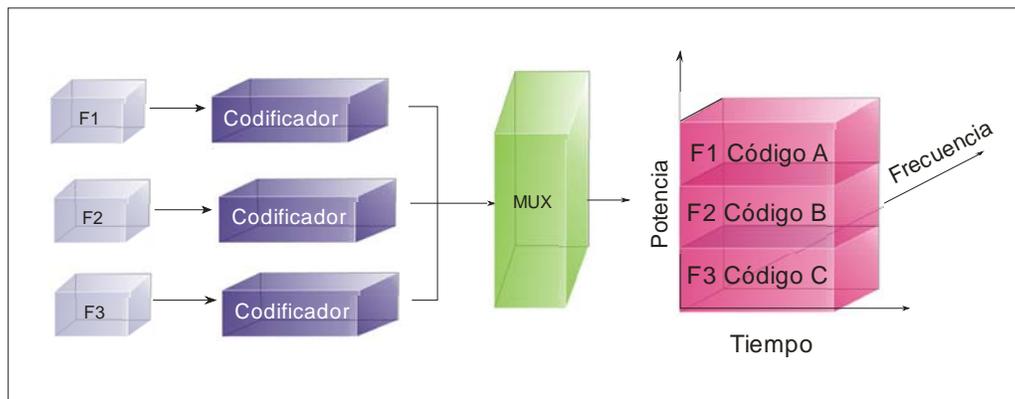


Figura 1.5 Modulación por distribución de código.

1.5 MODULACIÓN

Habitualmente las señales de banda base que generan diferentes fuentes de información, no se prestan para la transmisión directa a través de un canal dado. Para solucionar el problema debemos variar algún parámetro de la señal portadora de alta frecuencia en función de la señal de banda base. A este proceso de modificación se le conoce como modulación. Existen fundamentalmente dos tipos de modulación: analógica y digital.

Modulación Analógica: Cuando se emplea como portadora una señal continua.

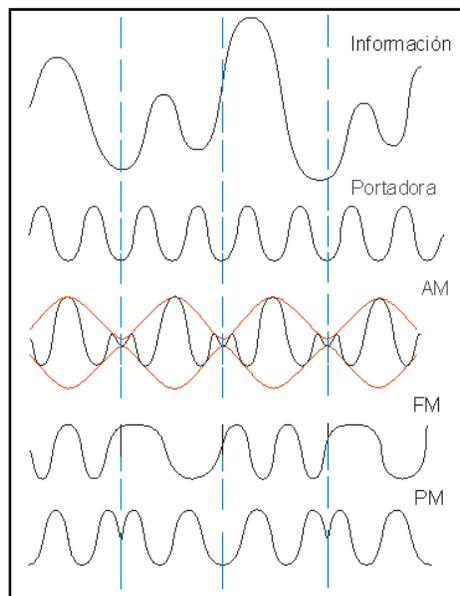


Figura 1.6 Comparación entre las modulaciones analógicas.

Modulación Digital: Si la portadora es una señal discreta. En forma más precisa, la modulación digital implica una transformación digital por medio de la cual la señal de banda base es originalmente función continua del tiempo, se debe previamente muestrear, cuantificar y codificar para ser digitalizada.

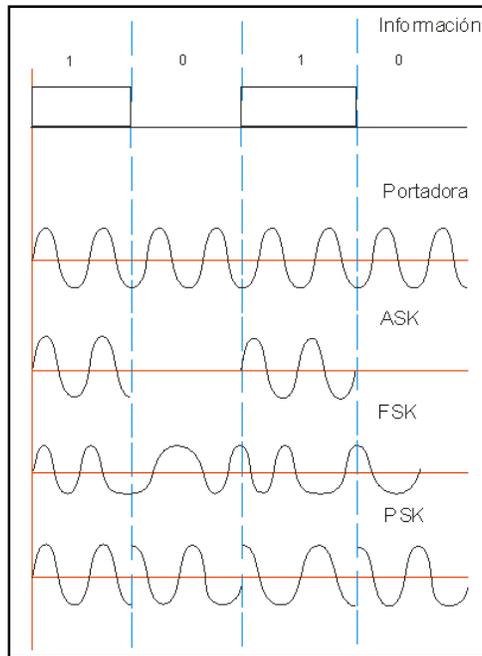


Figura 1.7 Comparación entre las modulaciones digitales.

1.6 MICROONDAS

Las microondas se pueden definir como aquellas ondas electromagnéticas (OEM) que se desplazan en línea recta, estas se caracterizan por poseer un elevado nivel de energía lo cual conlleva a que estas trabajen con frecuencias comprendidas entre 300 MHz y 300 GHz y por consiguiente con una longitud de onda muy corta.

El rango de las microondas incluye la banda de radiofrecuencias siguientes:

BANDA	FRECUENCIA
UHF (frecuencia ultra alta)	0.3 – 3 GHz
SHF (súper alta frecuencia)	3 – 30 GHz
EHF (extremadamente alta frecuencia)	30 – 300 GHz

Tabla 1.7 Bandas de radio frecuencia para microondas.

1.6.1 Enlaces de microondas terrestres

Una alternativa a los cables coaxiales en comunicaciones de larga distancia y gran capacidad son los enlaces de radio de microondas. Varios miles de canales de voz son ajustados a frecuencias de microondas que son transmitidas a estaciones repetidoras las cuales están separadas de 32 a 42 kilómetros. Las antenas repetidoras son puestas típicamente sobre torres, cimas y rascacielos con el propósito de que no exista ningún obstáculo durante la transmisión entre dos estaciones repetidoras.

Los enlaces de radio de microondas son costosos; sin embargo, los gastos sobre entornos coaxiales son compensados por algunas ventajas:

- ⊕ Menos repetidores son necesarios para amplificar señales
- ⊕ Las distancias entre centrales son más pequeñas
- ⊕ Instalaciones subterráneas no son necesarias
- ⊕ Los canales múltiples pueden ser transmitidos sobre un solo enlace
- ⊕ Tiempos de demora mínimos
- ⊕ Interferencias mínimas
- ⊕ Menos repetidores representan el incremento en la confiabilidad y por lo tanto menos mantenimiento

Mientras que el cable coaxial es menos propenso a la interferencia de RF (radio frecuencia), los enlaces de radio de microondas dependen principalmente de los obstáculos físicos, geográficos y climáticos; entre las estaciones de transmisión y recepción. Con el paso de los años, los trayectos de telecomunicaciones por aire se han puesto en exceso, congestionándose con señales eléctricas. Las torres de microondas en áreas metropolitanas grandes se interceptan entre sí causando la interferencia a menudo. El objetivo de los sistemas de comunicación de microondas es transmitir la información de una posición a otra sin interrupciones en el receptor. En la siguiente figura se muestra en su forma más simple como se consigue esto.

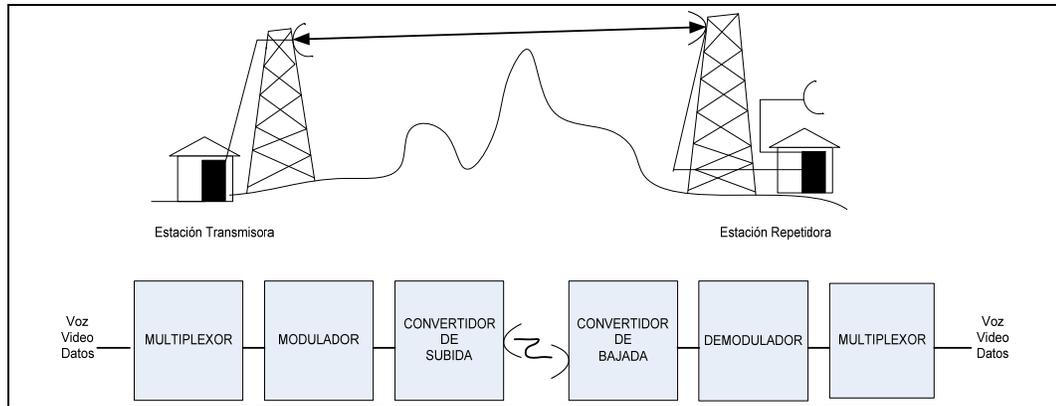


Figura 1.8 Enlace terrestre de microondas.

La voz, video y canales de datos son combinados mediante una técnica de multiplexaje, es decir, producir solamente una señal modulada a la salida y transmitirla a través de la atmósfera, para que en el receptor ocurra el proceso contrario. Las frecuencias de microondas se encuentran en el rango aproximado de 2 a 24GHz; cada frecuencia tiene determinado un espacio de canal y una velocidad de transmisión de bits.

1.7 CONCLUSIONES

La importancia de este capítulo radica en el hecho de que actualmente se necesita saber sobre como operan los sistemas de telefonía celular con el fin de tener una comunicación eficiente. Considerando que durante un enlace de radiofrecuencia se llevan acabo varios procesos simultáneos tanto en modulación como en acceso al medio ya que de estos dependen algunas de las más grandes tecnologías empleadas por las compañías. Se encuentra de esta forma que en la actualidad las comunicaciones inalámbricas han abarcado a una gran parte de la población mundial y día con día su demanda aumentara, debido a cada vez se torna mas accesible a los usuarios, el conocer el funcionamiento mas esencial de las comunicaciones móviles es fundamental para desentrañar los obstáculos que podrán presentarse en el presente y en un futuro, sin dejar de mirar hacia los precursores de estas importantes herramientas y fundamentos que han logrado que estas tecnologías se disfruten en la actualidad.

CAPÍTULO 2



Principios y estructura de GSM.

Establecer la importancia de los enlaces de microondas dedicados y su funcionamiento para la expansión de una red celular; vislumbrar la red GSM, los subsistemas que la conforman, y las funciones principales de cada uno de estos, así como la forma en que se interrelacionan entre si por medio de interfaces.

2.1 INTRODUCCIÓN

Podemos decir, que la telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso «vía radio» a un suscriptor de servicio de transferencia de voz (principalmente), de tal forma que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de cobertura del sistema (área dentro de la cual el terminal móvil puede conectarse con el sistema inalámbrico para llamar o ser llamado); incorporando incluso algunos servicios digitales más avanzados que hoy en día son comunes (mensajes de texto, mensajes de multimedia, etc.).

Los sistemas celulares incorporan la ventaja de dividir el área de cobertura en células, limitando convenientemente la potencia con que se emite cada frecuencia, permite la reutilización de las mismas a distancias bastante cortas y, por lo tanto, aumentar la capacidad de usuarios en áreas más pequeñas.

En otro caso, un sistema celular consta de una serie de células (áreas de servicio delimitadas en espacio), cubiertas cada una por un sistema de radio que permite la conexión de las terminales móviles al sistema (estación base), y un sistema de conmutación (centro de servicios móviles) que permite la interconexión entre las estaciones base y la conexión del sistema a la red de conmutación pública.

Las estaciones base (BTS) controlan la conexión radio de los terminales móviles, y permiten tener permanentemente localizados a los distintos suscriptores (siempre que el terminal móvil esté encendido. La central de conmutación de móviles (MSC) realiza la conexión entre los distintos suscriptores o entre éstos y la red telefónica fija. Además, es la responsable de las funciones de operación, mantenimiento y de tarificación. El nuevo sistema GSM, define un elemento intermedio, el controlador de estaciones base (BSC), del que se definirán posteriormente sus funciones. Tenemos que mencionar que los sistemas que comprenden a la red celular están íntimamente relacionados con la propagación

de Ondas electromagnéticas muy pequeñas (microondas), ya que sus componentes son acoplados por medio de enlaces terrestres dedicados, todos estos, deben de cumplir con cierto tipo de parámetros a considerar para garantizar el correcto funcionamiento de todos los módulos de la red celular.

2.2 Enlace de microondas dedicado.

Un enlace de microondas es una línea de transmisión (no necesariamente física), que comprende un vínculo de comunicación cuya principal fuente de transmisión son las señales de radiofrecuencia de niveles de energía bastante elevados (microondas), para esto se necesita el levantamiento torres en aéreas específicas y por lo regular en lugares en los cuales sería difícilmente tender una línea de transmisión convencional (cobre, fibra óptica); instalando antenas directivas que “apuntan” una hacia la otra, para garantizar la eficaz propagación sin la pérdida excesiva de la señal .

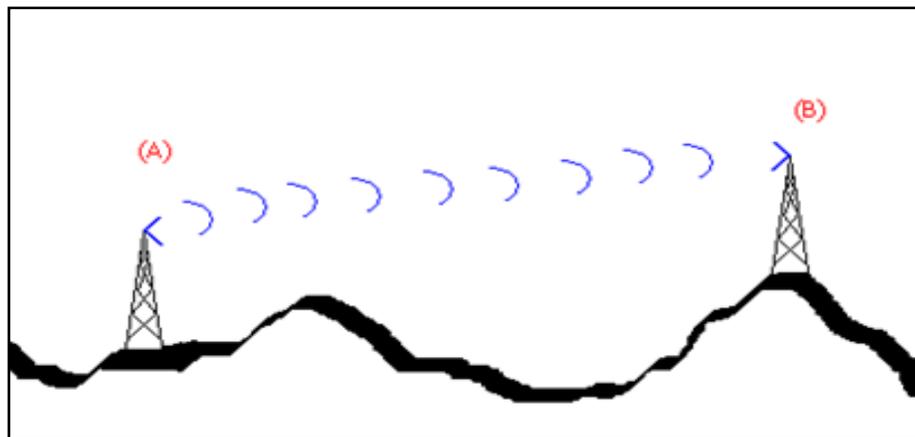


Figura 2.1 Enlace de microondas entre los puntos (A) y (B).

Los enlaces de microondas terrestres son de suma importancia para las comunicaciones de la actualidad llevando consigo servicios de datos, video y audio a lugares lejanos.

2.2.1 Sistemas de microondas y sus componentes

Los enlaces terrestres de microondas están implementados de ciertos componentes indispensables que lo constituyen.

Todas las estaciones de comunicaciones inalámbricas poseen elementos en común bastante básicos, podremos comprenderlos en un diagrama a bloques de un sistema típico de transmisores y receptores inalámbrico; en la siguiente figura se ejemplifica el sistema.

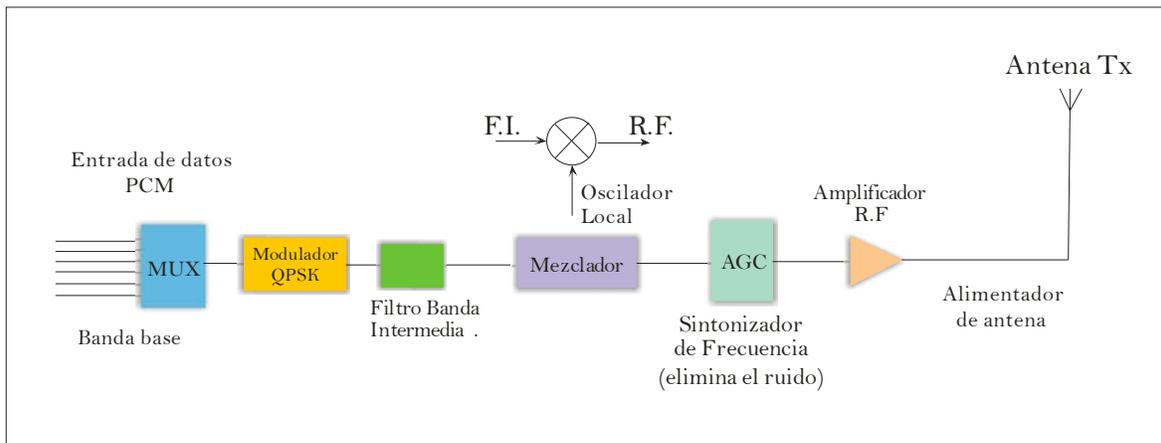


Figura 2.2 Diagrama a bloques de un transmisor.

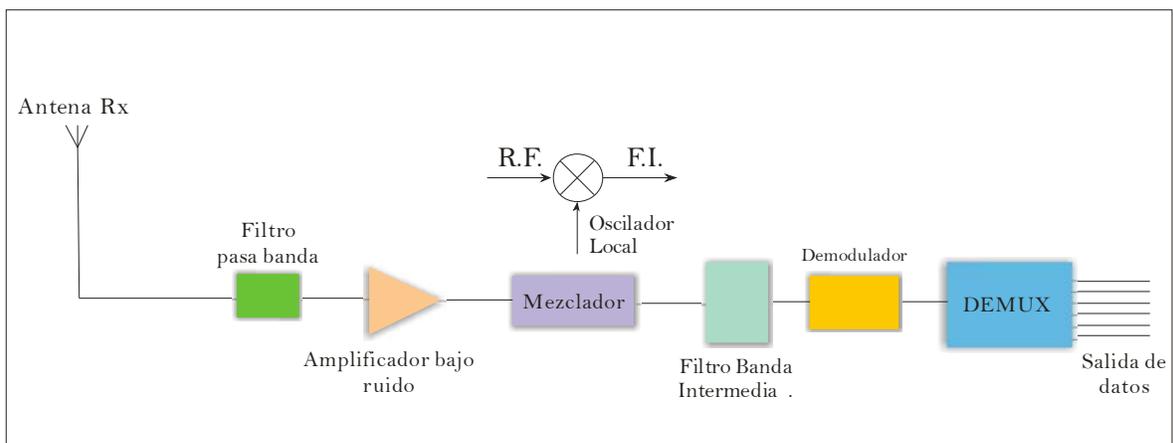


Figura 2.3 Diagrama a bloques de un receptor.

Los elementos del sistema de comunicaciones inalámbricas se pueden comprender por su funcionamiento; es decir, en el transmisor la señal es modulada

para enviarla a un filtro de banda intermedia que permite seleccionar los componentes de frecuencia necesarios y pasar al mezclador el cual va a transmitir la información a una frecuencia de operación dada por el oscilador local y que es del orden de los GHz, posteriormente la señal pasara por un sintonizador de frecuencia con el fin de seleccionar la frecuencia requerida y eliminar el ruido; de tal forma que sea posible enviarse a través de un enlace dedicado; por último amplificarla, es decir, estabilizar la señal en torno a su medio y ajustándola al canal por el cual se va a transmitir, para que la antena pueda transformar la señal de información en una señal de radiofrecuencia con el fin de propagarla hacia el receptor donde ocurre el proceso contrario.

En un sistema de enlace dedicado de microondas, se plantean dos grandes perspectivas; la primera, el propósito general por el cual se realizara el montaje de la infraestructura, y la segunda, el beneficio económico que demuestre el proyecto ya que este tipo de comunicaciones es de un grado de inversión enorme.

Teniendo en cuenta esto se puede encontrar que se determinarán los parámetros de una instalación de forma en que se involucren los puntos más relevantes solamente. La estructura general de un radioenlace por microondas está determinado por los equipos de un radioenlace, éstos están constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico.

Los repetidores pueden ser:

- ✦ Activos
- ✦ Pasivos

En estos últimos no existe ganancia y se limitan a cambiar la dirección del haz radioeléctrico. Por otro lado se tiene que las antenas y torres de microondas determinan la distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada

por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y cambian la dirección de la señal; es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos. La señal de microondas transmitidas es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia dependiente de la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas. Como se ha estado planteando los sistemas de comunicaciones móviles poseen ciertas desventajas, que pueden ser causa de pérdida de la señal, atenuación y algunos de los fenómenos que de igual forma se presentan en la luz (reflexión, refracción y difracción); las ondas electromagnéticas empleadas en estos sistemas pueden ser “deformadas” por el ruido del canal, e impregnarse de señales que no son deseadas para la clara comunicación.

Uno de los problemas más comunes de las comunicaciones inalámbricas son los fenómenos físicos de la naturaleza que afectan a la información: la lluvia, las tormentas eléctricas, huracanes, tornados, rayos y tormentas cósmicas , o los cambios de temperatura del ambiente tienen de la pérdida de la eficacia de la transmisión o de la recepción de la señal; por otro lado de igual forma existen otros factores que afectan estos medios y son causados por el hombre: el ruido generado por el campo electromagnético creado por líneas de alto voltaje, señales de otras estaciones de radiación (radio, televisión, satélites, etc.) que pueden ser generadoras de todo tipo de errores en la comunicación.

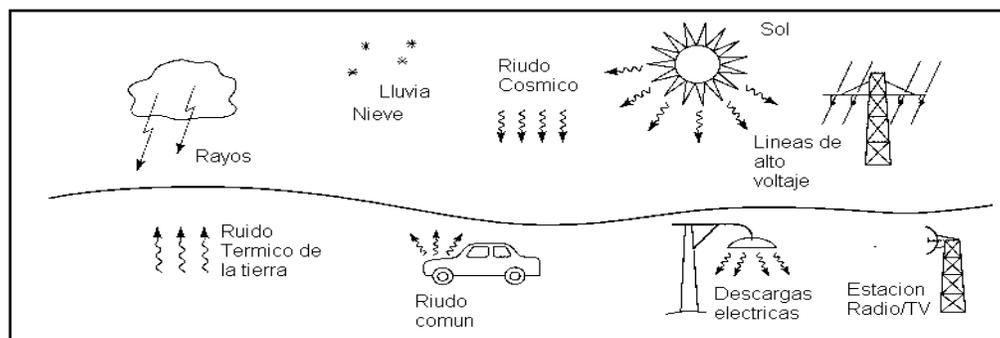


Figura 2.4 Factores que interfieren en sistemas móviles.

Existen otros factores que generan las pérdidas de las señales y por extraños que parezcan pueden ser más comunes de lo que uno pensaría: las migraciones de grandes parvadas de aves, la pérdida de energía de la estación base, u obstáculos creados por el hombre (ocasionando la pérdida de la línea de vista).

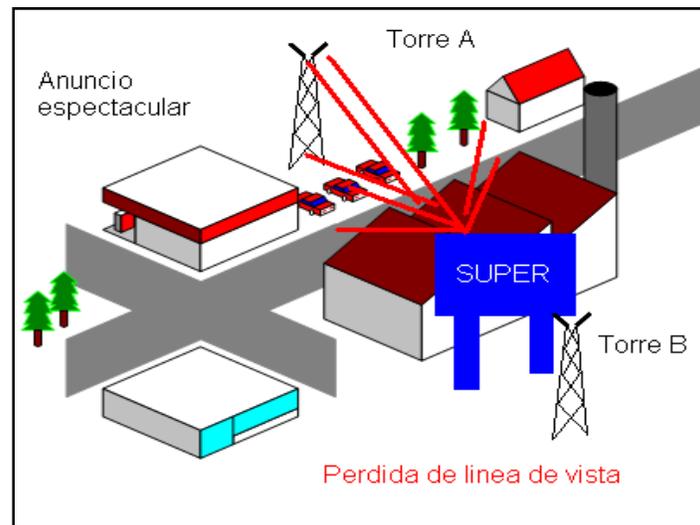


Figura 2.5 Pérdida de línea de vista.

Otro de los procesos por los cuales las comunicaciones caen, es la sobre saturación del canal, en este caso, no es más que sólo la falta de cobertura para algún servicio, éste es un indicio de que es necesario ampliar la red de enlaces.

Todos los sistemas inalámbricos tiene sus problemas que se pueden englobar en principios de atenuación, pérdidas por el medio, interferencias, etc. Por otro lado, es nuestra responsabilidad como ingenieros, el buscar mayores y mejores alternativas que habrán de solucionar todas aquellas posibles hendeduras y contextos que afecten el enlace terrestre.

Se debe hacer notar que todos los sistemas de telefonía celular emplean los enlaces de microondas dedicados como un vehículo (interfaz) entre los subsistemas por ello es de suma importancia conocer su propósito dentro de nuestra investigación; a su vez, las interfaces de radio que unen a todos los

equipos deben de ser perfectamente estudiados para la visualización del ambiente de la red celular.

2.3 GSM

Durante las pasadas dos décadas el mundo ha experimentado cambios excepcionales en la industria de las telecomunicaciones. Muchas de las comunicaciones que fueron llevadas antes sobre cables, son provistas por ondas de radio (inalámbrico) en estos días. Durante el comienzo de los 80s, seis sistemas analógicos incompatibles entre si, estaban en funcionamiento en el oeste de Europa. Esto resultó que los teléfonos móviles diseñados para un sistema, no podían ser usados con otro sistema, lo cual hizo imposible un seguimiento entre países de Europa.

En 1982, la Conferencia Europea de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) puso un comité conocido como Grupo Especial Móvil, después conocido como el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM). Su propósito fue definir un sistema móvil que podía ser lanzado al otro lado de Europa en los 90's. CEPT asignó dos nuevas bandas de frecuencia de radio una a 900MHz y otra a 1800MHz. La iniciativa de GSM dio un mercado de casa de abonados alrededor de 300 millones en la industria de comunicaciones móviles europea. Los años tempranos del GSM estaban dedicados principalmente a la selección de las técnicas de radio para la interfaz aérea. *En 1986 las pruebas para la interfaz de aire de GSM fueron digitales, diferentes sistemas propuestos por candidatos surgieron en París*. El comité determinó un nuevo rango ordenado de los criterios para valorar a estos candidatos.

Un poco de los criterios a ser cubiertos por el sistema de candidatos incluía:

- ✦ Eficiencia espectral.
- ✦ Calidad de voz
- ✦ Costo del móvil.
- ✦ La mejora a equipos más portables y livianos.

- ✦ Costó de la estación base (BS).
- ✦ Habilidad de soportar nuevos servicios.
- ✦ Coexistencia con los sistemas existentes

Las interfaces de GSM y los protocolos, son alineados con el modelo de interconexión de sistema abierto (OSI). La arquitectura abierta de GSM proporciona máxima independencia entre los elementos de la red así como: el controlador de la estación base (BSC), la central de Conmutación Móvil (MSC), y el registro de ubicación de casa (HLR). Este enfoque simplifica diseño, prueba, y puesta en práctica del sistema.

GSM 900 ha sido adoptado en muchos países, incluyendo la mayoría de Europa, Norte de África, el Medio Oriente, muchos países asiáticos del este, y Australia. En muchos casos, los contratos del seguimiento (*roaming*) existen para hacer posible que los suscriptores puedan viajar a diferentes partes del mundo y disfrutar la continuidad de sus servicios de telecomunicaciones con un solo número. La adaptación de GSM en 1800 (MHz) (DCS 1800) también se está extendiendo fuera de Europa a Asia Oriental y ahora algunos países sudamericanos.

PCS 1900, un derivado de GSM para Norte América, se planea para cubrir un área considerablemente grande en los Estados Unidos. Inicialmente ahí estos sistemas también realizaron una forma de seguimiento (*roaming*), referido como módulo de identidad de suscriptor (SIM). Ningún suscriptor de estos sistemas puede permitir el acceso a servicios de comunicación, sin el implemento de una tarjeta SIM en un sistema móvil dado que es una “llave de seguridad” para la red; este sistema se registrará en el apartado de visitante fuera de la región original de contratación del servicio. En última instancia, cuando el suscriptor tiene un teléfono de banda múltiple, entonces el sistema telefónico con que cuenta puede ser usado mundialmente.

2.4 Bandas de Frecuencia de GSM

El sistema de GSM es un sistema por división de tiempo; cada canal físico es caracterizado por una portadora a la misma frecuencia y un hueco de tiempo (time slot). Las frecuencias de sistema de GSM incluyen dos bandas a 900 MHz y a 1800 MHz comúnmente referidos como los sistemas de GSM-900 y DCS-1800. Para la banda principal en el sistema de GSM-900; 124 portadoras de radio han sido definidas y asignados en 2 MHz de 25 sub-bandas las cuales alcanzan los 890-915 MHz y 935-960 MHz, con anchos de canal de 200kHz. Cada portadora es dividido en 8 time slot (para relleno), con una duración de aproximadamente 4.6 milésimas de segundo. Para DCS - 1800, hay dos sub-bandas de 75 MHz en los alcances 1710-1785 MHz y 1805-1880MHz.

Sistema	Banda	Frecuencia
GSM-900	B	900 MHz
DCS-1800	D	1800 MHz

Tabla 2.1 Tabla de frecuencias en Bandas GSM.

2.5 Arquitectura de GSM

Se hablará de los objetivos y servicios, arquitectura y entidades del subsistema, interfaces, y protocolos de GSM.

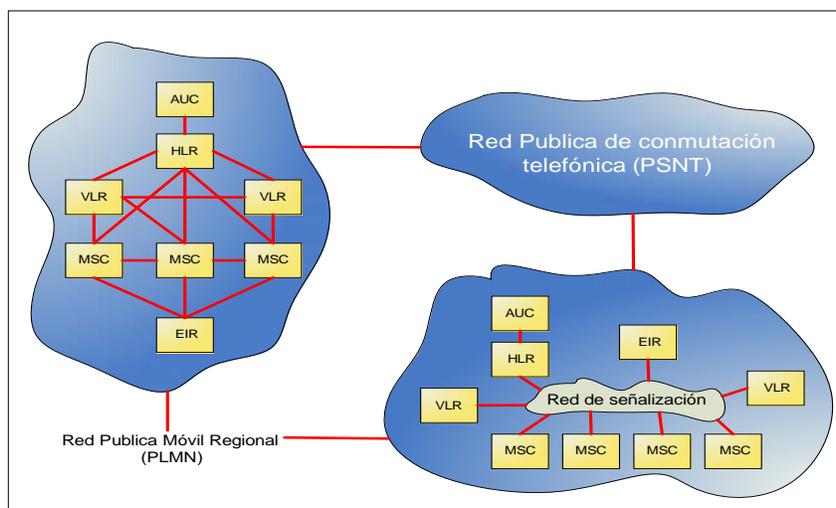


Figura 2.6 La red GSM.

2.5.1 PLMN (red pública móvil regional) y subsistemas de GSM

ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) definió originalmente GSM como una estándar de telefonía celular digital europeo. Las interfaces de GSM definidas por ETSI ponen el trabajo preliminar para un enfoque de la red de multiservidor para la comunicación digital móvil.

GSM ofrece la buena calidad de voz, privacidad de llamada, y la seguridad de la red a usuarios. La clave para elevar los servicios es la introducción del SS7, creando un protocolo de capas robusto diseñado para proveer de forma rápida, eficiente y soportando la conmutación de señales de voz y de información. Los objetivos de PLMN de GSM pueden ser principalmente:

- ⊕ Proporcionar un amplio rango de servicios e instalaciones, tanto de voz como datos, que son compatibles con éstos brindados por redes existentes al abonado
- ⊕ Proyectar un sistema de radiocomunicación que es compatible con ISDN
- ⊕ Para suministrar ciertos servicios e instalaciones exclusivas en estaciones móviles
- ⊕ Dar acceso a la red de GSM, en un abonado de un país que opera en otro sistema.
- ⊕ Para suministrar instalaciones para el “*roaming*”, localización de abonados automáticamente a través de su móvil en ciudades y comunidades.
- ⊕ Para proveer el servicio a amplio rango de estaciones móviles (MS).
- ⊕ Uso eficiente de la frecuencia.

Dentro de las redes GSM PLMN se destacan los servicios de:

- ⊕ *Servicios de Portador*. Estos servicios dan al abonado la capacidad requerida para transmitir señales apropiadas entre ciertos puntos dentro de la red.
- ⊕ Servicios adicionales. Modifican o complementan servicios de telecomunicaciones básicos y son ofrecidos juntos o en asociación.

Los subsistemas más básicos de GSM son:

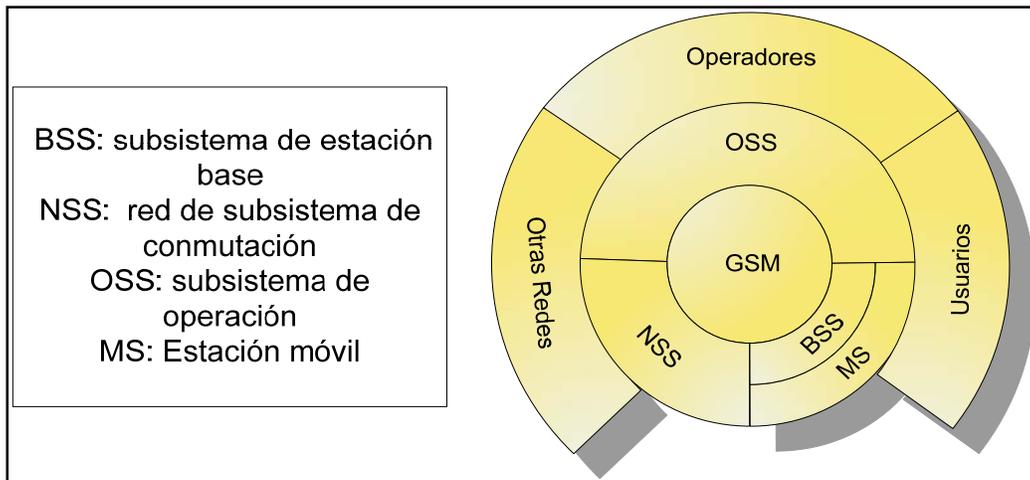


Figura 2.7 Subsistemas GSM.

A) BSS (Subsistema De Estación Base)

BSS. Es el equipo físico que provee la cobertura de radio para áreas geográficas, conocidas como celdas, este subsistema queda comprendido por estar constituido por la BTS y la BSC. Contiene equipo requerido para comunicarse con el MS. Contiene todo el equipo de la Unidad Adaptadora de Trasmisión y Grabación (*TRAU*). Dentro de la cual las especificaciones de GSM proporcionan la codificación y decodificación de la portadora de salida, el adaptador funciona para datos. En ciertas situaciones el *TRAU* es localizado en una MSC con más compresión de transmisión entre los BTS y MSC.

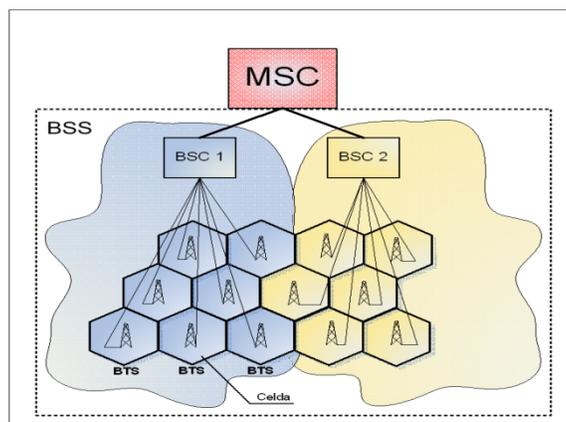


Figura 2.8 Administración desde la MSC hacia zonas de cobertura.

La BSS provee los enlaces de transmisión entre el MS y el NSS, esto incluye el enlace entre el MS y el resto del sistema GSM. El **NSS** tiene las responsabilidades de la comunicación y conexión de los MS relevantes de la red con otros MS. Tanto los MS, BSS y NSS son de la parte operacional del sistema GSM, el **OSS** suministra los servicios de control y manejo del sistema GSM, interconectando entre sí los subsistemas que pueden ser agrupados en dos partes:

- ✦ **Operacional:** redes externas hacia o desde el NSS hacia o desde el BSS hacia o desde al MS.
- ✦ **Control:** OSS hacia o desde el proveedor de servicios

La parte operacional administra la transmisión y la estabilidad, la parte de control interactúa con la actividad de tráfico de la parte operacional, monitorea y modifica el mantenimiento o improvisación de estas funciones.

MS (Estación Móvil)

El **MS** consta del equipo físico (teléfono móvil) utilizado por el usuario para acceder a una PLMN y esta última brinda servicios de comunicación inalámbrica. Básicamente, un MS puede ser dividido en dos partes. La primera parte contiene el equipo físico y el software para soportar radio.

La segunda parte contiene los datos del usuario, especificados en forma de una *smartcard* (generalmente la *SIM*), que puede ser considerada una unidad terminal lógica. La tarjeta SIM suministra el mecanismo de seguridad para GSM. Las tarjetas SIM son como tarjetas de crédito e identifican al usuario dentro de la red de GSM. Pueden ser usadas con cualquier teléfono de GSM, suministrando el acceso de teléfono, asegurando la entrega de servicios apropiados a ese usuario y facturando el uso de la red.

IMSI (identidad de suscriptor internacional móvil). Este le asigna a cada MS del suscriptor un tiempo de operación. Este consiste de 15 dígitos e incluye los siguientes:

- ✦ Código móvil de ciudad (MCC) – 3 dígitos (ciudad de casa)
- ✦ Código móvil de red (MNC) – 2 dígitos (GSM PLMN de casa)
- ✦ Identificador de suscriptor móvil (MSIN)
- ✦ Identidad de suscriptor nacional móvil (NMSI)

TMSI (identidad de suscriptor temporal móvil). Asigna al MS un número dentro de un VLR.

IMEI (identidad de equipo internacional móvil). Identifica únicamente el equipo MS.

B) NSS (Subsistema de Conmutación de Red)

NSS. Su papel principal es dirigir las comunicaciones entre GSM y otros usuarios de la red. Dentro del NSS, las funciones son efectuadas por el MSC. Provisionalmente la información del suscriptor de servicios es guardado en el HLR. Otra base de datos en el NSS es guardada dentro de un VLR. El MSC monitorea la movilidad de sus abonados y dirige recursos, necesariamente exigidos para manejar y actualizar los registros de ubicación y llevar las funciones de entrega (llamadas y mensajes). El MSC está involucrado en las funciones de *interworking* para comunicarse con otras redes.

El HLR (registro de localización de casa) es la unidad funcional usada para el mantenimiento de los suscriptores móviles. El número del HLR dentro del PLMN varía con las características del mismo PLMN. Dos tipos de información son guardadas en el HLR; la información del suscriptor y la parte de la información del móvil, considerando esto es posible encaminar una llamada entrante desde un MSC hacia una MS particular. Algunas acciones administrativas del proveedor hacia el suscriptor son funciones del HLR. Los registros del HLR son almacenados en el IMSI, el número ISDN del MS, dirección de VLR y los datos del usuario y/o propietario del equipo móvil (MS).

El VLR (registro de posición de visitante o entrada) puede ser conectado de una a varias MSC. El registro VLR es una unidad dinámica que almacena la información de los usuarios cuando estos se ubican dentro de un área de cobertura fuera de su punto de registro de casa (HLR), esto es fuera del área o región de compra y/o contratación del servicio de procedencia. Cuando un MS viaja hacia otras áreas de cobertura fuera de la de su procedencia, alguna de las MSC locales almacena temporalmente los datos del suscriptor, la registración del MS incluye alguna de las siguientes actividades:

- ✦ El VLR reconoce si el MS pertenece a alguna otra PLMN
- ✦ Si el roaming es admitido, el VLR busca los HLR de los MS de su procedencia en su PLMN.
- ✦ El VLR construye un Título Global (GT) del IMSI admitiendo la señalización del HLR del MS vía red ISDN.
- ✦ El VLR genera un Número de Viajero de Suscriptor Móvil (MSRN) eso es usado para encaminar las llamadas entrantes al MS.
- ✦ El MSRN es el emisor del HLR de los MS de la región de viajero.

C) OSS (Subsistema de Operación)

OSS. El subsistema de mantenimiento y operación es responsable de manejar la seguridad de sistema sobre la base de la validación de la identidad de los elementos de telecomunicaciones. Estas funciones son efectuadas en el centro de Autenticación (AuC) y EIR.

- ✦ El AuC es accedido por el HLR para determinar si un MS será validada su entrada al servicio. .
- ✦ El EIR provee la información de MS utilizada por el MSC. El EIR mantiene actualizado una lista de manuscritos legítimos y fraudulentos, o defectuosos.

El PLMN se hace cargo de la operación remota y funciones de mantenimiento. Estas funciones son monitoreadas y controladas en el OSS. El OSS podría tener más de un Centro de Dirección de Red (NMC) para centralizar el control de PLMN.

El Centro de Funcionamiento y Mantenimiento (OMC) son la entidad funcional a través de la que el servicio-proveedor se monitorea y controla en el sistema. El OMC provee un punto de mantenimiento del servidor. Un solo OMC de sistema puede servir a varios MSC.

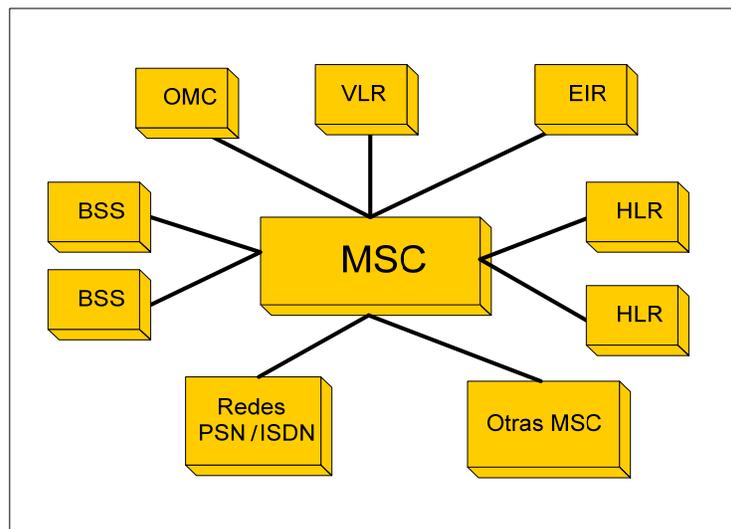


Figura 2.9 Arquitectura básica de la MSC.

2.6 Interfaces en GSM

2.6.1 La interfaz de radio Um (MS hacia BTS)

Se denomina interfaz de radio Um [entre el MS y estaciones base transreceptora (BTS)] es el más importante en cualquier sistema de radio móviles. La capa física intercala a la capa de enlace de datos y la subcapa de radio, proporciona la dirección del recurso en el MS con la BTS y hacia otras unidades funcionales en el subsistema de redes de MS (que incluye el BSS y MSC) para canales de tráfico. La interfaz física comprende un juego de canales accesibles a través de FDMA y TDMA.

Cada canal físico soporta varios canales lógicos usados para tráfico y señalización. La capa física (capa 1) soporta las funciones requeridas para la transmisión de flujos de bits sobre la interfaz aérea. La capa 1 también suministra la capacidad de acceso a capas superiores. La capa física es descrita en la serie de recomendaciones 0.5 de GSM (parte de la documentación de ETSI para GSM). En la capa física, la mayoría de los mensajes llevados sobre las ondas de radio están en bloques de 23 octetos. Las funciones de la capa de enlace de datos son: multiplexaje, la detección de errores y la corrección de estos, el control de circulación.

La interfaz de radio usa el protocolo de acceso de enlace sobre canal de Dm (LAPDm). Este protocolo está basado en los principios del protocolo de acceso de enlace de ISDN sobre el protocolo de canal (LAPD) de Dm.

2.6.2 Interfaz de Abis (BTS hacia BSC)

La interconexión entre la BTS y la BSC está dada por una interfaz determinada Abis (más las interfaces del distribuidor específico). Las funciones principales llevadas por esta interfaz son: la transmisión del canal de tráfico, la dirección del canal terrestre y la dirección de canal de radio. Esta interfaz soporta dos tipos de enlace de comunicación: canales de tráfico de hasta 64 Kbps de comunicación o de datos de usuario para tasa completa o media del canal de tráfico y el canal de señalización de hasta 16 Kbps llevando información desde BSC-BTS y BSC-MSC.

- ⊕ La capa física: siguiendo la recomendación G.703 ITU - T y recomendación de GSM. 0 - 8.54.
- ⊕ Capa de enlace de datos: con la recomendación 08.56.
- ⊕ La capa de red: recomendación de GSM 08.58.

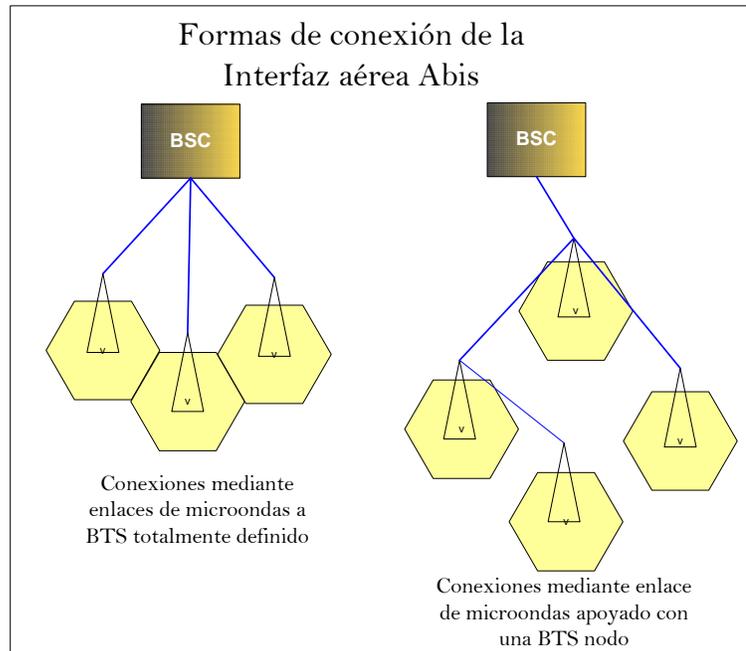


Figura 2.10 Interconexiones a través de interfaz Abis.

2.6.3 Interfaz A (BSC hacia MSC)

Admite la interconexión entre el subsistema de base de radio entre BSC y la MSC. La capa física de la interfaz A usualmente de 2 Mbps como estándar, y esta recomendada por el Comité Consultivo de teléfono y telégrafo (CCITT) dentro de una conexión digital. El transporte de señalización utiliza Partes de Traslación de Mensajes (MTP) y también Partes de Control de Conexión de Señalización (SCCP). El transporte sin errores es manejado por un MTP de un subconjunto, y la relación lógica es manejada por un SCCP. Las partes de aplicación son divididas entre la Parte de Aplicación de la BSC (BSCAP) y la Parte de Aplicación de Operación y Mantenimiento de la BSS (BSCOMAP). El BSCAP es dividido por el trama de Aplicación de Transferencia Directa (DTAP) y trama de Aplicación de Dirección de la BSC (BSCMAP). El DTAP se usa para transferir en la capa 3, mensajes entre el MS y el MSC sin la participación de BSC. El BSCMAP es responsable de todos aspectos del manejo de recurso de radio en el BSC. El BSCOMAP soporta toda la operación y las comunicaciones de mantenimiento de BSC. (véase Figura 2.11).

2.6.4 Interfaces entre otras entidades de GSM

La transferencia de información entre entidades de PLMN de GSM usa la MAP. La MAP contiene una aplicación móvil y algunos elementos del servicio de aplicación (ASEs). Emplea el SCCP para ofrecer las funciones de señalización necesaria para proveer servicios como poner instalaciones móviles para la voz y la aplicación de datos en una red móvil. Los procedimientos más importantes soportados por la MAP son:

- ✦ Registro de ubicación y cancelación
- ✦ Procedimientos de *handover*
- ✦ Manejar servicios adicionales
- ✦ Recuperación del abonado y parámetros durante procesos de configuración de llamada.
- ✦ Modos de autenticación

Las interfaces entre las entidades de GSM se muestran en la siguiente figura:

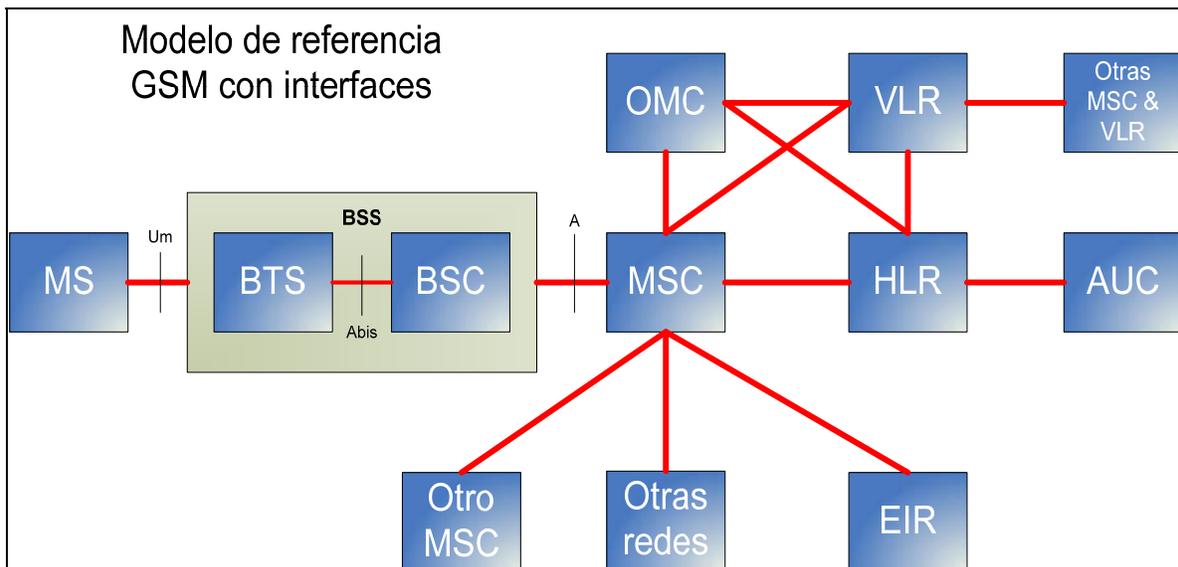


Figura 2.11 Modelo de referencia de una red GSM con interfaces.

BSS: subsistema de estación base
BTS: estación base transversal
BSC: estación base de control
MS: Estación móvil
MSC: centro móvil de conmutación y servicios
OMS: centro de operaciones y mantenimiento
HLR: registro de localización de casa
VLR: registro de localización de visitante
EIR: registro de identificación de equipo
AUC: centro de autenticación

2.6.5 Mapeo de planos de GSM dentro de las capas de OSI

Cuando un MS es cambiado de algún lugar, tiene que determinar si tiene acceso a un PLMN. Inicia una actualización de ubicación para informar a su PLMN de casa sobre su ubicación en curso para permitir el direccionamiento de las llamadas entrantes para el abonado. La ubicación de un MS es guardada en la base de datos de la central, el HLR del PLMN donde el cliente tiene adquirido el servicio. El HLR mantiene el número de direccionamiento a la MSC. La MSC es la principal responsable de cambiar y direccionar su movilidad. Una vez conectado con la MSC, una BSS se comunica con el MS vía radio. Cada MS, colocado en una celda de una BSS, es registrado con una base de datos específica asociada con la MSC y el VLR. Si una llamada para un abonado de GSM es generada de una red externa, la llamada es encaminada a un puente de MSC (GMSC). Este GMSC pregunta al HLR sobre el abonado llamado para obtener el número de direccionamiento del MSC visitado. El último inicia la transmisión de un mensaje de paginación dentro de cada una de sus celdas asociadas. Si el abonado llamado responde, la BSS asigna un canal de tráfico para la comunicación, y el enlace está completamente establecido.

Durante una llamada, el MS le es permitido moverse de celda a celda con área GSM, y mantiene los enlaces de comunicación sin interrupción. La entrega que se produce en GSM es asistida y funcional a través de una BSS.

La arquitectura de protocolo de GSM para marcar y trazar un mapa de el corresponden a las capas de OSI. En la capa de enlace de datos la interfaz de radio del MS usa el protocolo LAPDm.

En la interfaz entre BSC y MSC, las capas más bajas son dadas por el MTP de SS7. Cubre la funcionalidad de capa 1, capa 2, y parte de la capa 3 del modelo de referencia de OSI. El MTP es separado en capas en tres niveles. Los dos niveles más bajos son correlacionados directamente en las capas de OSI correspondientes, y el 3er nivel cubre la parte más baja de la capa de red de OSI. La funcionalidad faltante de la parte más alta de la capa de red es proveída por SCCP. El BSSAP sirve de puente principalmente entre la dirección de recurso (FC) de radio y la MSC.

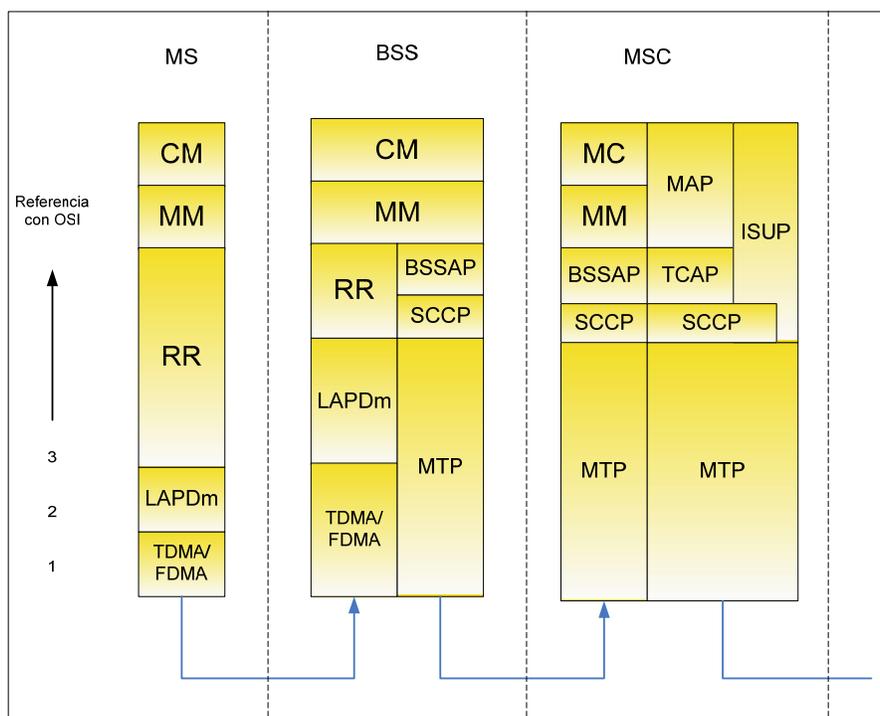


Figura 2.12 Referencia con OSI en MS, BSS, MSC.

CM:	dirección de comunicación
MM:	dirección del móvil
RR:	dirección del recurso radiado
BSSAP:	parte del subsistema de aplicación de la estación base
SCCP:	parte de control de señalización de control
MAP:	parte móvil de aplicación
TCAP:	parte de aplicación de captación de transición
MTP:	Parte de transferencia de mensaje

2.7 Conclusiones

Los sistemas celulares de la actualidad han llegado a muchísimas partes del mundo, las tecnologías que han hecho que este sea uno de los medio de comunicación mas accesibles; son la suficiente integración de las nuevas tecnologías con los sistemas de redes telefónicas locales; el sistema GSM, ha sido difundido de forma global y trasladando las comunicaciones a lugares distantes y siguiendo a la gente por todas partes. La eficacia de este sistema de igual forma se sustenta la correcta distribución de la red, por medio de centrales telefónicas públicas y celulares; es llevada a regiones inaccesibles o bien apartadas por medio de tramas de enlaces de microondas dedicados distribuidos a lo largo y ancho de las ciudades y comunidades foráneas.

Tomando en cuenta que la cobertura celular, pudiese llegar a ser limitada solo por territorios geográficamente aislados, es de suma importancia establecer los patrones que nos encaminaran a ofrecer un servicio de cobertura telefónica celular, apoyada por el diseño de un enlace de microondas dedicado. Como preámbulo en el proceso de establecer un diseño confiable y seguro de conexión por medio de microondas, tendremos que enfocarnos hacia el conocimiento de los elementos que conforman los sistemas de radiocomunicación dentro de la telefónica GSM, el como implementarlos y a su vez, aterrizar este conocimiento hacia las zonas de nuestro proyecto de red en el estado de Puebla.

CAPÍTULO 3

Estudio técnico regional, estructura interna de una BTS y la BSC.

Ahondar sobre el funcionamiento y componentes que constituyen tanto a la Estación Base Transreceptora (BTS) y la Estación Base Controladora (BSC), su interacción e importancia dentro de la red; además de realizar un estudio técnico regional que nos ayudará a justificar el por que se puede desarrollar nuestro proyecto en las comunidades de Acajete, Cuacnopala y Esperanza.

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explicará ampliamente la manera en que se encuentra constituida la estructura interna de una Estación Base Transreceptora (BTS) así como conocer cada uno de los componentes integrados en dicha estación, cómo se interrelacionan y cómo se comunican con la Estación Base Conmutadora (BSC), para así poder lograr un enlace dedicado de microondas. Teniendo como base todos los aspectos que se hemos tratado a través de los capítulos anteriores, aterrizaremos aún más en el proceso de la diseño de un enlace de microondas dedicado.

Otro aspecto de suma importancia es el estudio regional que se realiza a tres comunidades del Estado de Puebla (Acajete, Cuacnopala y Esperanza) para discernir en ellas y conocer su ubicación exacta, distribución poblacional y económica, geografía, clima, relieve de forma tal que familiarizándonos con estas localidades podremos implementar nuestras herramientas de ingeniería para el **diseño de un enlace de microondas dedicado como parte de nuestro proyecto principal** para conectar estas comunidades; del cual se desprenderá cobertura de telefonía móvil.

3.2 BTS (ESTACIÓN BASE TRANSRECEPTORA)

La BTS es la vía de acceso a la red para las estaciones móviles. Para conseguir esto, la BTS lleva a cabo, el papel de centro en la infraestructura de radio. Las terminales del Móvil son conectadas con la BTS a través de la interfaz de radio (Um) y las comunicaciones con la BSC son dirigidas a través de la interfaz A-bis. Una BTS controla de una a ocho portadoras de radio, y cada portadora provee ocho canales de radio, transmitiendo a una antena omnidireccional o direccional (generalmente 3 sectores de 120°). En los casos de cobertura sectorizada, en un solo sitio se pueden acomodar varias estaciones base, las cuales son sincronizadas para incrementar la eficiencia dentro de la celda. Las funciones de la BTS son:

- ⊕ La transmisión de radio en formato GSM, empleando las técnicas de salto de frecuencia y el manejo de diversas antenas.
- ⊕ Implementación de algoritmos de igualamiento para contrarrestar los efectos de la multi trayectoria.
- ⊕ Codificación y decodificación de canales de radio.
- ⊕ Encriptación de los datos de transmisión.
- ⊕ El control de los protocolos establecidos, intercambiando mensajes en la capa de enlace de datos (LAPDm).
- ⊕ Medición de calidad y potencia recibida sobre el tráfico de canales.
- ⊕ Transmisión de señalamiento de mensajes.
- ⊕ Operaciones y mantenimiento del equipo de la BTS.

3.2.1 Componentes de la BTS

El equipo que administra las funciones dentro de una estación base incluye:

- a) Antenas (Receptor y Transmisor)
- b) Combinadores
- c) Cavidades
- d) Multiacopladores de receptores
- e) Duplexores
- f) Unidad de transceptor de radio
- g) Multiplexor
- h) Demultiplexor
- i) Sintetizador
- j) CODEC de canal
- k) CODEC de voz
- l) Unidad de microondas
- m) Unidad de control

a) Antenas (Receptor y Transmisor)

Se comprende la existencia de ciertos elementos necesarios para conectar a una antena, varios transmisores y receptores que componen al sistema de BTS. En los sistemas celulares se dispone de un canal de control y varios canales de tráfico que se deben acoplar a un mismo sistema de antena. Los elementos fundamentales para este proceso son los combinadores de transmisores, los multiacopladores de receptores y los duplexores, es decir, utilizar dos antenas (generalmente), una para transmisores y otra para receptores, o bien, utilizar una única antena para ambos mediante un duplexor. La decisión de utilizar una u otra opción depende de aspectos económicos, de la ganancia del sistema y de las limitaciones de espacio en la torre y/o en los bastidores de los equipos.

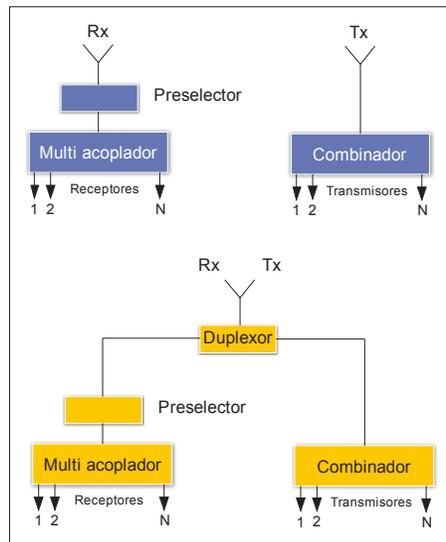


Figura 3.1 Sistema de conexión multicanal.

b) Combinadores

Los combinadores de transmisión se utilizan para conectar varios transmisores de frecuencias próximas a una misma antena, manteniendo un aislamiento entre ellos, de forma que la señal de salida de cada uno se acople sobre los demás en la menor cantidad posible. Esto equivale a afirmar que la pérdida de acoplamiento A_c debería tener, para cada par de transmisores, el mayor valor posible, compatible con la complejidad del combinador. De lo anterior

se deduce que el combinador ha de ser un dispositivo esencialmente unidireccional que transfiera selectivamente energía hacia la antena y minimice el paso de ésta a otros transmisores.

Un combinador típico, presenta aisladores de ferrita y uniones híbridas. Los aisladores de ferrita se denominan a veces "diodos de RF" puesto que presentan una pérdida de inserción de algunas décimas de dB (típicamente 0,5 dB) en un sentido y algunas decenas (hasta 30 dB) en el opuesto. La unión híbrida está constituida por una línea de transmisión impresa y combina las señales procedentes de varios transmisores introduciendo un alto grado de desacoplo entre ellas (entre 25 y 40 dB). Sin embargo, estos dispositivos requieren cargas artificiales de adaptación en las que se disipa teóricamente la mitad de la potencia de los transmisores. Por consiguiente, presentan una pérdida de inserción teórica de 3 dB que, en la práctica, puede ser de 3,5 dB. Esta pérdida de inserción constituye un factor limitativo del número de transmisores que pueden combinarse, ya que, al aumentar este número, han de utilizarse más uniones híbridas.

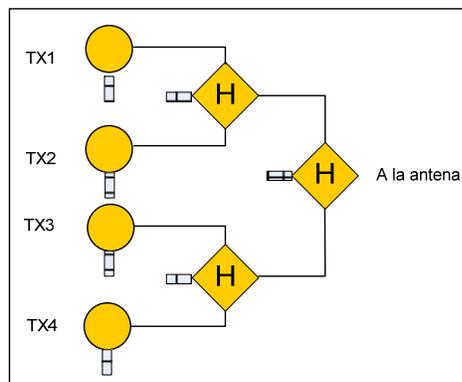


Figura 3.2 Ejemplo de sistema combinador de 4 trasmisores.

Los combinadores de este tipo, aislador/híbrida, presentan las siguientes ventajas:

- ⊕ Flexibilidad para adaptarse a cualquier separación de canales incluso canales adyacentes.
- ⊕ Tamaño reducido.

Sus inconvenientes son:

- ⊕ Elevada pérdida de inserción con la consiguiente reducción de la potencia radiada.
- ⊕ Unilateralidad. Solamente son válidos para conexiones de transmisores a antenas y no de receptores, debido al funcionamiento unilateral de los aisladores.
- ⊕ El costo puede ser elevado.

c) Cavidades

Cavidades pasa banda

La función primordial de las cavidades es adaptar la impedancia de manera que la señal de RF procedente de cada equipo atraviese la unión hacia la antena común con la mínima atenuación posible, y su acoplo a los demás equipos tenga un aislamiento o atenuación elevada. Estas características dependerán de la selectividad de la cavidad, la cual influirá en las separaciones entre las frecuencias de los equipos. Las cavidades poseen las siguientes características fundamentales:

- ⊕ Es necesario que los equipos que se conecten funcionen a frecuencias bastante separadas (no es posible la utilización de canales adyacentes)
- ⊕ El dispositivo es bidireccional y admite la conexión de transmisores y receptores

En el caso de utilización mixta con transmisores y receptores, las cavidades presentan la ventaja de reducir la cantidad del ruido del transmisor que alcanza el receptor y aminoran o anulan la de sensibilización del receptor debida a la intensa señal de RF de los transmisores próximos.

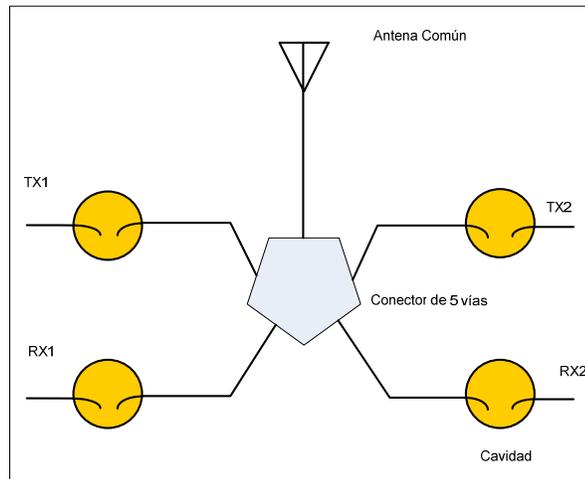


Figura 3.3 Sistema de cavidades pasa banda para doble TX y RX.

Cavidades de eliminación de banda

Estas cavidades se conectan en derivación y se caracterizan por presentar una baja impedancia a las frecuencias cuyo paso al circuito principal desea evitarse y una alta impedancia a la frecuencia de trabajo de dicho circuito (anti resonancia). Su selectividad es mayor que la pasa banda por lo que pueden conectarse equipos con separación de frecuencia más reducida.

Combinadores de cavidades y aisladores

Constituyen una solución intermedia entre los tipos de combinadores que se han examinado anteriormente. Se trata de dispositivos que utilizan aisladores y cavidades. El empleo de los primeros permite conectar equipos cuyos canales estén bastante próximos y la utilización de cavidades permite reducir las pérdidas de inserción con relación a la unión híbrida. Esta configuración, al utilizar aisladores, vuelve a ser unidireccional y resulta interesante en aquellas aplicaciones en que se prevea la instalación separada de transmisores y recetores. Además de su mayor flexibilidad para acomodar equipos con pequeñas separaciones de frecuencias con una pérdida de inserción reducida, los combinadores de cavidades atenúan también las emisiones espurias y de ruido producidas por los transmisores conectados a ellos. Esto contribuye a mantener

limpio el espectro radioeléctrico en las proximidades del transmisor, reduciéndose las perturbaciones sobre los sistemas receptores próximos y, particularmente, su de sensibilización por señales interferentes intensas.

d) Multiacopladores de receptores

Los multiacopladores de receptores proporcionan el camino de la RF desde la antena al receptor. Se componen de tres elementos fundamentales:

- ⊕ Filtro pasa banda
- ⊕ Preamplificador
- ⊕ Divisor de potencia

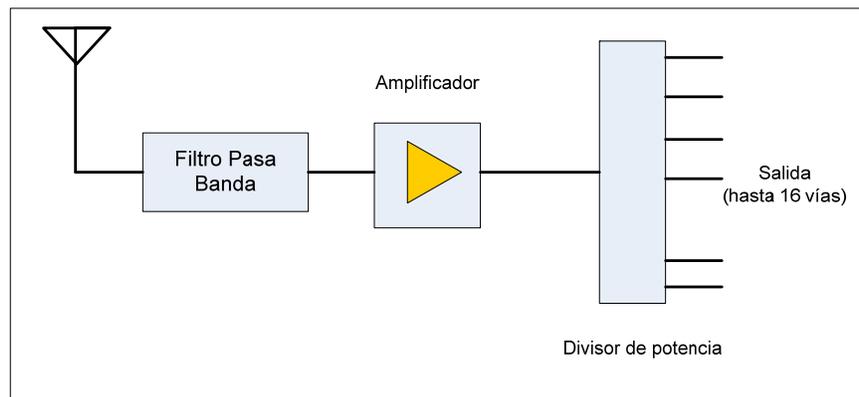


Figura 3.4 Esquema básico de un multiacoplador.

El Filtro pasa banda realiza una preselección de la parte del espectro o sub-banda correspondiente a los receptores rechazando las señales fuera de banda. El preamplificador compensará las pérdidas de los cables de alimentación de antena y el divisor de potencia repartirá la señal entre los receptores.

e) Duplexores

Para poder permitir la transmisión y recepción sobre una misma antena se deberán utilizar duplexores. En algunas ocasiones, debido a limitaciones de espacio en los mástiles soporte o en los bastidores, etc., se hará necesario utilizar una única antena para el sistema. El duplexor consiste fundamentalmente en dos

filtros pasa banda que cubren respectivamente la banda de transmisión y de recepción.

Con el duplexor se conseguirá asimismo la supresión de ruido a las frecuencias de recepción y el aislamiento del receptor a las frecuencias de transmisión del sistema. También se podrá utilizar una configuración en banda eliminada en la cual se insertarán filtros en derivación, sintonizados a las frecuencias de recepción en el camino de las transmisiones.

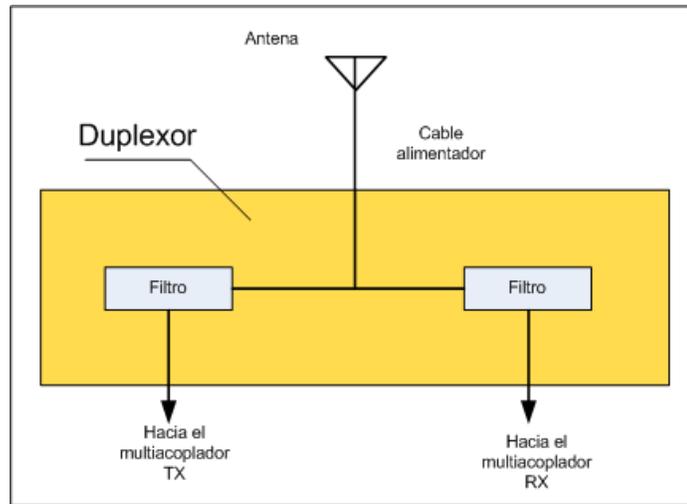


Figura 3.5 Esquema básico de un duplexor.

f) Unidad de transceptor de radio

Esta unidad contiene el transmisor y el receptor de la estación base. El transmisor modula, los cambios en la frecuencia de radio y amplifica la potencia. El receptor lleva a cabo el cambio de frecuencia inversa, para convertir de análogo a digital, y calcula la potencia de señal.

g) Multiplexor

El multiplexor correlaciona una sola ráfaga dentro de una ranura de tiempo con destino a las estaciones móviles individuales. El modulador, como lo indica el nombre, modula las señales digitales a la frecuencia portadora, la cual es un proceso análogo que requiere la intervención de un DAC.

h) Demultiplexor

Elabora el proceso inverso del multiplexor, dejando cada uno de los canales de información en ranuras de tiempo individuales, por ultimo realiza el proceso de conversión por medio de una ADC.

i) Sintetizador

Provee las frecuencias necesarias para diferentes entidades en la BTS. El sintetizador usualmente sincroniza el reloj de la interfaz ABIS cuando esta proviene de la BSC. La ventaja de este, es que es posible sincronizar todas las estaciones base y tener sincronía en la red. Teniendo como referencia un solo reloj central. Alternativamente es posible tener un reloj local de referencia en cada estación base.

j) CODEC de canal

Decodifica los flujos de bits que provienen de diferentes canales lógicos. Este decide si es recuperado el dato de un canal de señalización abierto. Para mas de 4 ráfagas, cuando esto sucede pasa a la entidad de señalización, o bien si el dato es de un canal de trafico abierto sobre 9 ráfagas. El CODEC de canal es capaz de detectar errores cuando estos pueden ser introducidos en la trayectoria de la RF y corregirlo en un punto determinado. Si el error no puede ser reparado el CODEC rechaza la trama dañada.

k) CODEC de voz

EL CODEC de voz transforma la tasa de datos de voz de 13kbps dentro de un flujo original de 104kbps antes de ser reducido otra vez a 64kbps en la dirección de subida hacia la red. En la dirección de bajada, la tasa de datos de 64kbps es transformada a 13kbps lo cual sucede en el CODEC de canal donde es protegida contra errores antes de ser transmitida al aire.

l) Unidad de microondas

Dispositivo donde la señal en banda base entra aun oscilador local, a un mezclador y amplificador para convertirse en Frecuencia Intermedia (FI) pasando este proceso la señal vuelve a ser tratada por otro oscilador local, mezclador y amplificador para obtener señales RF en el orden de los GHz, que son las frecuencias apropiadas en los enlaces dedicados.

m) Unidad de Control

Su función es controlar todas las tareas internas, cuando se tiene acceso a los mensajes de la BSC y estos son repartidos a través de la interfaz Abis.

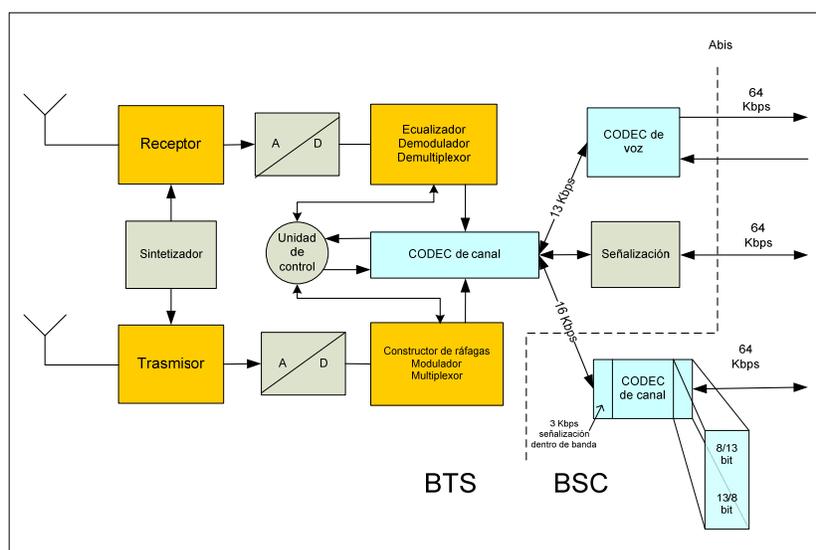


Figura 3.6 Diagrama a bloques de una estación base.

Otros componentes que complementan el funcionamiento de la BTS indispensables para su seguridad y propia autonomía son:

Planta Generadora: La cual alimenta a la radio base y es una acometida especial de la compañía Luz y Fuerza del centro.

Presurizador y Aire acondicionado: Nivelan el calentamiento dentro del shelter.

- ⊕ Sensor del sistema contra fuego, detector del calor, detector de humos, extintor portable del CO₂, sensor del agua.

Baterías con 96 voltios. 2 unidades de 48 volts que auxilian al equipo generador.

Rectificador de CD: Elimina los rizados de corriente.

Convertidor de CD: Convierte la Corriente alterna para los dispositivos que utilizan corriente directa.

Rack: Contiene los radios que establecerán la frecuencia y la cantidad de portadoras que se utilicen durante el enlace.

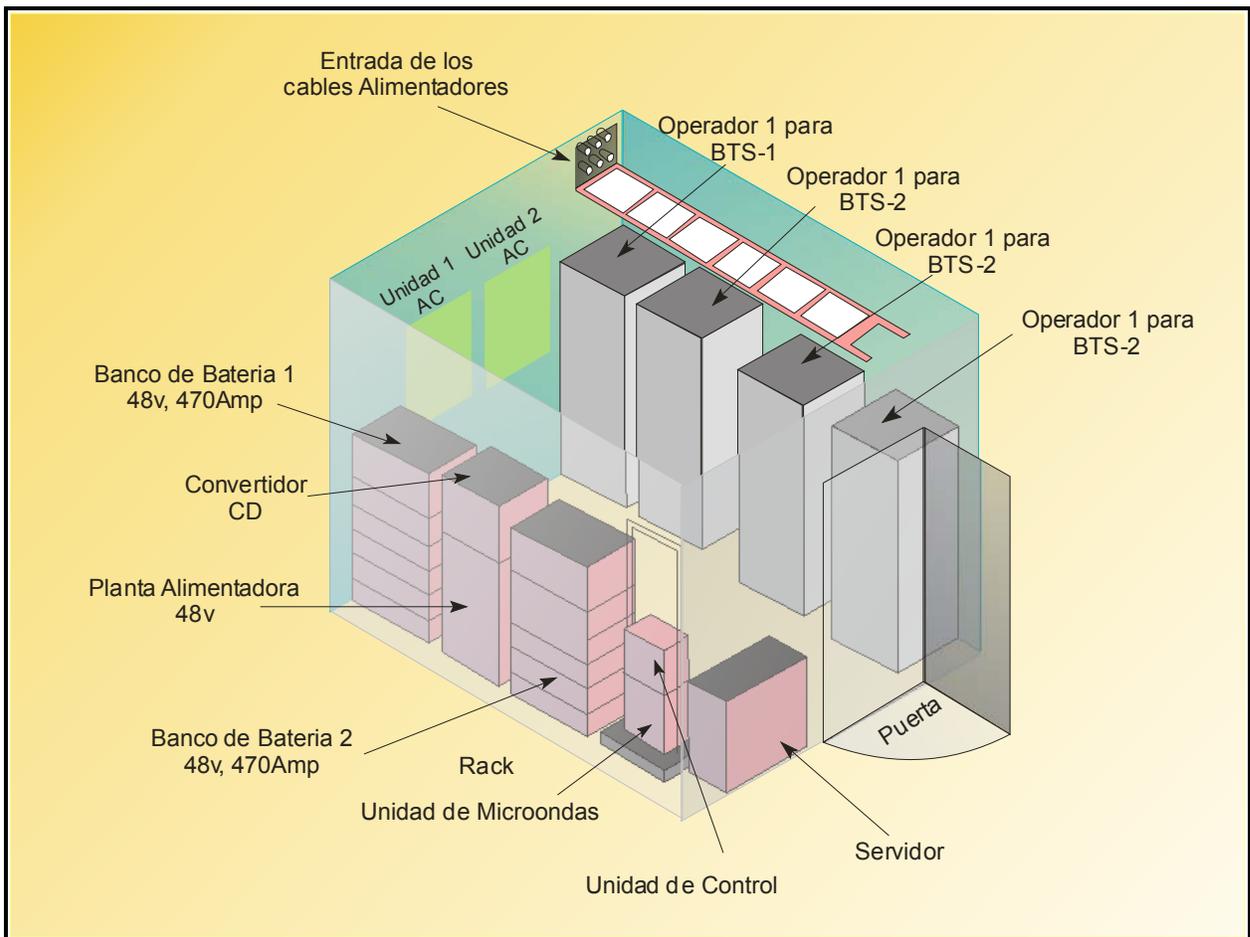


Figura 3.7 Interior de un shelter.

Barra de Tierra

Las líneas de transmisión, el rack, el servidor y todo dispositivo existente dentro del shelter deben ir cuidadosamente aterrizados a una tierra física.

Cables alimentadores

La alimentación de la antena se llevará a cabo con cables de bajas pérdidas con impedancia característica de 50Ω . Los cables coaxiales empleados deberán resistir la humedad por lo que, a veces, se suelen presurizar. También deberán presentar características de flexibilidad suficiente (que se especificará como un radio mínimo) para discurrir desde los equipos hasta la antena o antenas a lo largo de la caseta y del mástil de la torre de soporte. Básicamente se podrán encontrar dos tipos de cables coaxiales:

- ⊕ Coaxial semirrígido (aluminio o cobre)
- ⊕ Coaxial flexible de malla

Los cables de malla no deberán ser utilizados dadas sus características de alta atenuación y máxima potencia que pueden manejar (power rating). Se recomiendan para las instalaciones en los móviles. Los cables semirrígidos presentan atenuaciones menores y, por tanto, serán empleados en estaciones fijas (bases, repetidores, etc.).

Los cables semirrígidos tendrán el conector externo corrugado y podrán utilizar como dieléctrico aire con estructuras de polietileno en forma de hélice para evitar el contacto entre conectores. También se suelen utilizar diversos tipos de "espumas" dieléctricas. Para recorridos moderados de alimentación se utilizarán los cables de dieléctrico de espuma mientras que para recorridos más largos, para reducir las pérdidas, se recurrirá a cables con dieléctrico aire. Para la conexión del cable de alimentación, en un extremo, a la antena, y en el otro al duplexor o, en caso de dos antenas, al combinador y al multi acoplador, se utilizarán latiguillos,

en general, de coaxial semirrígido. Para la conexión al transmisor y al receptor también se utilizará cable semirrígido.

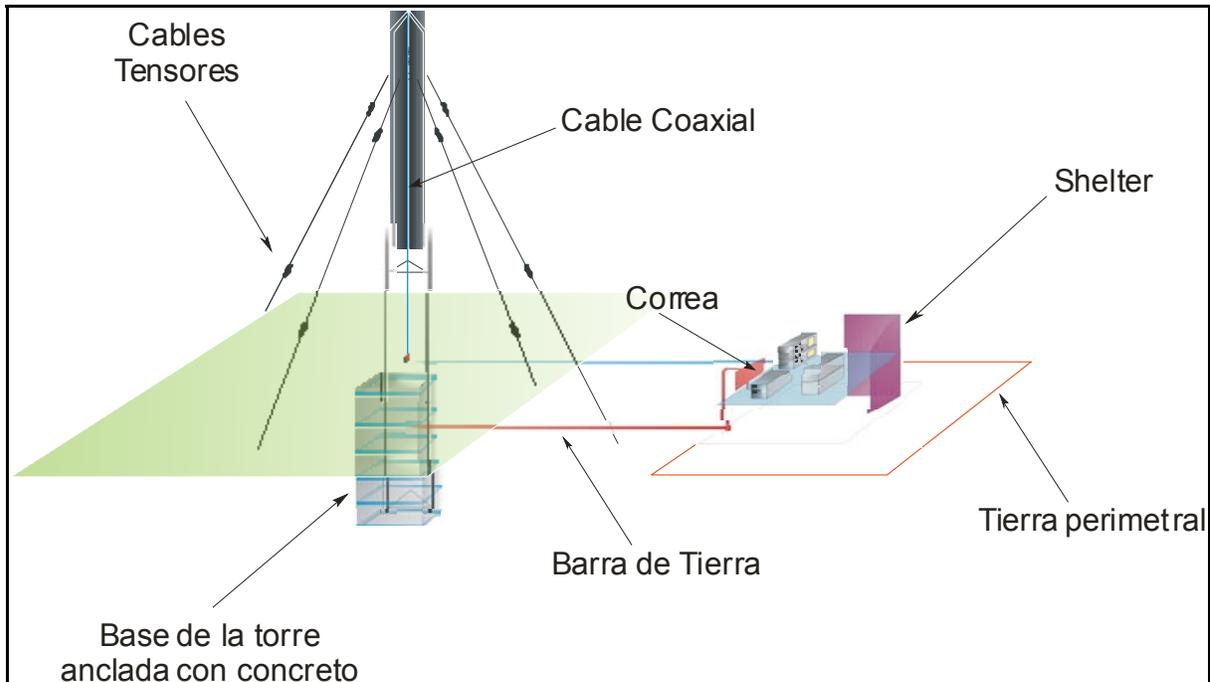


Figura 3.8 Infraestructura de una BTS.

3.2.2 Comunicación BTS- BSC

Este proceso se dará mediante la intervención de ciertos elementos que conforman el proceso de comunicación mediante la interfaz Abis, estos dispositivos se conocen como:

- a) Unidad de referencia de cronometraje
- b) Unidad de salto de frecuencia
- c) Equipo de transmisión
- d) Unidad de Acoplamiento
- e) Unidad de radio monitoreo
- f) Generador de trama
- g) Unidad de mantenimiento
- h) Unidad de Tráfico y Expansión

a) Unidad de referencia de cronometraje

En la BTS, la función de sincronización es necesaria. Suministrar una referencia de tiempo tanto para la generación de RF y las ráfagas de información son indispensables en los procesos. El período del cronometraje es conseguido por la misma BTS y es uno de los componentes indispensables de la misma. La estabilidad de la BTS depende de una referencia de sincronización externa recibida sobre la interfaz de PCM de Abis.

La referencia de cronometraje provee todas las señales de reloj sincronizadas, necesitadas por los otros circuitos dentro de la estación para definir la referencia de tiempo en intervalos especificados en el estándar de sincronización de GSM. Estos son:

- ⊕ Un cuarto de bit(0.92µs)
- ⊕ Un intervalo para la ranura de tiempo(577 µs)
- ⊕ Una trama de tiempo TDMA(4.615 µs)
- ⊕ Un periodo de multitrama
- ⊕ Un periodo de súper trama
- ⊕ Un periodo de híper trama

b) Unidad de salto de frecuencia

Esta unidad brinda conmutación entre la trama generadora (sección de la banda base de la BTS) y la frecuencia portadora controlada por la unidad asociada con un algoritmo de orden que provoque un salto en la frecuencia cada ranura de tiempo.

c) Equipo de transmisión

El equipo de transmisión maneja la interfaz a la BSC. Admite hasta 80 canales de transmisión con tasa completa para ser multiplexados en un enlace de 2 Mbit/SPCM. En aéreas urbanas, una estación base controla 3 celdas.

Tal estación puede manejar 8 frecuencias portadoras por celda, o un total de 24 portadoras, equivalente a 192(24*8) canales de comunicación. Una BTS incorpora mucha flexibilidad, y todo el software puede ser descargado remotamente. Una estación base común tiene entre 1 y 4 transmisores-receptores, y es suministrada de energía por una batería de seguridad.

d) Unidad de Acoplamiento

La unidad de acoplamiento incluye múltiples acopladores para facilitar la diversidad de recepción (2 antenas son acopladas dentro del circuito receptor), y filtros de transmisión, los cuales minimizan la pérdida de potencia, como habíamos mencionado anteriormente. Estos filtros son ajustados remotamente por el centro de operaciones de la red, en una función operacional, la cual permite la selección de las frecuencias portadoras de la estación base a la BSC.

e) Unidad de radio monitoreo

El circuito de radio monitoreo detecta y localiza las fallas en el transreceptor.

f) Generador de trama

El generador de trama contiene todo lo necesario para poder procesar los datos de la banda base y compensar ocho canales de taza completa a 16 canales de taza media. Controla la capa 2 de señalamiento con los protocolos LAPDm y LAPD para la comunicación con la terminal del móvil y la BSC, respectivamente. El generador de trama administra los canales de radio, ajusta la potencia del transmisor y controla la calidad de transmisión de radio. Las funciones del procesamiento de la pre-transmisión son: el alineamiento de la taza de bits de datos y el flujo de la taza de bits, codificación del canal, encriptación y construcción de tramas. Para el receptor, el inverso de estas operaciones es llevado a cabo con, la adición, demodulación, igualamiento y medición de la tasa de error, siendo llevado a la salida.

g) Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento cumple las siguientes reglas:

- ⊕ Manejo de todos los protocolos de comunicación internos y aprobación de alarmas de todo el equipo en la BTS.
- ⊕ Filtrado y control de alarmas dentro de la BTS
- ⊕ Envío de los comandos de la BSC
- ⊕ Entrada y actualización de software que controla la configuración de la unidad.
- ⊕ Control de la interfaz de usuario para el manejo local de la estación.

h) Unidad de Tráfico y Expansión

Esta es instalada acorde con la densidad de tráfico para ser manejada por una celda. Las Unidades de expansión son procesadas en banda base o unidades de trama en frecuencia media (portadora y unidades de acoplamiento).

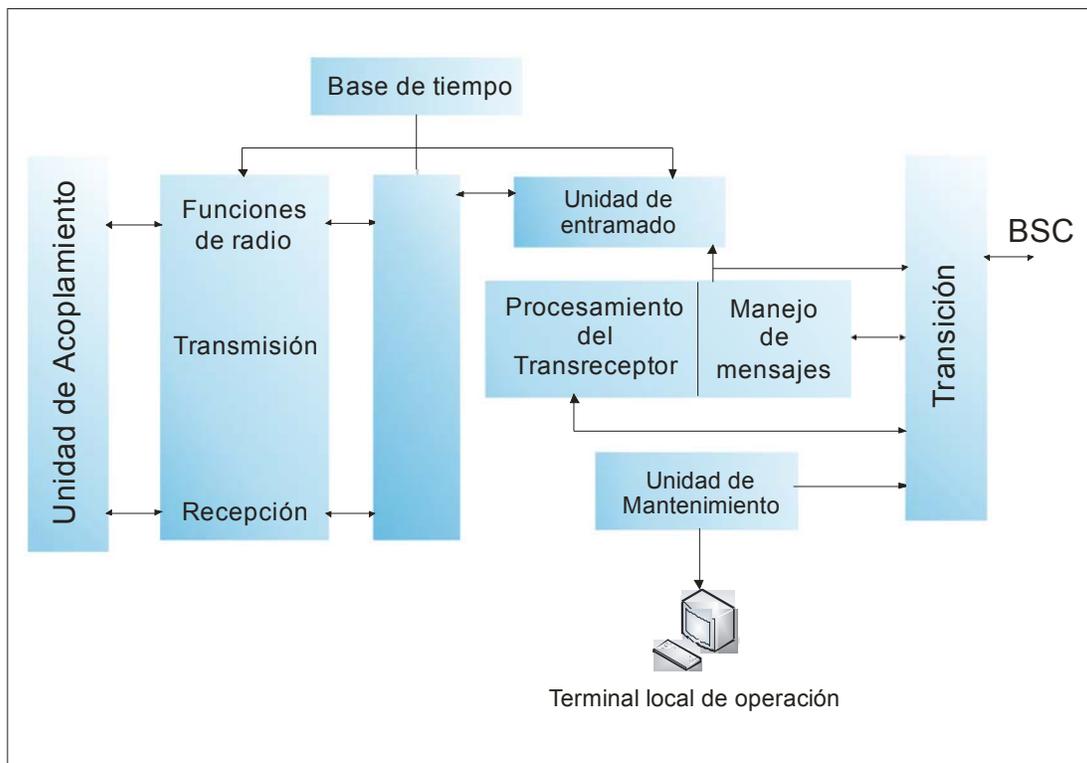


Figura 3.9 Comunicación dentro de la BTS.

3.3 COMPONENTES DE LA BSC

La BSC controla el subsistema de radio, y su función principal es supervisar la BTS. El controlador puede ser ubicado junto a la BTS, ubicado en la MSC o localizado sobre un sitio independiente, por ultimo caso lleva el papel de concentrar el tráfico de la BTS, la cual optimiza la transmisión de la red. Las funciones de la BSC son:

- ✦ Dirección de recursos de radio (canales de tráfico, canales de señalización, etc.)
- ✦ Control de llamada (configuración, supervisión)
- ✦ Manejo de inter celdas (handover)
- ✦ Control de potencia de transmisión
- ✦ Operación y dirección de mantenimiento y señalización a la OMC
- ✦ Dirección de alarmas y supervisión del equipo perimetral
- ✦ Protección del software y datos de configuración de la BTS

Para conseguir la alta confiabilidad y disponibilidad del equipo, los elementos de equipo físico son duplicados. Una BSC opera por todas partes como una matriz conmutadora. Esto admite el direccionamiento de tráfico de un punto de contribución a varios destinos.

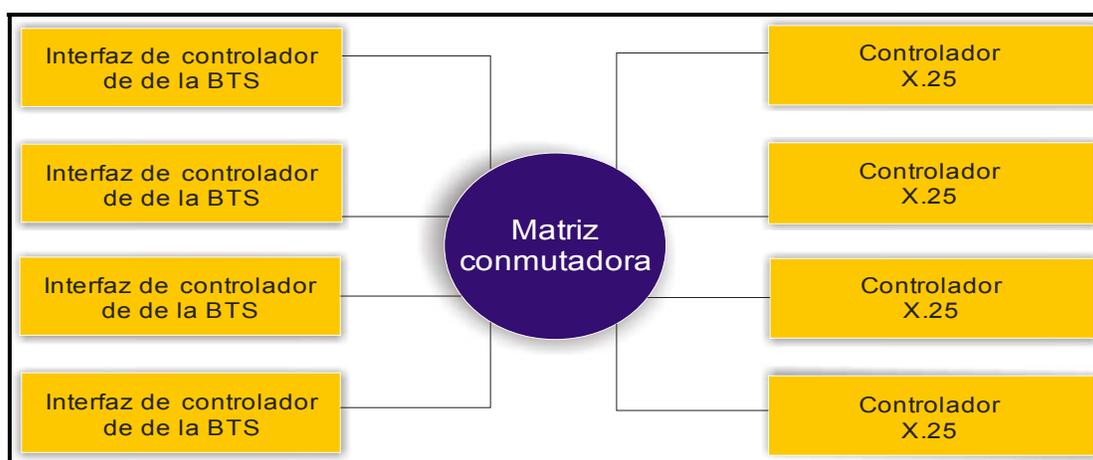


Figura 3.10 Estructura de la BSC.

El controlador actúa como un cruce de comunicación, y este se muestra en el centro ya que actúa como un intermediario a todas las salidas. Tres tipos de controladores gobiernan las diferentes interfaces: comunicación con la BTS, comunicación con la OMC, y comunicación con la red del subsistema (NSS).

Sus componentes principales son:

TRH - TRXC

Hace señales de referencia entre el BSC y BTS. El realizar la señalización es apuntado a la interfaz aérea como FACCH, que ejecuta caracteres o crea señales que son apuntados a un TRXC específico.

TRH

El guía de transceptor (TRH), que reside en el BSC, es un concepto funcional que consta de equipo físico de aplicación y software. El equipo físico consta de un tablero de circuitos de marcado TRHB. El software está ubicado en los procesadores centrales y regionales en el sistema de control. TRH pone fin a la conexión física al BTS.

Un TRH trata con ocho conexiones físicas o dispositivos (8.64 Kbps). Siete de estos dispositivos pueden mantener actualizados los enlaces de datos de LAPD para enviar señales a la BTS, y un dispositivo que es usado para la supervisión y la prueba. Los dispositivos están conectados con los transceptores (TRX) en la BTS, utilizando grupos de conmutadores.

TRXC

El controlador de transceptor (TRXC) es la parte de control del transceptor. Los mensajes de señalización pueden ser enviados a TRH-TRXC o TRH-MS. El último que se refería a los mensajes respondidos por el TRXC. Si no hay enlace LAPD, es usado un hueco sobre el enlace de Abis es necesitado para llevar el tráfico TRH-TRXC para cada transceptor.

Funciones de procesamiento de voz

El proceso de Transcodificador de voz (transmisión y codificación de voz) y el adaptador de tasa de datos es llevado a cabo en la BSC por la transmisión en exteriores que esta ubicada en la Unidad de Adaptación de Transcoder y Tasa de señalización (TRAU). Sin embargo, el control es tratado con por el Manejador de Transcoder remoto (RTH) en la BTS. Con Transcodificador remoto. La tasa de bit es reducida y cuatro canales de la interfaz A pueden ser sub multiplexados en una sola ranura de tiempo de Abis por PCM.

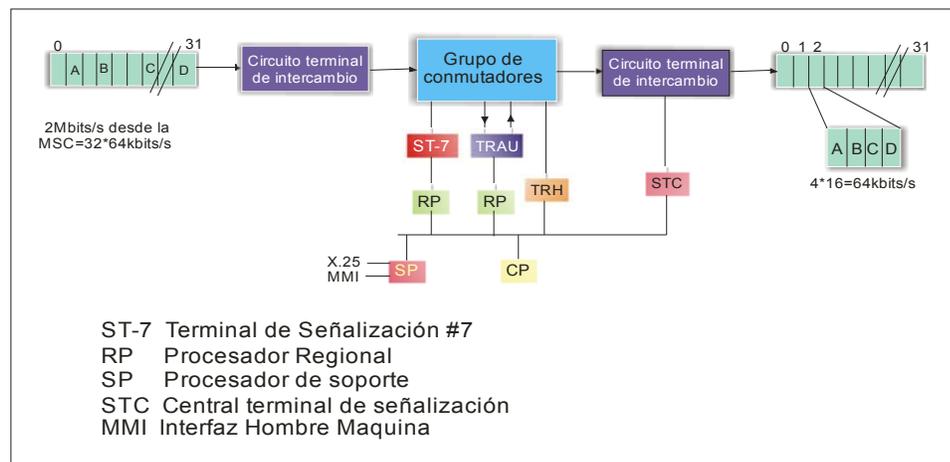


Figura 3.11 Multiplexación en la BSC.

Provee una visión general de las funciones de procesamiento de voz en GSM. El transmitir produce que el mensaje debe de estar ubicado sobre la superior mitad de la cifra. El recibir el mensaje se colocara sobre la mitad más baja. Notamos que hay una diferencia de los mensajes del MS y los de BSS. El equipo de BSS recibe una señal de voz PCM cifrada de la red. Mientras que el MS recibe una señal analógica en el micrófono del MS.

Las funciones de procesamiento de voz constan de las siguientes partes principales:

- ✦ El Transcodificador de voz - reducir la tasa de bits de 64 Kbps hasta 13 Kbps

- ✦ Transmisión Discontinua (DTX) y la detección de actividad de voz (VAD)
- ✦ Funciones ruido de supresión: genera ruido de fondo que ha de ser usado con las operaciones del DTX
- ✦ Sustitución de tramas de voz: reemplazar tramas perdidas con tramas previas.

Transcodificador de voz

- El codificador de voz toma a su entrada una señal PCM de 13 bits uniformemente cuantizada, con una frecuencia de sampling de 8 kHz. Esta señal de voz viene desde la parte de sonido del MS (móvil) o del PSTN vía uno 8 bits de cuantización logarítmica con ley A o ley μ (dependiendo la ubicación regional) a 13 bits cuantizados PCM uniformemente.

Codificador de voz de tasa llena

Tasa completa de la salida de voz contiene 260 bits para cada 20 ms. Hace corresponder a una tasa de bit de 13Kbps. El esquema de codificación es llamado Código Extendido Lineal Predictivo (LPC). Hay una descripción detallada del codificador de voz en las recomendaciones de GSM.

Los sistemas celulares de cobertura GSM que se administran y se explotan en la actualidad en México, contienen todos estos componentes fundamentales para su funcionamiento; para la producción y generación de mayores y mejores servicios de cobertura telefónica; dentro del interior del país se puede contemplar la expansión de la red, lo que nos ha impulsado a proponer el incremento de la cobertura a través de una serie de enlaces de microondas dedicado que habrán de llevar la telefonía celular hacia comunidades estratégicas.

3. 4 ESTUDIO TÉCNICO REGIONAL

Dentro de la República Mexicana, existen un sin numero de zonas de interés socioeconómico y a su vez de gran beneficio para muchas de las actividades económicas terciarias (turismo, educación, salud, etc.), las cuales aun

en la actualidad se encuentran demasiado apartadas y necesitan emprender un camino de vinculación con el resto del país. Cuando hablamos de ciertas comunidades en especial, cabe destacar que las entidades del centro del país, a pesar de su ubicación geográfica, no todas estas presentan una completa estructura de medios de comunicación y transporte factibles para estar dentro de toda la unificación de México en el siglo XXI. En un caso muy particular el estado de Puebla posee ciertas características aprovechables para a ser “actualizado” debido la cercanía de la capital y al ser un punto de enlace con otras de las entidades más importantes del país.



Figura 3.12 Ubicación geográfica del estado de Puebla en México.

Estado de Puebla			
Ubicación	Fronteras	División Política	Interés económico y social
Sureste del Altiplano de la República, entre la Sierra Nevada y al Oeste de la Sierra Madre Oriental; se encuentra entre los paralelos 17°52' y 20°52' latitud norte a su vez en los 96°43' y 99°04' de longitud Oeste	Limitado al Norte con Veracruz, al sur con Oaxaca y Guerrero; al oeste con Morelos, Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo y al este con Veracruz.	El estado consta de 217 municipios que dividen a este en pequeños “sectores”, que ayudan a su administración y a su observación continua.	Gran infraestructura carretera que atraviesa el estado, conectando el centro del país con puertos comerciales del golfo de mucho interés, además comunidades rurales en constante desarrollo y de suma importancia en crecimiento económico.

Tabla 3.1 Características del estado de Puebla.

Dentro del estado, en nuestro proyecto es analizar tres comunidades dentro de tres municipios diferentes a los cuales se les hará llegar cobertura de telefonía celular con tecnología GSM, a través de un enlace de microondas dedicado que unirá la MSC de la capital del estado (H. Puebla de Zaragoza) con los municipios que contiene a las tres comunidades a estudiar, para realizar este proceso se tendrán en consideración un estudio minucioso de cada una de ellas para determinar la buena planeación del proyecto.

Las comunidades que están dentro de nuestro marco de estudio se engloban en la siguiente tabla:

Estado de Puebla		
Municipio	Comunidad	Población
Acajete	Acajete	53,115 habitantes
Palmar de Bravo	Cuacnopala	15,722 hombres y 15,861 mujeres
Esperanza	Esperanza	970 hombres y 6,145 mujeres
--	Total de habitantes	91813 habitantes

Tabla 3.2 Comunidades de interés para nuestro proyecto.

3.4.1 Comunidad de Acajete

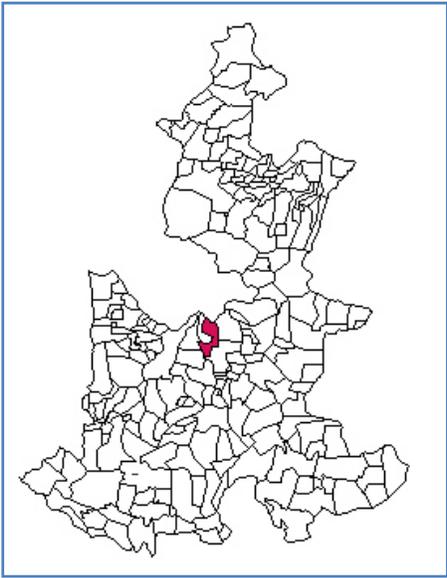


Figura 3.13 Ubicación del municipio de Acajete dentro de Puebla.

Acajete (características físicas del municipio)			
Ubicación	Fronteras	Clima	Suelo
Dentro del municipio de Acajete; ubicado en los paralelos 19° 00' 30" y 19° 11' 06" de latitud norte y los meridianos 97° 53' 54" y 98° 00' 00" de longitud occidental	Limita al norte con el estado de Tlaxcala, al sur con Tepeaca y Cuautinchán, al oriente con Nopalucán y Tepeaca y al poniente con Tepatlaxco de Hidalgo y Amozoc	<p>En el municipio se pueden clasificar cinco climas, predominando los secos.</p> <p><u>Climas semicálidos</u> subhúmedos con lluvias en verano.</p> <p><u>Clima templado</u> subhúmedo con lluvias en verano</p> <p><u>Clima semiseco cálido con lluvias en verano y escasas a lo largo del año.</u></p> <p><u>Clima semicálido con lluvias en verano y escasas a lo largo del año</u>, por ciento de precipitación invernal con respecto a la anual es menor de 5, invierno fresco; temperatura media anual entre 18 y 22 grados centígrados y la del mes más frío inferior a 18° C.</p> <p><u>Clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año.</u></p>	<p>las alturas del municipio oscilan entre 2,280 y 3,260 metros sobre el nivel del mar aproximadamente</p> <p>El municipio pertenece a dos regiones morfológicas: el noreste forma parte del Valle de Tehuacán y el resto de la sierra de Zapotitlán. Se ubica en el costado sur-occidental del Valle de Tehuacán; muestra un relieve montañoso en general, el cual forma un arco que recorre en norte-este y sur declinando hacia el centro-este donde el municipio alcanza su menor altura.</p>

Tabla 3.3 Características de Acajete.

El municipio posee el ayuntamiento del mismo, en la comunidad homónima de Acajete la cual es nuestro blanco para la instalación de la red de telefonía celular, en la siguiente tabla se muestra la comparación de la comunidad con las demás existentes en el municipio:

SERVICIOS	LOCALIDADES									
	Acajete	La Magdalena	San Agustín Tlaxco	San Jerónimo	San Juan Tepulco	Santa María	Inspección Tlacamilco	San Antonio Tlacamilco	Santa María Tepetzala	Inspección Apango
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Agua potable	40	60	80	60	60	80	80	80	80	60
Alumbrado público	60	70	70	50	60	80	70	70	60	60
Drenaje	80	80	90	60	-	70	40	60	60	60
Recolección de basura y limpieza de las vías públicas	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seguridad pública	80	60	80	60	40	60	60	60	60	50
Pavimentación	50	40	60	40	-	60	-	30	20	20
Mercados	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3.4 Distribución de servicios en el municipio de Acajete.

Las actividades económicas del municipio se encuentran relacionadas de la siguiente forma:

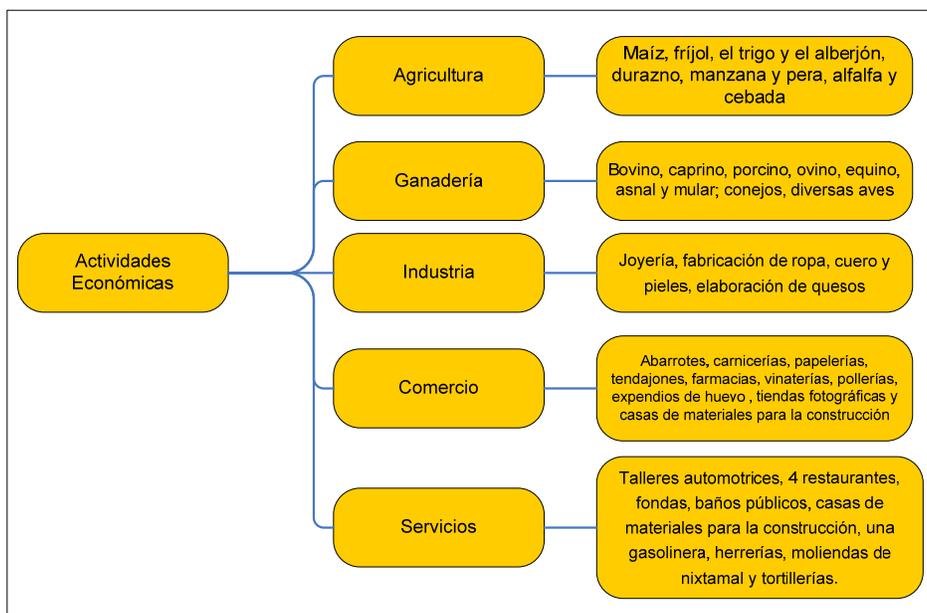


Figura 3.14 Actividades económicas en Acajete.

Población Económicamente Activa por Sector

La población económicamente activa del municipio es del 36.3 % y el 62.9% corresponde a la población económicamente inactiva, siendo el 0.8% no especificado.

Dentro de las actividades económicas por sector se tiene una población ocupada del 97.3% distribuidas de la siguiente forma:

Sector económico	Porcentaje	Principales características
Primario	32.9 %	Caza, Ganadería Pesca, Agricultura
Secundario	32.8 %	Minería, Manufactura
Terciario	31.3 %	Comercio, turismo, servicios

Tabla 3.5 Distribución de población por sector económico.

Las actividades económicas de la comunidad por el tipo de persona (mujer u hombre que se encargan del sustento de la familia y tipo de hogar al cual se esta uno refiriendo, quedan marcadas dentro del siguiente cuadro que nos proporciona un panorama la situación económica de la población del lugar.

HOGARES Y POBLACIÓN POR MUNICIPIO Y SEXO DEL JEFE(A) DEL HOGAR SEGÚN TIPO Y CLASE DE HOGAR										
Municipio y sexo del jefe(a) del hogar	Total de hogares y población	Tipo y clase de hogar /1								
		Hogares familiares					Hogares no familiares			
		Total	Nucleares	Ampliados	Compuestos	No especificado	Total	Unipersonales	Copresidentes	No especificado
Acajete										
Hogares	10154	9724	6473	3193	9	49	428	422	6	2
Población	53071	52617	30616	21586	60	355	447	422	25	7
Jefe hombre										
Hogares	8288	8128	5680	2396	7	45	158	154	4	2
Población	45324	45142	27684	17097	51	310	175	154	21	7
Jefe mujer										
Hogares	1866	1596	793	797	2	4	270	268	2	0
Población	7747	7475	2932	4489	9	45	272	268	4	0

Tabla 3.6 Población económicamente activa por tipo de hogar y genero.

En 1995 el municipio contaba con 47,253 habitantes, siendo 23,031 hombres y 24,222 mujeres, con una densidad de población de 273 habitantes por kilómetro cuadrado; teniendo una tasa de crecimiento anual de 2.0%. Se estima que para el año 2005 la población ascienda a 56,704, calculándose una densidad de población de 294 habitantes por kilómetro cuadrado.

3.4.2 Comunidad de Cuacnopala

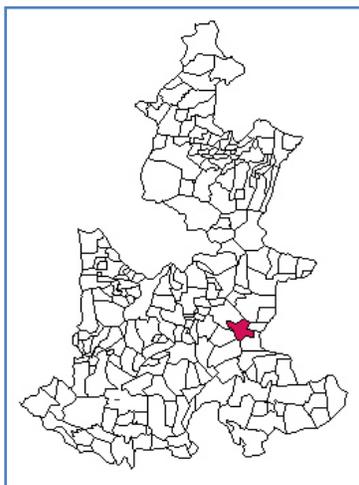


Figura 3.15 Ubicación del municipio de Cuacnopala dentro de Puebla.

Cuacnopala (características físicas del municipio)			
Ubicación	Fronteras	Clima	Suelo
<p>Dentro del municipio de Palmar de Bravo; ubicado en los paralelos 18° 45' 36" y 18° 55' 06" de latitud norte y los meridianos 97° 22' 54" y 97° 40' 00" de longitud occidental</p>	<p>Colinda al norte con Esperanza al noroeste con Chalchicomula de Sesma y al sureste con Cañada Morelos</p>	<p>Por su posición geográfica, muestra como clima predominante característico de los llanos de San Andrés.</p> <p><u>Clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año</u>, se presenta en todo el centro y oriente es el clima dominante.</p>	<p>El municipio pertenece a dos regiones morfológicas: suroeste, es cruzado por la Sierra de Soltepec; el resto del territorio forma parte de los llanos de San Andrés. La Sierra de Soltepec está representada en el municipio por el Valle Filo de la Tierra Colorada y por el Cerro Xonolcosanto; alcanza alturas superiores a 2,800 metros sobre el nivel del mar; se caracteriza por ser una pequeña cadena de cerros áridos y peñascosos que interrumpen la llanura entre los llanos de San Andrés y los de Tepexi. El nivel de la Sierra desciende abruptamente en dirección suroeste-noreste hasta desembocar en los llanos de San Andrés, planicie oriental de la Meseta Poblana al pie de la serranía en que se encuentra el Pico de Orizaba y que representa una amplia superficie arenosa caracterizada por la depresión volcánica lacustre que forma. En el municipio, los llanos mencionados presentan una altura promedio de 2,200 metros sobre el nivel del mar, muestran un ligero declive en dirección sureste y noroeste; este ancho y largo valle es interrumpido por dos accidentes orográficos aislados ubicados al sureste y al norte.</p>

Tabla 3.7 Características de Cuacnopala.

La carretera federal México-Córdoba atraviesa el municipio de oeste a este. Una carretera estatal procedente de Tecamachalco y que llega a Tehuacán, lo

cruza pasando por la cabecera municipal. A esta carretera se une una carretera secundaria que recorre el oeste del municipio. El resto se encuentra comunicado por medio de caminos de terracería y brechas, cubriendo el servicio con combis colectivas. El ferrocarril Puebla-Veracruz atraviesa el municipio.

Localidad	agua %	drenaje %	alumbrado publico %	recolección de basura %	seguridad publica %	pavimentación %	mercados %
Palmar de Bravo	95	80	70	100	60	65	100
Cuacnopala	85	0	70	0	70	30	100
Xaltepec	95	0	60	0	80	10	100
Cuesta Blanca	80	80	70	0	60	10	0
La Purísima	80	0	50	0	0	0	0
Bella Vista de Victoria	90	0	50	0	0	0	0
Santa Cruz Monterrosas	100	0	50	0	0	0	0
Tehuitzo	90	0	50	0	0	0	0
San Isidro Monterrosas	95	0	70	0	0	0	0

Tabla 3.8 Servicios en Cuacnopala.

Como se muestra en la tabla 3.8 con respecto al ayuntamiento general del municipio de Palmar de Bravo (homónimo Palmar de Bravo), la localidad de Cuacnopala presenta cierta ventaja contra las demás comunidades dentro del mismo.

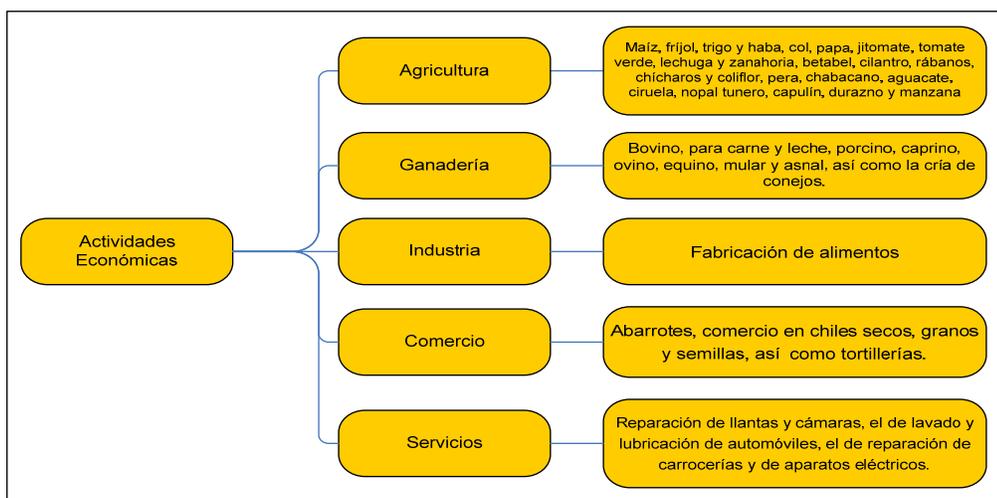


Figura 3.16 Actividades económicas en Cuacnopala.

Población Económicamente Activa por Sector

La población económicamente activa del municipio es de 38.0%, del cual el 96.3% son ocupados y el 3.7% desocupados. Además el total de la población económicamente inactiva es de 60.3%. Las actividades económicas del municipio por sector, se distribuyen de la siguiente forma:

Sector económico	Porcentaje	Principales características
Primario	78.6 %	Caza, Ganadería Pesca, Agricultura
Secundario	8.4 %	Minería, Manufactura
terciario	9.4 %	Comercio, turismo, servicios

Tabla 3.9 Actividades por sector en Cuacnopala.

3.4.3 Comunidad de Esperanza

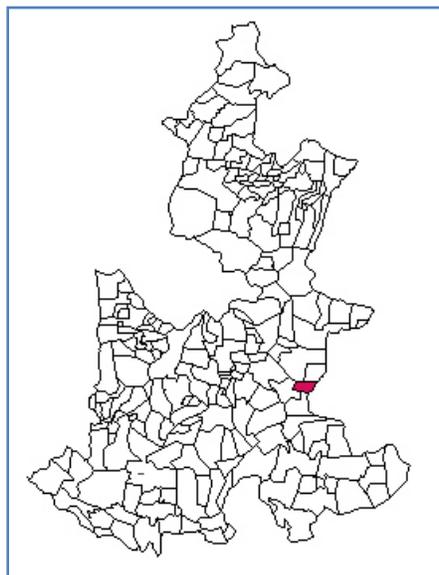


Figura 3.17 Ubicación del municipio de Esperanza dentro de Puebla.

Esperanza (características físicas del municipio)			
Ubicación	Fronteras	Clima	Suelo
Dentro del municipio de Esperanza; ubicado en los paralelos 18° 49'42" y 18° 53'42" de latitud norte, y de los meridianos 97° 16'06" y 97° 29' 8" de longitud occidental	Colinda al norte con Esperanza y Chalchicomula de Sesma, al sur con Cañada Morelos, al este con el estado de Veracruz y al oeste con Palmar de Bravo	<p><u>Clima semiseco</u>: templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año. Es el clima predominante; se identifica en las zonas planas, correspondientes a los Llanos de San Andrés.</p> <p><u>Clima templado</u>: subhúmedo, con lluvias en verano. Se presenta al extremo oriental, donde se inician las estribaciones de la Sierra Madre, donde alcanza mayor altitud. El municipio tiene una espesa neblina todo el año.</p>	El territorio del municipio pertenece a la región morfológica de los Llanos de San Andrés, planicie oriental de la meseta poblana, que presenta una amplia superficie arenosa, caracterizada por la depresión volcánica lacustre que forma. Los accidentes orográficos que se presentan al oriente y al sur, son estribaciones de la Sierra Madre Oriental, y presentan un declive de este a oeste, que cuando se estabiliza, forma parte de los llanos mencionados. La planicie del municipio es amplia y es el relieve característico al occidente; presenta en el centro una altura promedio de 1,400 metros sobre el nivel del mar, al norte colinda con el Citlaltépetl (cerro de la Estrella o Pico de Orizaba), al sureste con el Monte Cimarrón y al sur con el cerro de las Tres Cruces

Tabla 3.10 Características de Esperanza.

Atraviesa el municipio de oeste a este la carretera México-Córdoba, que pasa por la cabecera municipal y se ramifica al oeste de ésta. Una carretera secundaria parte del municipio y llega a la comunidad de Atzitzintla; de la cabecera municipal parte otra carretera con dirección sur que se dirige al municipio de Cañada Morelos, ramificándose varias veces en el trayecto. El resto del municipio se encuentra comunicado por caminos de terracería y brechas.

servicio	esperanza	san José cuyachapa	Otilio Montaño	Sta. Catarina los reyes	Guadalupe potrerros	san Antonio de abajo
Agua Potable	90	--	100	100	100	100
Alumbrado Público	70	30	80	70	10	20
Drenaje	80	--	50	80	---	--
Recolección de Basura	80	--	--	--	--	---
Seguridad Pública	60	--	--	--	--	---
Pavimentación	40	60	--	40	--	15
Mercado	100	--	--	--	--	--
Rastro	90	--	--	--	--	--

Tabla 3.11 Servicios en Esperanza por localidad.

Al ser cabecera municipal la localidad de Esperanza es una de las más adelantadas, con respecto a las demás comunidades del municipio. Por otro lado las actividades comerciales en la población quedan remarcadas en la siguiente figura:

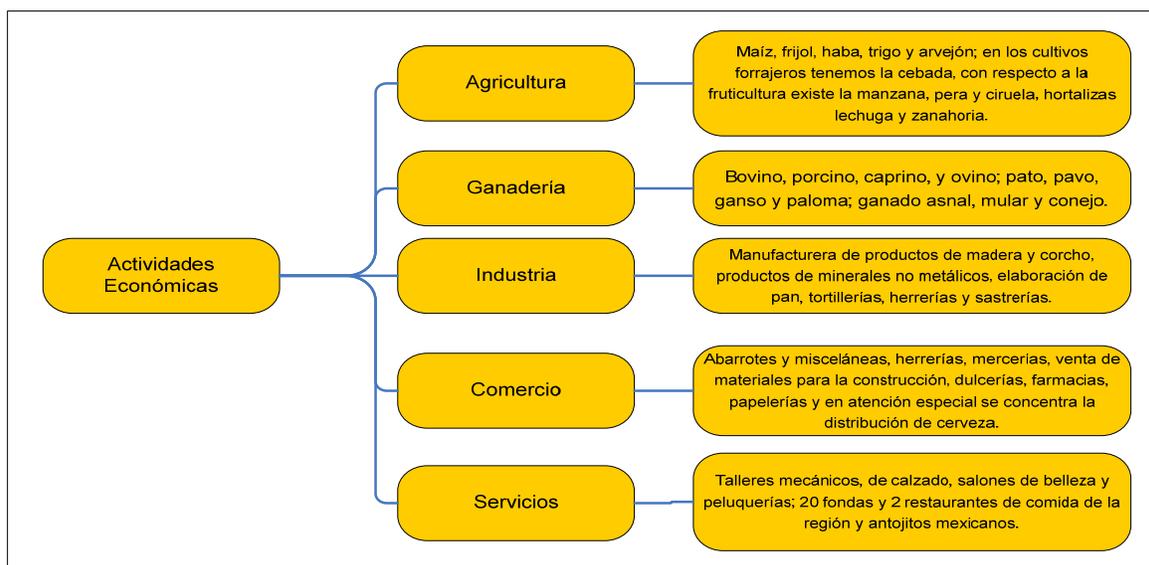


Figura 3.18 Actividades económicas en Esperanza.

Población Económicamente Activa por Sector

La población económicamente activa del municipio es de 38.9%, el cual el 95.7% son ocupados y el 4.3% desocupados. Además el total de la población económicamente inactiva es de 60.3%.

Las actividades económicas del municipio por sector, se distribuye de la siguiente forma:

Sector económico	Porcentaje	Principales características
Primario	49.2 %	Caza, Ganadería Pesca, Agricultura
Secundario	12.6 %	Minería, Manufactura
terciario	36.0 %	Comercio, turismo, servicios

Tabla 3.12 Población económicamente activa por sector Esperanza.

La población económicamente activa por grupo dentro del municipio de Esperanza, se muestra en la tabla 3.13 de la siguiente manera:

POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA POR GRUPO						
QUINQUENAL DE EDAD SEGÚN SEXO						
Años censales 2007						
GRUPO DE EDAD	TOTAL		HOMBRES		MUJERES	
	ESTADO	MUNICIPIO	ESTADO	MUNICIPIO	ESTADO	MUNICIPIO
2005						
TOTAL	1 683 233	4 328	1 176 317	3 194	506 916	1 134
12-14 AÑOS	39 510	120	27 635	93	11 875	27
15-19 AÑOS	204 654	599	138 477	403	66 177	196
20-24 AÑOS	251 323	667	171 933	471	79 390	196
25-29 AÑOS	234 255	570	162 869	431	71 386	139
30-34 AÑOS	208 790	524	144 075	384	64 715	140
35-39 AÑOS	190 403	470	129 897	348	60 506	122
40-44 AÑOS	154 270	329	106 463	247	47 807	82
45-49 AÑOS	119 823	247	84 659	189	35 164	58
50-54 AÑOS	92 225	221	67 122	178	25 103	43
55-59 AÑOS	65 536	179	49 260	141	16 276	38
60-64 AÑOS	49 168	136	37 375	105	11 793	31
65 Y MÁS AÑOS	73 276	266	56 552	204	16 724	62

Tabla 3.13 Población por edad Esperanza.

3.5 CONCLUSIONES

Como parte de nuestra investigación, la comprensión de los procesos de comunicación entre los componentes que competen a un enlace de microondas dedicado, han ayudado a la visión de establecer un diseño que hemos aterrizado y será planificado con sumo cuidado; la claridad con la cual hemos estudiado a todas las comunidades que corresponden a nuestro proyecto (la distribución, geografía, entorno social y económico, etc.) ayudan en gran medida a justificar el avance de la telefonía móvil hacia estas entidades, aun mas las limitantes de enlaces directos apoyados con alguna comunidad vecina hemos empezado a dibujar nuestro objetivo de enlace, y es pues de esta manera; como ingenieros que tenemos la responsabilidad de crear una vía confiable, práctica y apropiada a las necesidades de comunicación de estos lugares con el resto del país.

CAPÍTULO 4



Diseño de un enlace de microondas dedicado

Planear y diseñar el enlace de microondas dedicado contemplando todos los datos recabados de la visita de campo basando los parámetros obtenidos y estudiados en apoyos y pruebas computacionales; esbozo de los planos de obra civil para cada un de los puntos de la trayectoria del enlace, elección de equipo con características adecuadas para lograr eficiencia en el sistema de telecomunicaciones.

4.1 INTRODUCCIÓN

Las consideraciones primordiales dentro del proyecto, han sido fundamentadas al conocimiento de las comunidades en estudio; por otro lado también tenemos que vislumbrar que tipo de equipos y sus características para poder realizar el diseño y montaje de las estaciones radio base.

Dentro de este capítulo se manifiestan las rutas para establecer los enlaces de microondas, las ubicaciones y la justificación de las mismas; ya que la visita de campo realizada justifica el proceso de la creación del enlace evidenciando que existe línea de vista para la comunicación, se debe tomar en cuenta que todos los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores apoyan a vislumbrar las formas y funciones que son necesarias para realizar el proyecto y a su vez, características principales del estudio de las regiones.

Por último se crear una ficha técnica que ayude a describir e indicar los parámetros adecuados para la trasmisión de la señal de radiofrecuencia que afecte en lo mínimo; las pérdidas por trayectoria y atenuación que puedan ser recibidos de tal forma que su potencia sea óptima para que pueda ser retransmitida nuevamente y así llegar al final de nuestro enlace, la distribución y los equipos que se efectuaran, los cálculos pertinentes que demuestren la funcionalidad e integridad del enlace considerando parámetros establecidos por fabricantes y cuantificaciones reales.

4.2 PROTOCOLO DE MONTAJE DE LAS ESTACIONES BASE

En la creación de un enlace de microondas, nuestro proyecto contempla como ya se ha marcado, la comunicación entre las localidades de Acajete, Cuacnopala y Esperanza; para la elaboración del diseño, se pueden describir los pasos a seguir en el proceso de montaje de un enlace de microondas terrestre dedicado en la siguiente tabla:

Procedimiento	Problema	Solución
1. Presentación de nuestro proyecto (enlace entre la central de Puebla con Acajete, Cuacnopala y Esperanza)	Determinar la fiabilidad del proyecto (esbozo de ubicación)	Investigación de un estudio socio-económico y técnico, el cual fundamentara la presencia y la justificación de nuestro proyecto.
2. Perfiles Topográficos	Determinar perfiles topográficos	Examinar la mejor ruta de alturas, empleo de cartas topográficas para la creación de la mejor ruta de comunicaciones
3. Diagrama de ruta	Ubicar en el terreno la ruta del enlace	Diseño de plano de rutas
4. Elección de ubicación	Cálculo de enlace y coordenadas	Ubicación sobre un plano topográfico, antenas de trasmisión, recepción y repetidores
5. Cálculo de curvatura de la tierra y altura real	A medida que las distancias son mas grandes se presenta un error topográfico por la curvatura de la tierra	Implementación de formulas que ayudan al cálculo de curvatura, y gracias a este se obtiene la altura real de cada cota topográfica.
6. Graficar cota topográfica contra altura real	Implica determinar el obstáculo máximo en la ruta	Determinar la línea de vista principal
7. Cálculo de zonas de Fresnel	Determinar si el lóbulo de radiación vertical de la antena sobrepasa a los obstáculos	Graficar los lóbulos verticales de propagación, verificar que la altura de las antenas no sea mayor a los 120 metros
8. Diseño de torres	Si las altura de las torres son mayores a 120 metros se considerara implementar un repetidor	Se debería de considerar que las alturas van de 15 a 120 metros con línea de vista entre antenas
9. Pérdidas en espacio libre y Ganancia del Sistema	Cálculo de pérdidas en espacio libre	Determina el modelo adecuado al enlace
10. Elección de guía de onda o cable coaxial	Seleccionar la guía de onda adecuada	Dependiendo de la frecuencia se tomara nota del proveedor ideal para este servicio
11. Antenas y Repetidores	Elección de antenas y repetidores	Hojas de especificaciones de proveedores, parámetros esenciales: tamaño y ganancia
12. Análisis legal		Impacto legal, social, ecológico, cultural,, etc.

Tabla 4.1 Protocolo para realizar un enlace de microondas dedicado.

PROTOCOLO PARA REALIZAR EL ENLACE DE MICROONDAS DEDICADO.

1. **Proyecto:** Ante la necesidad de falta de comunicación de telefonía móvil en comunidades rurales del Estado de Puebla, se desea dar servicio a

través de un enlace de microondas dedicado; para esto se debe de considerar los siguientes puntos para el planteamiento del proyecto:

- Se realizará un enlace de microondas desde una central de Puebla que comunicará a las localidades de Acajete, Cuacnopala y la Esperanza.
- A partir de los planos topográficos de la zona que contemplan a dichas localidades, se trazó la mejor ruta y la solución más adecuada para realizar el enlace.

Carta topográfica	Clave	Nombre de la carta
1	E14B43	Heroica Puebla de Zaragoza
2	E14B44	Tepatlxco
3	E14B54	Tepeaca
4	E14B55	Cuidad Serdán

Tabla 4.2 Claves y nombres de cartas topográficas usadas en el proyecto.

- Mediante la investigación y desarrollo, teniendo en cuenta la legislación y trámites nacionales, realizar un diseño que cumpla con todas ellas.
- Mediante los conocimientos adquiridos, analizar variables que afecten la eficiencia, modificándolas coherentemente para lograrlo.

2. Perfiles Topográficos: Desarrollo del montaje visto desde un nivel topográfico, este se establece creando una vista de la sección del terreno, para ayudar a ver los diferentes relieves del montaje, así como los diferentes tipos de cortezas terrestres y composición del suelo que tenga el lugar; esto ayudara a determinar los mejores niveles de cimentación para las estaciones base (torres y antenas), así como el esquema que muestre las líneas de vista entre los enlaces.

3. Diagrama de ruta: Se contempla el plano topográfico de un sistema con *línea de vista*, para ellos se marca dentro de un mapa del lugar la ruta que seguirá la señal y se tomaran nota de las distancias y las

características del terreno entre las poblaciones a enlazar, como se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Enlace principal de la red de microondas.

4. Elección de ubicación: Recopilando información precisa de la zona del lugar, se tendrá que considerar el establecimiento de las torres que abran de soportar a las antenas sobre el terreno con parámetros importantes como:

Nombre	Ubicación	Latitud	Longitud	Altura sobre nivel del mar (metros)	Distancia recorrido parcial en kilómetros
BSC Puebla	Puebla de Zaragoza	19° 3'11.73"N	98°10'56.02"O	2220	0
RADIOBASE NODO Acajete	Acajete	19° 6'17.38"N	97°59'30.53"O	2495	21
RADIOBASE NODO Tepeaca	Tepeaca	18°59'3.14"N	97°54'9.73"O	2233	17.75
RADIOBASE NODO Cuacnopala (Guadalupe Enríquez)	Palmar de Bravo	18°53'36.40"N	97°34'40.38"O	2220	33.75
Repetidora Cuacnopala - Esperanza	Palmar de Bravo	18°52'53.27"N	97°30'28.14"O	2580	7.5
RADIOBASE NODO Esperanza	Esperanza	18°51'30.34"N	97°22'24.06"O	2450	14.5
Distancia total en kilómetros					94.5

Tabla 4.3 Ubicación y distancias de las comunidades.

Para el caso de nuestra planeación, se consideraran las antenas direccionales, las repetidoras o bien, las comunidades auxiliares en el enlace.

5. Cálculo de curvatura de la tierra y altura real: Desde el punto de vista geográfico y espacial, la tierra posee una forma muy particular la cual produce un efecto óptico y métrico de distorsión dentro del mapeo de una zona, la precisión decae de forma más notoria conforme la distancia aumenta, ya que en el proceso en el cual una superficie de origen esférico es montada sobre una extensión plana. El cálculo de la curvatura de la tierra empieza a considerarse a partir de los 40 Km dentro de una superficie, esto implica aplicar una serie de procesos que nos ayudaran ajustar y corregir el problema. La curvatura de la tierra es calculada mediante la siguiente expresión:

$f_i = \left[\left(\frac{x_i(x_n - x_i)}{2KR} \right) * 1000 \right] [m]$
Donde:
$f_i = \text{curvatura de la tierra (m)}$
$x_i = \text{punto donde se mide la curvatura de la tierra (Km)}$
$x_n = \text{distancia máxima hasta B (Km)}$
$K = \text{factor de corrección de la tierra (0.75)}$
$R = \text{radio de la tierra (6378.2 Km)}$

Tabla 4.4 Ecuaciones de cálculo de curvatura de la tierra.

El factor de corrección encontrado en el cálculo sumado a la altura leída en la carta topográfica (cota topográfica C_i) nos ayudará a determinar la altura real (Z_i). De esta forma se puede encontrar la altura real para cada punto:

$Z_i = [C_i + f_i] (m)$
Donde:
$f_i = \text{curvatura de la tierra (m)}$
$Z_i = \text{altura real (m)}$
$C_i = \text{altura de la cota topográfica (m)}$

Tabla 4.5 Ecuaciones de calculo altura real.

6. Graficar cota topográfica contra altura real: Se procede a crear los perfiles topográficos mediante una lectura dentro de la misma, en el proyecto hemos tomado lecturas a cada 250 metros (equivalente a 0.5 cm). En este proceso se han tomado las suficientes para cubrir el terreno desde los puntos en los que se establece la salida de la microonda hasta donde se habrá de llegar (este proyecto establece las rutas conforme a los acuerdos mutuos de los equipos que darán cobertura celular y enlace de microondas dedicado).

7. Cálculo de zonas de Fresnel: Determinan la primera zona de Fresnel, ayuda a comprobar que la línea de vista es correcta, se debe de considerar que en caso que en el enlace pudiese existir algún obstáculo en el se pueden crear puntos de repetición con diseños de antenas (con alturas mínimas de torres de 15 metros y máximas de 120 metros), se vislumbra de igual manera que para la mejor recepción, se deben de evadir los obstáculos que obstruyan las propagación de las microondas.

El cálculo de los patrones que nos referencian las zonas de fresnal se determinan por la siguiente expresión:

$r_i = \sqrt{\frac{\lambda * n * d_1 d_2}{d_t}} \quad (m)$
Donde:
$d_1 = distancia que se va acumulando desde el origen (m)$
$d_2 = distancia que se va restando desde el origen (m)$
$d_t = distancia total de la línea de vista$
$\lambda = longitud de onda (m)$
$n = factor de corrección (1.00325)$

Tabla 4.6 Ecuaciones de calculo zonas de Fresnel.

8. Diseño de las torres: Se definirá la estructura de la torre dependiendo a las necesidades de la zona; ya que se tiene que lidiar con la geología y el clima del lugar; ya que estos factores serán los que demanden un

diseño de forma eficiente; tanto para soportar las condiciones del clima, la accesibilidad a los equipos de montaje y de mantenimiento. Las torres deben de poseer su respectiva señalización y estar lo más cercanas al “*SHELTER*” (sitio arquitectónico que contiene todos los elementos electrónicos de comunicación), para garantizar una rápida respuesta entre las antenas montadas en ellas.



Figura 4.2 Torre con antenas de microondas.

9. Pérdidas por espacio libre y ganancia del sistema: Son factores fundamentales en la creación de el proyecto, determinan los factores radioeléctricos de los equipos de comunicaciones y como influyen los factores ambientales en la peor situación. Las pérdidas por espacio libre implican que cuando una onda electromagnética; es radiada y propagada, viajando a través del espacio libre se pueden considerar los diferentes niveles de atenuación de la potencia, estos parámetros se pueden prever mediante las siguientes expresiones:

<i>Pérdidas (dB)</i>	$L_p = 92.44 + 20\log f + 20\log d$
Donde:	
	$f = \text{frecuencia (GHz)}$
	$d = \text{distancia (Km)}$

Tabla 4.7 Ecuaciones de calculo perdidas por espacio libre.

Por otro lado la ganancia del sistema contempla la relación que expresa la equidad y la compensación entre todas las pérdidas y las ganancias de todos los componentes que comprenden al sistema; los parámetros que intervienen en la ganancia del sistema se relacionan de la siguiente manera:

$G_s = F_m + L_p + L_{bt} + L_{ft} - A_t - A_{rr} - A_r$
Donde se conoce que:
$F_m = 30 \log d + 10 \log(6 * A * B) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (dB)$
$L_{bt} = L_{b1} + L_{b2} + \dots + L_{bn} \quad (dB)$
$L_{ft} = L_{f1} + L_{f2} + \dots + L_{fn} \quad (dB)$
$C_{min} = C/N + N \quad (dB)$
$N = -204 + 10 \log Ab \quad (dB)$
$P_e = C_{min} + G_s$
Y cada una de las variables se identifica de la siguiente manera:
$G_s = \text{Ganancia del sistema} \quad (dB)$
$F_m = \text{Margen de desvanecimiento} \quad (dB)$
$L_{bt} = \text{Pérdidas por ramificación} \quad (dB)$
$L_{ft} = \text{Pérdidas por alimentador} \quad (dB)$
$A_t = \text{Pérdida por el transmisor} \quad (dB)$
$A_{rr} = \text{Pérdida por receptor} \quad (dB)$
$A_r = \text{Pérdida por repetidor} \quad (dB)$
$A = \text{Factor de rugosidad (tipo de suelo)}$
$B = \text{Tipo de clima}$
$R = \text{Confiabilidad del sistema} \quad (\%)$
$N = \text{Sensibilidad del receptor} \quad (dB)$
$Ab = \text{Ancho de banda} \quad (MHz)$
$C_{min} = \text{Potencia de portadora} \quad (dB)$
$C/N = \text{Relación portadora a ruido}$
$P_e = \text{Potencia de entrada al receptor} \quad (Watts)$

Tabla 4.8 Ecuaciones de calculo ganancia del sistema.

10. Elección de guía de onda o cable coaxial: Se elegirá la guía de onda o alimentador coaxial más adecuado para el lugar, pues éste será el que unirá a la antena con el *SHELTER* (sitio arquitectónico que contiene todos los elementos electrónicos de comunicación).

11. Antenas y repetidores: su existencia como un elemento que tendrá que radiar la información electromagnética en forma de microondas, principalmente se considerara que serán de tipo parabólicas y lo más directivas posible; la elección de las antenas dependerá de la frecuencia en la banda que se deseará trabajar (en nuestro enlace se ha considerado frecuencia de 23 GHz), para mayor protección están cuberitas con una malla que evita la acumulación de materiales ajenos al sistema y que puedan interferir con la trasmisión o la recepción: polvo, arena, agua, nidos de aves, etc.

El rendimiento de radiación de las antenas va de acuerdo con la ganancia que éstas tengan y de su atenuación en relación a las condiciones climáticas y de ruido que puedan presentarse en el medio en el cual se realizará el montaje.

Las antenas presentar un desempeño que va sujeto a las sus hojas de especificación del fabricante en cuestión, los repetidores o reflectores de igual forma se pueden considerar dentro de las hojas de especificaciones para elegir a los más adecuados se consideraran factores de PIRE y ganancia efectiva.

12. Análisis de legislación: Es el punto más crítico dentro de cualquier proyecto de esta naturaleza, ya que al ser un proceso bastante costoso, se tiene que encontrar una justificación financiera que ayude a considerarlo para su ejecución. Además se tiene que crear una tabla de costos de materiales, se considerarán todo tipo de accesorios que sean útiles dentro las mismas torres y dentro del *SHELTER*.

La legislación de un montaje en un sistema de comunicaciones inalámbrico, depende de las condiciones de cada país, en México la COFETEL es la encargada de los procesos y los trámites de telecomunicaciones, la COFETEL es

un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con autonomía técnica y operativa, el cual tendrá las atribuciones que le confiere el Decreto de Creación y el Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con el objeto de regular y promover el desarrollo eficiente de las telecomunicaciones. Todos los trámites que se realicen deben establecerse dentro del carácter legal, social y ambiental para llevar a cabo un proyecto de esta índole además considera los permisos y concesiones hacia el uso de el espectro.

COFETEL establece el rango de operación del espectro electromagnético para la función de un enlace de microondas dedicado dentro de los operadores de telefonía celular en México; esta norma especifica que se utilizará una frecuencia de 23 GHz para el enlace, licitado para las empresas DIPSA, IUSACELL/UNEFON y TELEFONICA en el país.

4.3 DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDAS

Durante el proceso del diseño del enlace de microondas, se debe realizar un diagrama de sistema, partiendo de la BSC en Puebla y en cada una de las localidades del estado; el diagrama de nuestro proyecto se muestra a continuación:

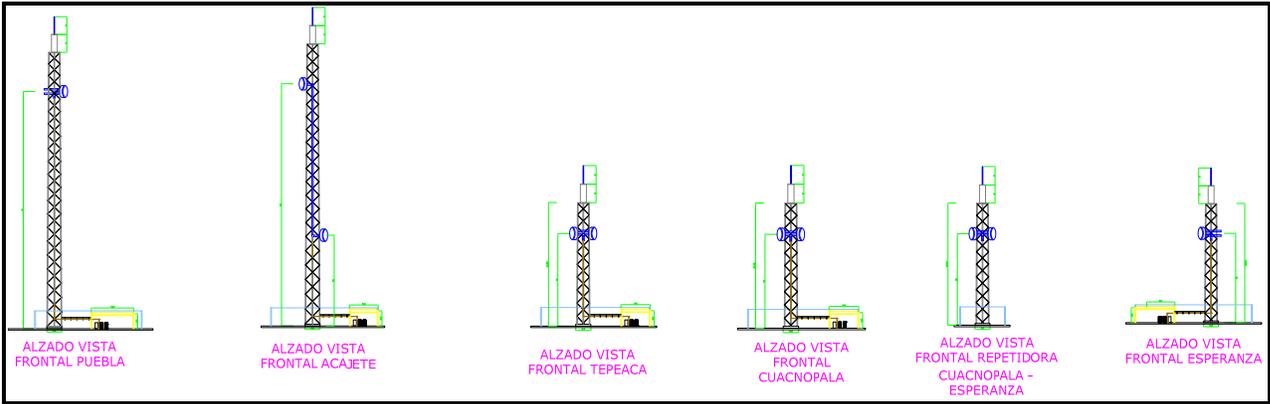


Figura 4.3 Diagrama de sistema del enlace de microondas.

Cada uno de los enlaces contempla, el diseño del espacio arquitectónico para la culminación de cada una de las radiobases nodo, así como la distribución del equipo dentro del terreno.

4.3.1 Enlace Puebla – Acajete

El enlace se ha creado a partir de la ubicación de la ultima BSC que nos abra de suministrar la salida del enlace desde la ciudad de Puebla, justo en el centro cerca del parque Zaragoza, con mayor referencia hacia el Fuerte de Loreto.

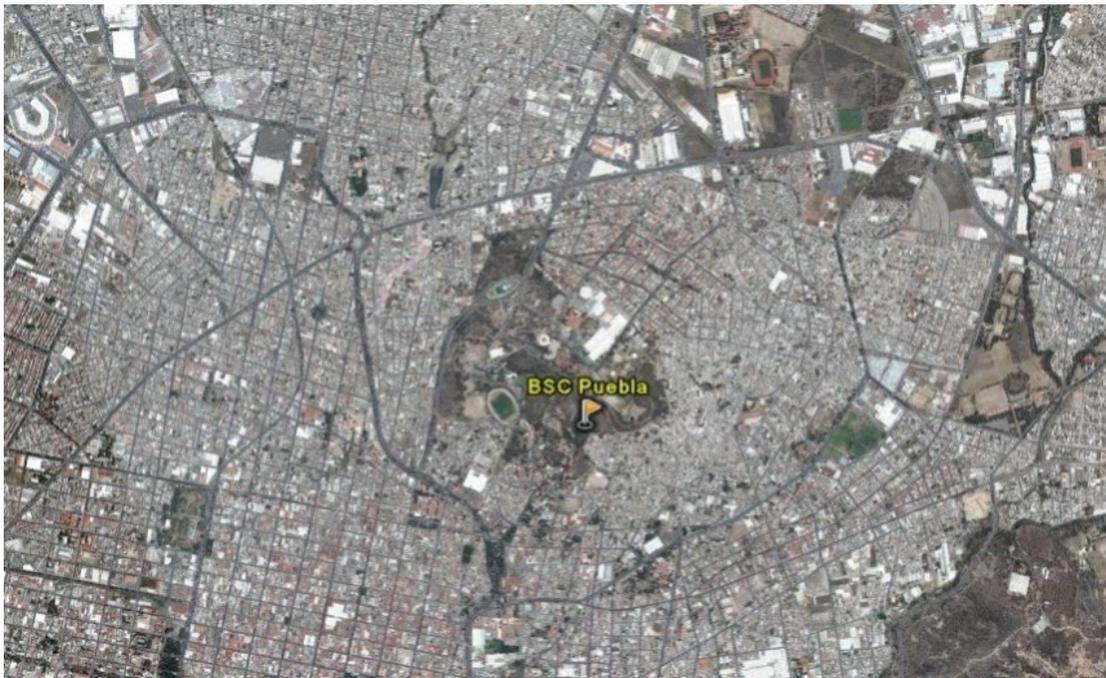


Figura 4.4 Ubicación de la BSC en Puebla.

La salida del enlace realizará un recorrido de 21 kilómetros atravesando la ciudad desde el centro hacia el noroeste rumbo a la comunidad de Acajete. Este enlace se llevará a cabo por medio de platos de microondas de 1.8 metros de diámetro trabajando a 23 GHz, dada las condiciones del terreno el enlace presenta línea de vista real sin necesidad de repetidoras; por otro lado las ubicaciones elegidas han sido establecidas conforme a los acuerdos con equipos de trabajo que proporcionarían cobertura celular.

Análisis de potencia.

PUEBLA - ACAJETE	
Margen de desvanecimiento	18.04 dB
Pérdida de trayectoria por espacio libre	146.11 dB
Sensibilidad del receptor	-140.98 dB
Potencia mínima de portadora	-115.98 dB
Pérdida por ramificación	4 dB
Pérdida por alimentador	25.48 dB
Potencia de transmisión	10 Watts
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Ganancia de antena transmisora	49.5 dB
Ganancia de antena receptora	49.5 dB
Ganancia del sistema	94.63 dB
Potencia de entrada al receptor	7.32 mwatts
Potencia de entrada al receptor (fabricante)	7.5 mwatts

Tabla 4.9 Análisis de potencia Puebla – Acajete.

Parámetros del enlace de microondas.

PUEBLA - ACAJETE	
Ancho de banda	2 MHz
Confiablez del sistema	99.95%
Relación de señal a ruido	25 dB
Tipo de modulación	QPSK
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Velocidad de transmisión	2048 Kbps

Tabla 4.10 Parámetros del enlace Puebla – Acajete.

Coordenadas del lugar de la radiobase nodo.

	BSC PUEBLA	RADIOBASE NODO ACAJETE
Latitud	19° 3'11.73"N	19° 6'17.38"N
Longitud	98° 10'56.02"O	97° 59'30.53"O

Tabla 4.11 Ubicación geográfica Puebla – Acajete.

Equipos para el enlace de microondas.

Tipo de línea de transmisión		EWP220 Acoplado		
Longitud de línea de transmisión		92 m		
Atenuación de línea de transmisión		27.7 dB/100m		
SISTEMA RADIADOR PRINCIPAL				
Modelo de antena	Diámetro	Polarización	Ganancia	
Tx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Rx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Azimut		Elevación	Radomo con filtro	

			UV
	Anterior	Posterior	
Tx	72°	220°	0.75° Cóncavo
Rx	220°	72°	-0.75° Cóncavo

Tabla 4.12 Especificación de equipos Puebla – Acajete.

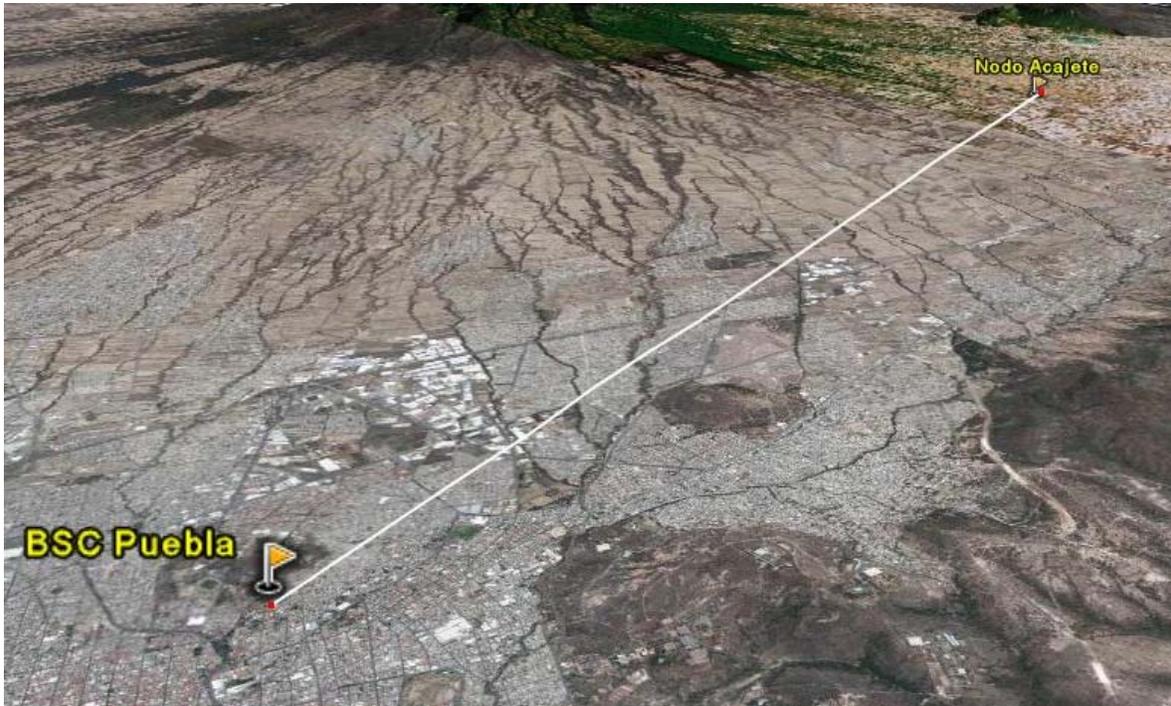


Figura 4.5 Vista del enlace desde la BSC Puebla hacia Acajete.

Orográficamente, este enlace no presenta mayor dificultad puesto que se ve establecido mediante el libramiento del valle al norte de Puebla, pasando hacia las faldas del el volcán Malinche que nos encaminan hacia el municipio de Acajete, dejando estacionada la radio base poco antes de la llegada de la cabecera municipal (Acajete).

Donde se creará la infraestructura que sustentará a la torre con las antenas y el shelter. Por otro lado se contempla la ubicación y el diseño de las instalaciones dentro de la comunidad de Acajete con una planta que se ubica a escasos 4 kilómetros de la cabecera municipal del municipio.

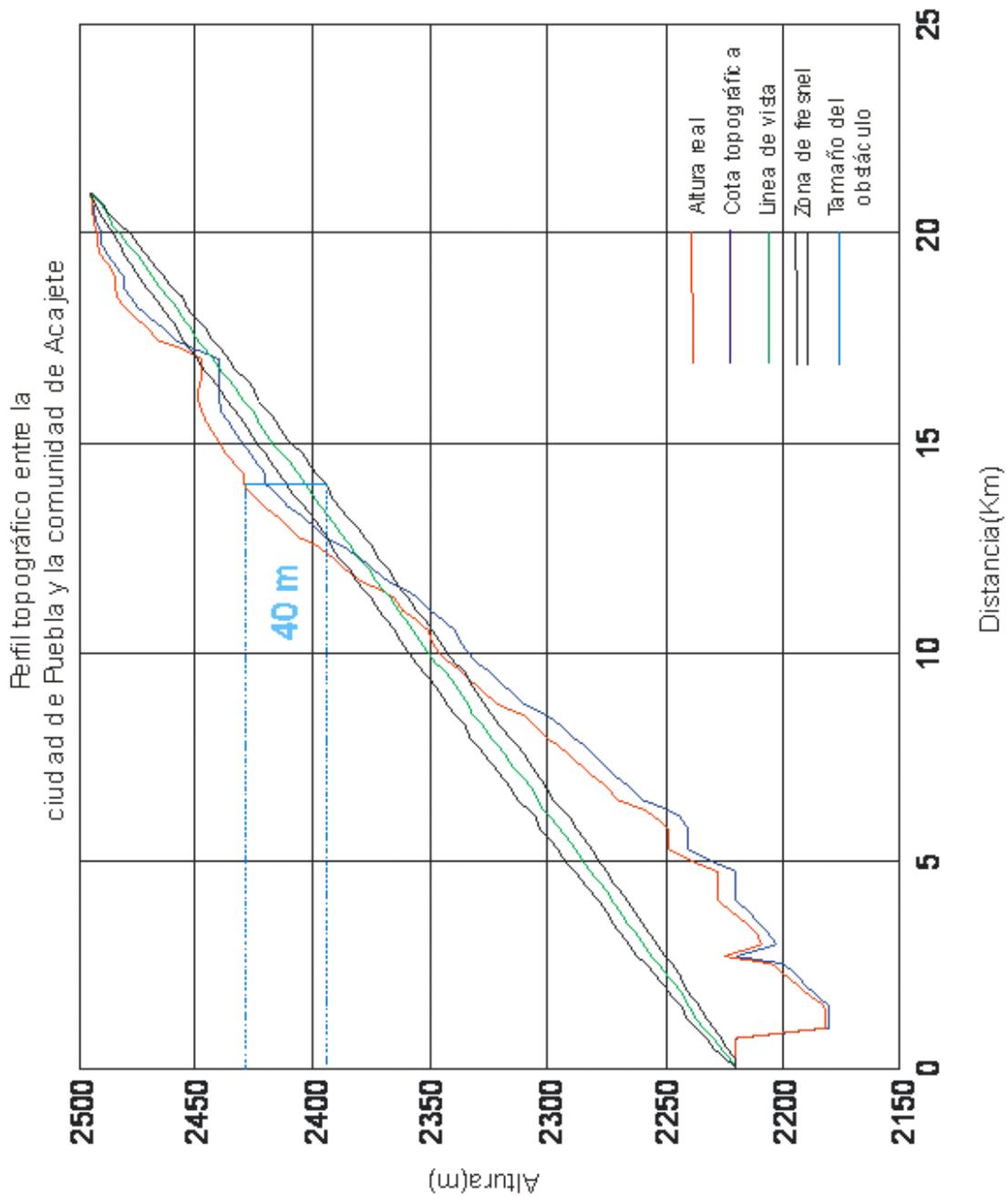


Figura 4.6 Perfil topográfico desde Puebla hacia Acajete.

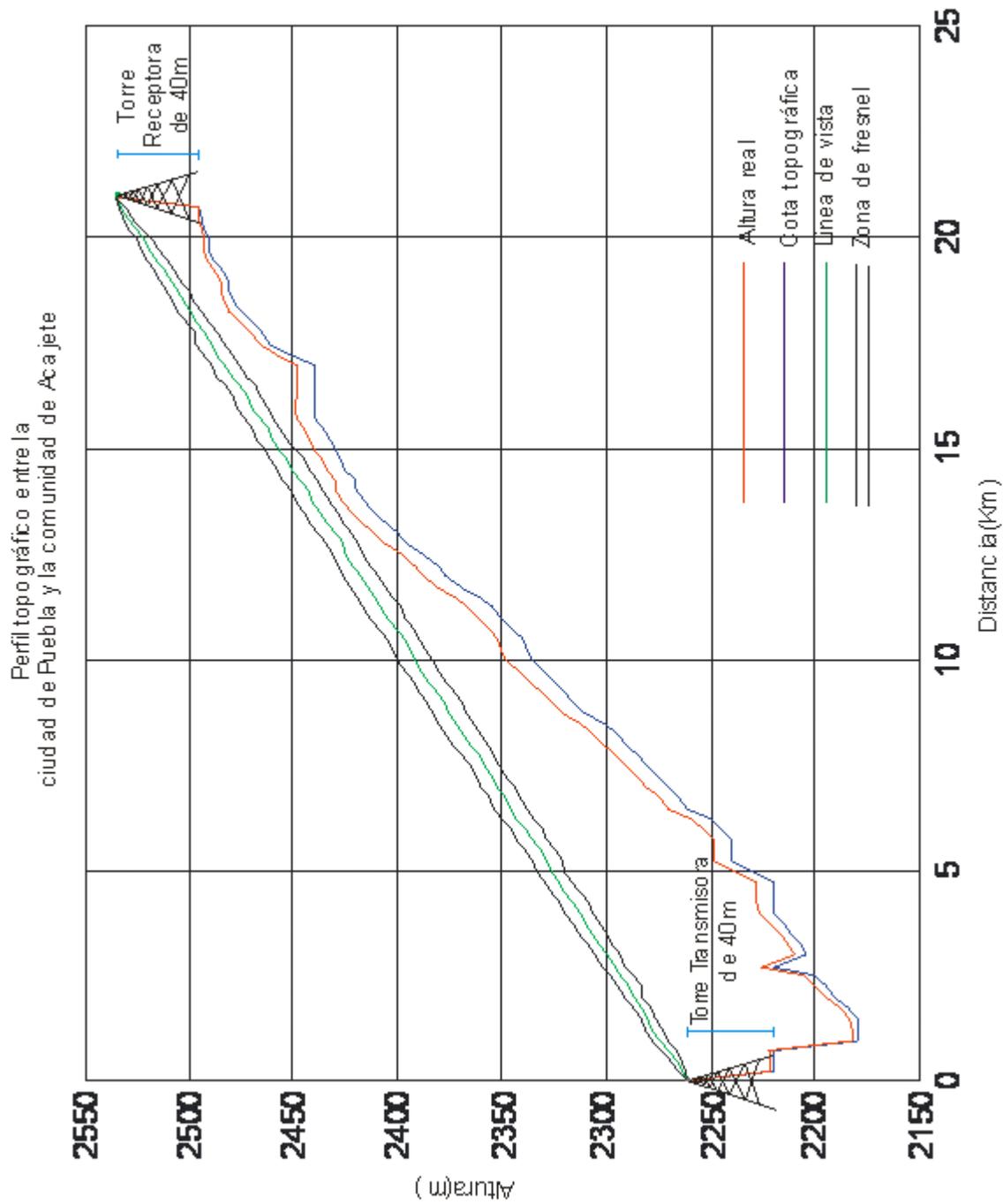
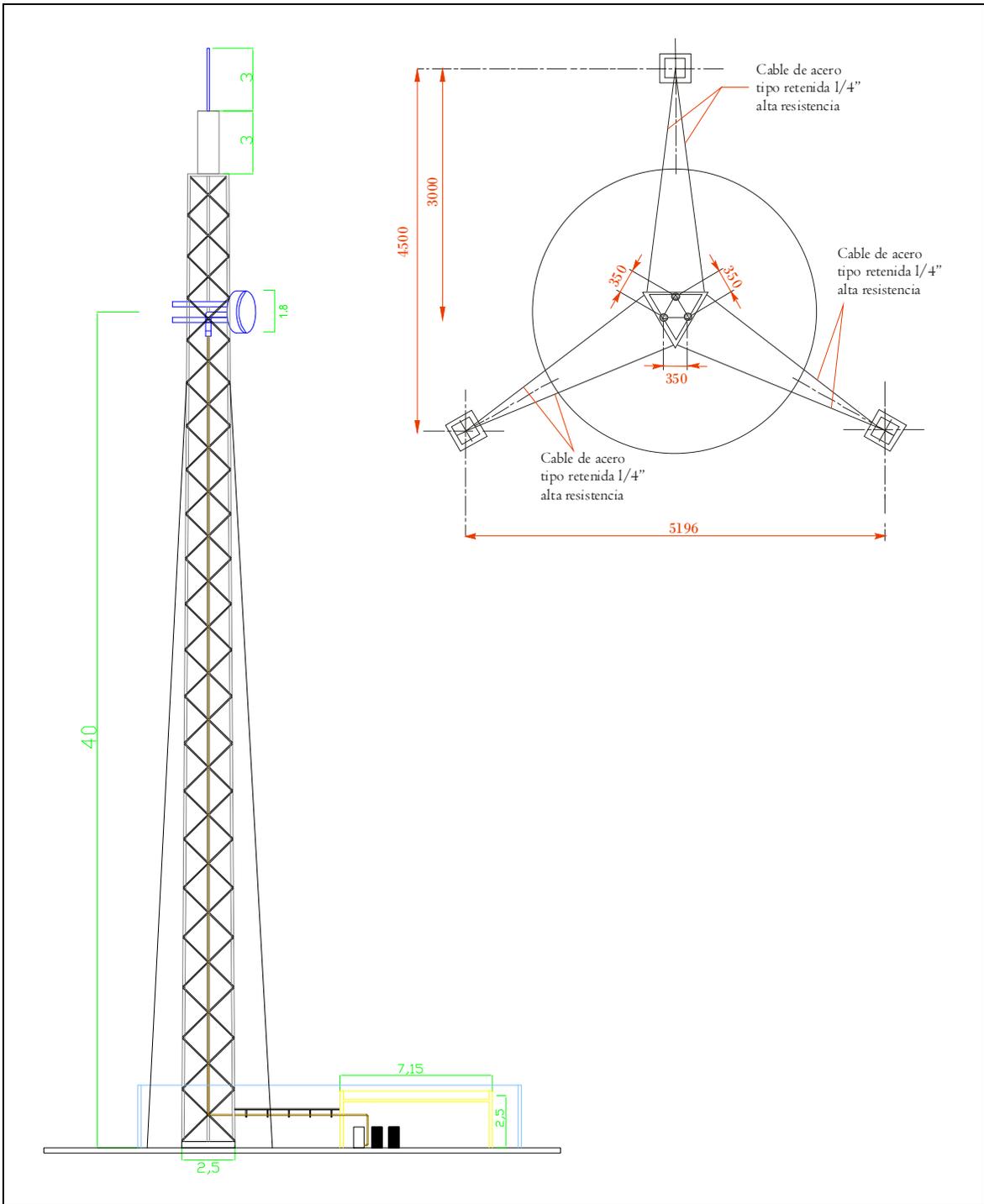


Figura 4.7 Perfil topográfico desde Puebla hacia Acajete con torres.



Proyecto	BSC Puebla – radiobase nodo Acajete	Antena	
Sitio	BSC Puebla	Dirección	radiobase nodo Acajete
Plano	Perfil arquitectónico	Altura (m)	40m
		Elevación (°)	0.75°
Acotación	Metros	Azímüt (°)	72° 220°

Tabla 4.13 Perfil arquitectónico de la BSC en Puebla.

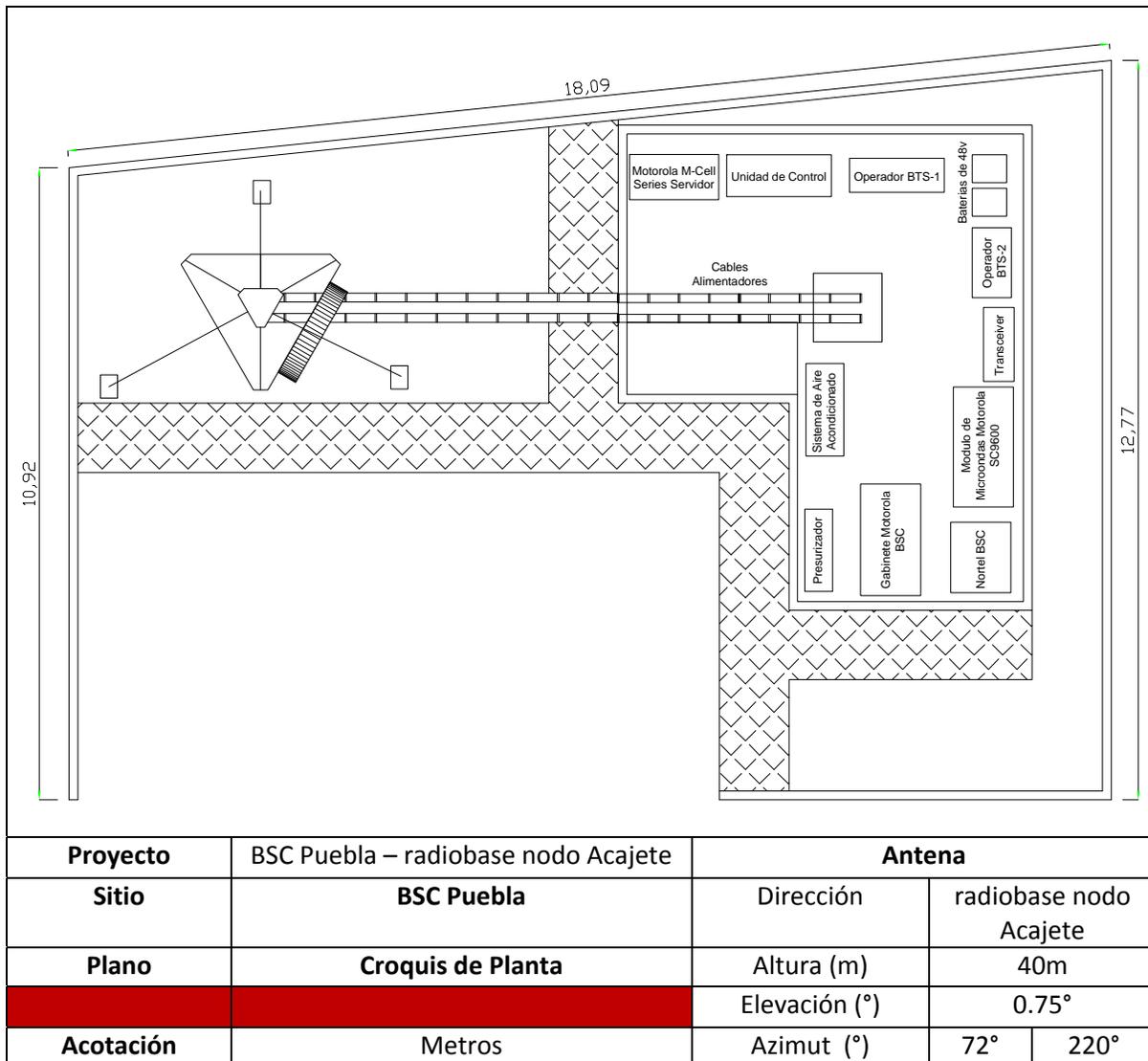


Tabla 4.14 Croquis de planta la BSC en Puebla.

4.3.2 Enlace Acajete – Tepeaca

Inicialmente se debe de rescatar que el concepto real en el proyecto era un enlace de microondas dedicado entre la BSC en Puebla y la radiobase nodo que se diseñara en Cuacnopala; sin embargo, se han tomado las consideraciones en donde la distancia entre ambas localidades es demasiado grande, por lo cual se vio la necesidad de realizar una ruta alterna dentro las inmediaciones de Puebla con el fin de no hacer omisión a este enlace. Se dedujo que conforme a los equipos de trabajo que trazaron la ruta sur del enlace podría ser apoyada con una radiobase nodo ubicada en la cabecera municipal de Tepeaca dentro del municipio

homónimo dentro de la entidad de Puebla, por ello se implemento un enlace desde Acajete hacia este lugar, como punto estratégico que de igual forma proporcionara cobertura celular.

Análisis de potencia.

ACAJETE - TEPEACA	
Margen de desvanecimiento	6.82 dB
Pérdida de trayectoria por espacio libre	144.65 dB
Sensibilidad del receptor	-140.98 dB
Potencia mínima de portadora	-115.98 dB
Pérdida por ramificación	4 dB
Pérdida por alimentador	11.63 dB
Potencia de transmisión	10 Watts
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Ganancia de antena transmisora	49.5 dB
Ganancia de antena receptora	49.5 dB
Ganancia del sistema	68.11 dB
Potencia de entrada al receptor	16.5 μ watts
Potencia de entrada al receptor (fabricante)	16.5 μ watts

Tabla 4.15 Análisis de potencia Acajete – Tepeaca.

Parámetros del enlace de microondas.

ACAJETE - TEPEACA	
Ancho de banda	2 MHz
Confiabilidad del sistema	99.95%
Relación de señal a ruido	25 dB
Tipo de modulación	QPSK
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Velocidad de transmisión	2048 Kbps

Tabla 4.16 Parámetros del enlace Acajete – Tepeaca.

Coordenadas del lugar de la radiobase nodo.

	radiobase nodo ACAJETE	radiobase nodo TEPEACA
Latitud	19° 6'17.38"N	18° 59'3.14"N
Longitud	97° 59'30.53"O	97° 54'9.73"O

Tabla 4.17 Ubicación geográfica Acajete – Tepeaca.

Equipos para el enlace de microondas.

Tipo de línea de transmisión	EWP220 Acoplado
Longitud de línea de transmisión	42 m
Atenuación de línea de transmisión	27.7 dB/100m

SISTEMA RADIADOR PRINCIPAL				
Modelo de antena		Diámetro	Polarización	Ganancia
Tx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Rx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Azimut			Elevación	Radomo con filtro UV
	Anterior	Posterior		
Tx	154°	322°	0.8553°	Cóncavo
Rx	322°	154°	-0.8553°	Cóncavo

Tabla 4.18 Especificación de equipos Acajete – Tepeaca.



Figura 4.8: ubicación de la radio base nodo en Tepeaca

La radio base en Tepeaca se dispondrá a las afueras de la comunidad y cerca de la autopista federal de cuota México – Orizaba (numero 150), dentro de un terreno desolado y por demás semiplano, el enlace se efectuará desde las inmediaciones bajo las faldas del volcán la Malinche pasando por un valle por el

cual corre la carretera y llegando hasta las zonas atravesando una distancia de alrededor de 17.75 kilómetros de recorrido.

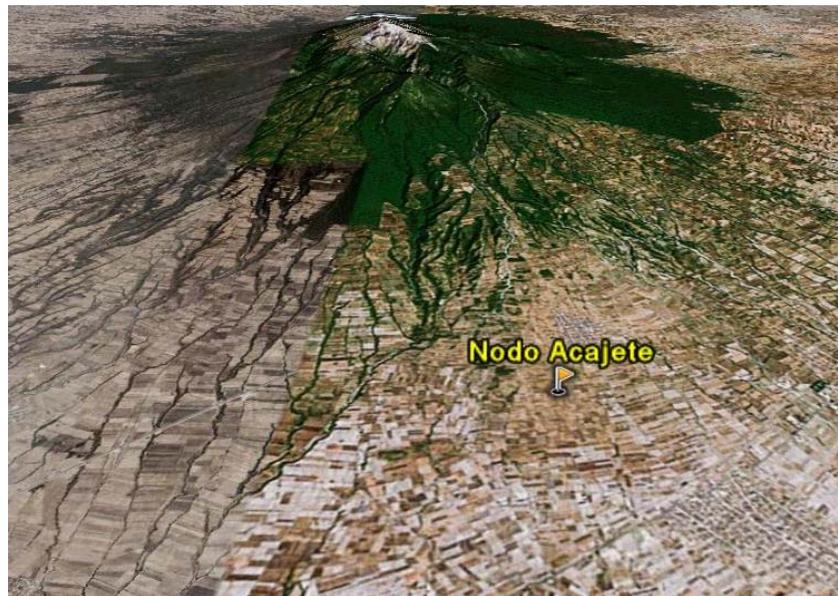


Figura 4.9 Ubicación de la radio base nodo en Acajete.

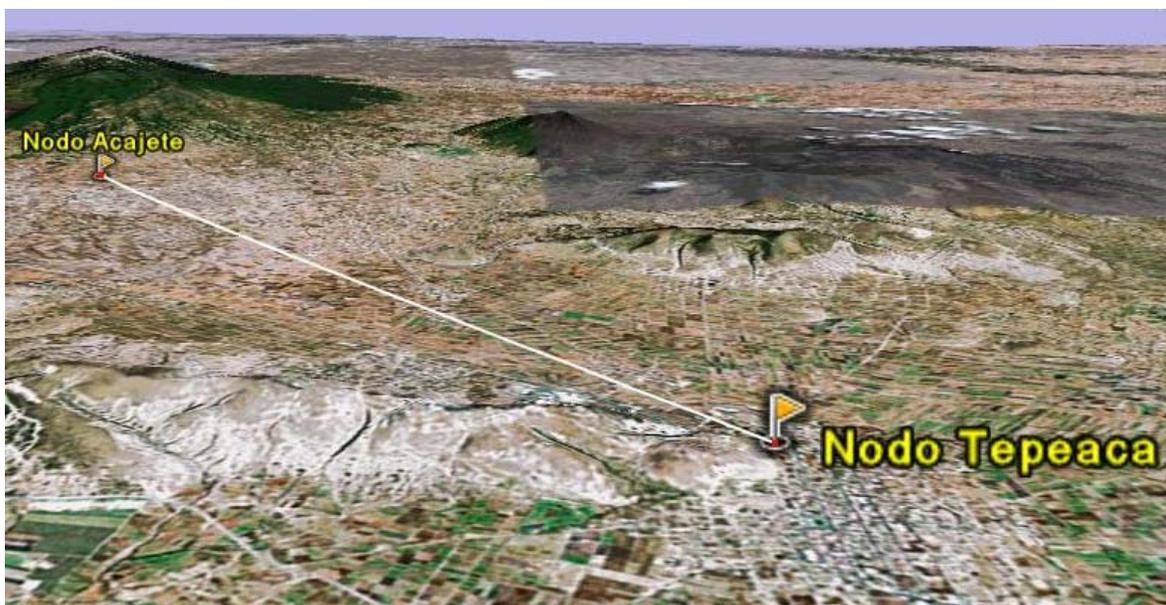


Figura 4.10 Enlace Acajete – Tepeaca.

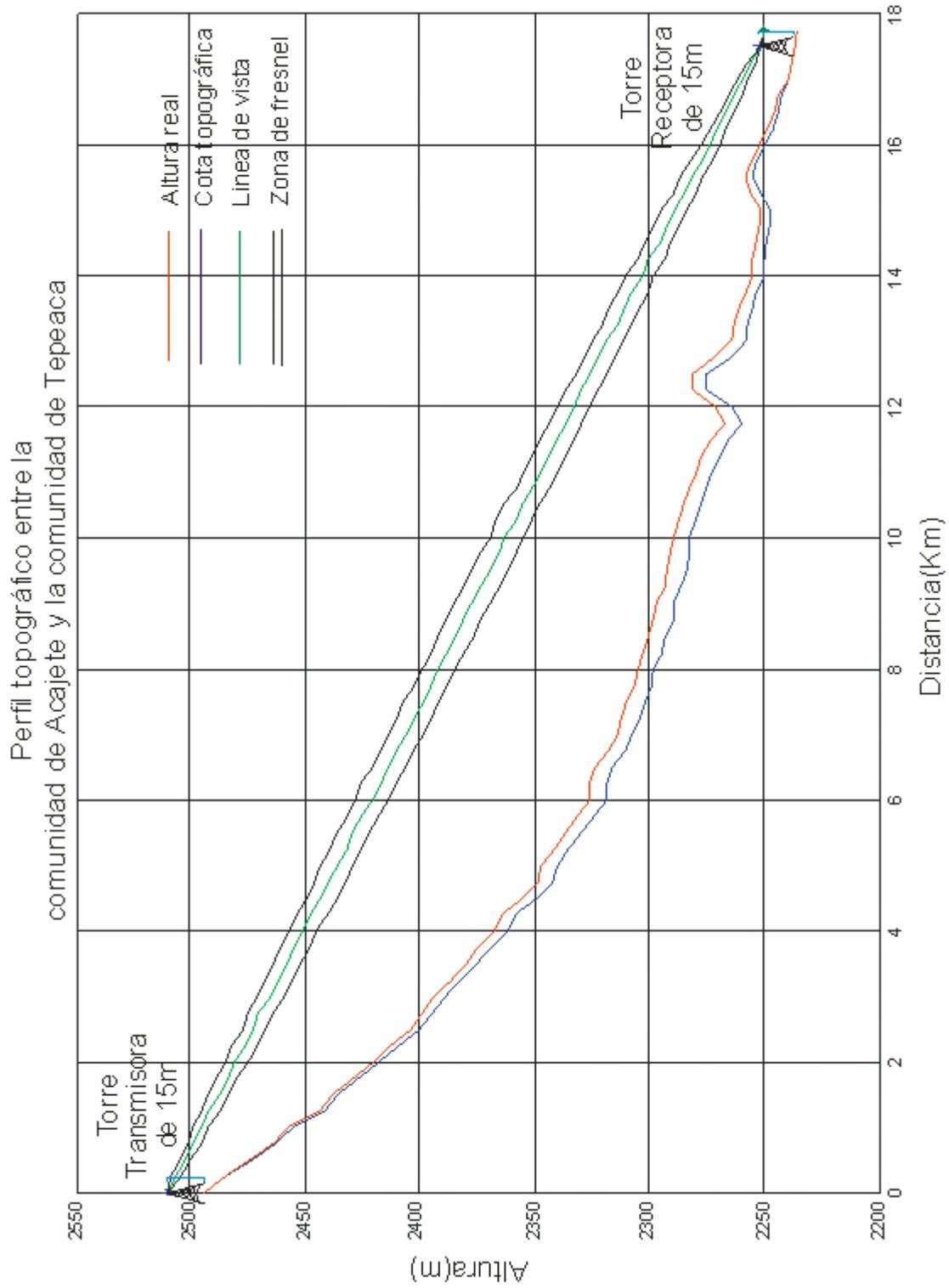
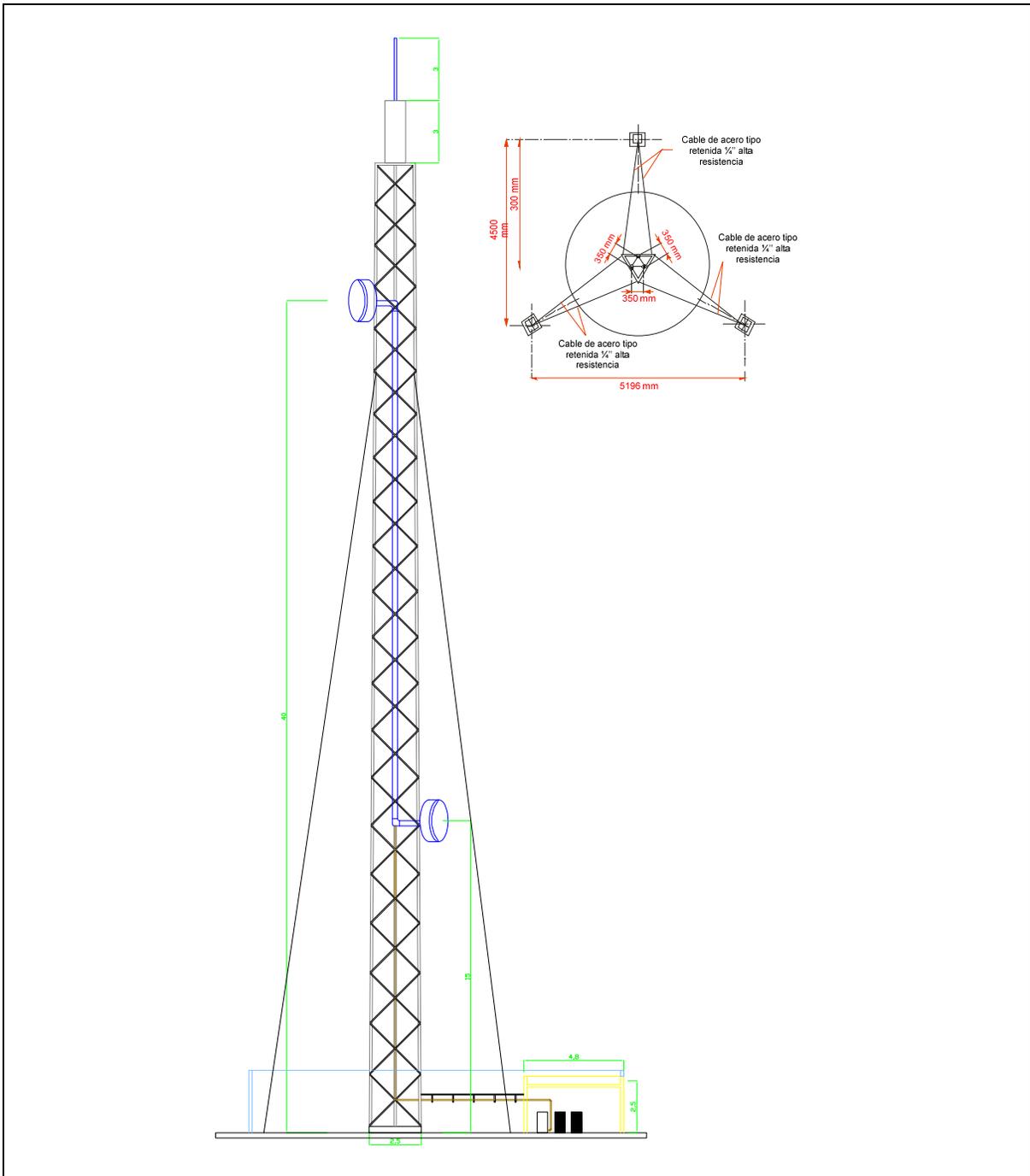
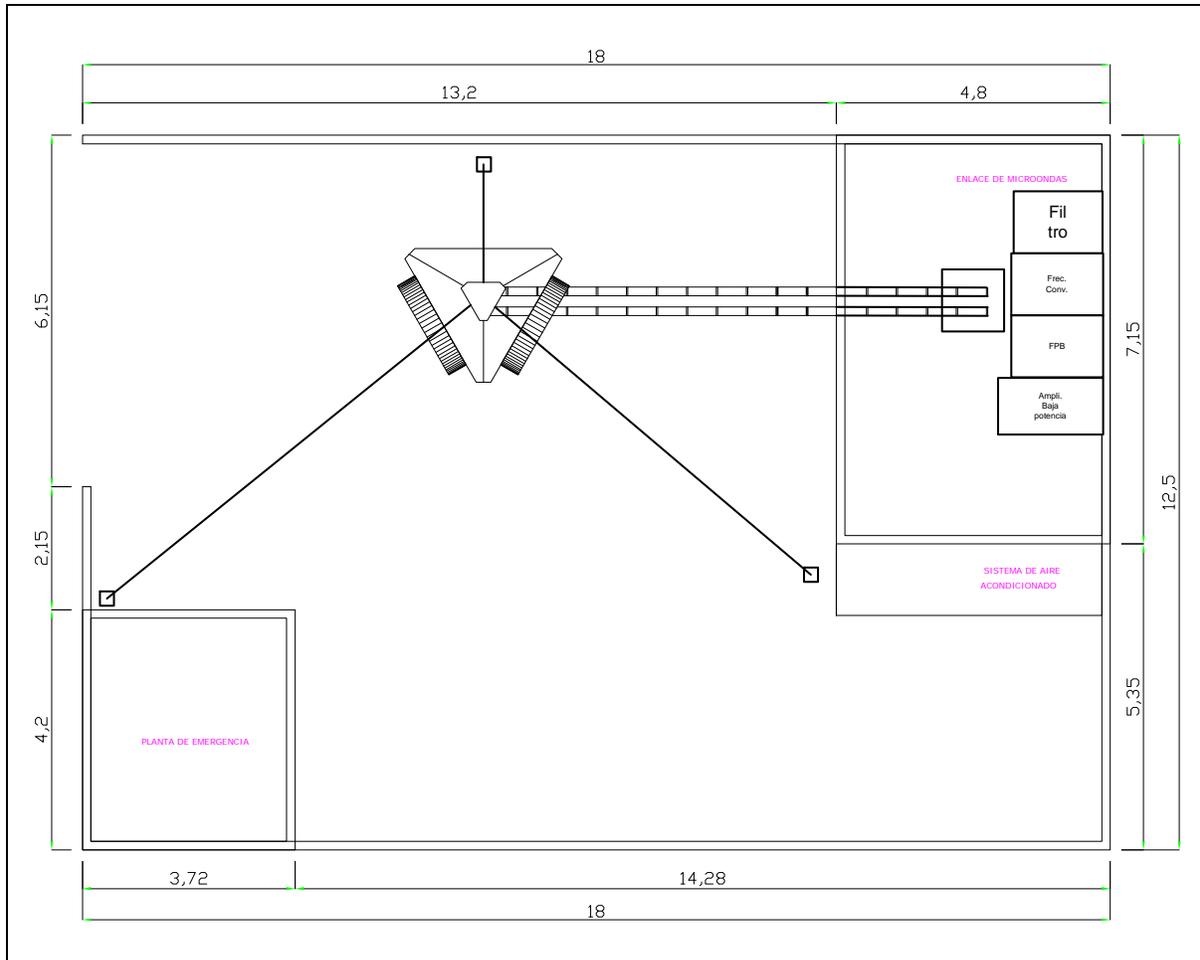


Tabla 4.11 Perfil topográfico Acajete – Tepeaca con torres.



Proyecto	radiobase nodo Acajete – radiobase nodo Tepeaca	Antena	
Sitio	radiobase nodo Acajete	Dirección	radiobase nodo Tepeaca
Plano	Perfil arquitectónico	Altura (m)	40
		Elevación (°)	0.8552°
Acotación	Metros	Azimut (°)	154° 322°

Tabla 4.19 Perfil arquitectónico radiobase nodo Acajete.



Proyecto	radiobase nodo Acajete – radiobase nodo Tepeaca	Antena	
Sitio	radiobase nodo Acajete	Dirección	radiobase nodo Tepeaca
Plano	Croquis de planta	Altura (m)	40
		Elevación (°)	0.8552°
Acotación	Metros	Azimut (°)	154° 154°

Tabla 4.20 Croquis de planta radiobase nodo Acajete.

4.3.3 Enlace Tepeaca – Cuacnopala

Una vez resuelta la transición de llegar a una distancia que no sobrepase los 40 kilómetros, se propone crear el paso de regenerar el enlace hacia el punto principal de nuestro proyecto, aterrizamos en Cuacnopala, comunidad del municipio de Palmar del Bravo, una comunidad al oriente de Puebla justo antes de llegar a la sierra madre, bajo las faldas de los cerros que cobijan el valle de

Palmar, se ha de considerar colocar la radio base en un lugar estratégico, al norte de Cuacnopala y al norte de la cabecera municipal de palmar de bravo.

Este caso se determino llevarse a cabo por la menuda sierra que cubre el lado oriente del municipio y que dificultaría de forma absoluta el enlace de Cuacnopala con la localidad de Esperanza; por ello la radiobase nodo se ha localizado a las afueras de la pequeña comunidad de Guadalupe Enríquez que se localiza hacia el noroeste de Cuacnopala y a 15 minutos de Xaltepec.

Análisis de potencia.

TEPEACA - CUACNOPALA	
Margen de desvanecimiento	15.20 dB
Pérdida de trayectoria por espacio libre	150.23 dB
Sensibilidad del receptor	-140.98 dB
Potencia mínima de portadora	-115.98 dB
Pérdida por ramificación	4 dB
Pérdida por alimentador	11.63 dB
Potencia de transmisión	10 Watts
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Ganancia de antena transmisora	49.5 dB
Ganancia de antena receptora	49.5 dB
Ganancia del sistema	82.06 dB
Potencia de entrada al receptor	0.405 mwatts
Potencia de entrada al receptor (fabricante)	0.5 mwatts

Tabla 4.21 Análisis de potencia Tepeaca – Cuacnopala.

Parámetros del enlace de microondas.

TEPEACA - CUACNOPALA	
Ancho de banda	2 MHz
Confiabilidad del sistema	99.95%
Relación de señal a ruido	25 dB
Tipo de modulación	QPSK
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Velocidad de transmisión	2048 Kbps

Tabla 4.22 Parámetros del enlace Tepeaca – Cuacnopala.

Coordenadas del lugar de la radiobase nodo.

	radiobase nodo TEPEACA	radiobase nodo CUACNOPALA
Latitud	18° 59'3.14"N	18° 53'36.40"N
Longitud	97° 54'9.73"O	97° 34'40.38"O

Tabla 4.23 Ubicación geográfica Tepeaca – Cuacnopala.

Equipos para el enlace de microondas.

Tipo de línea de transmisión		EWP220 Acoplado		
Longitud de línea de transmisión		42 m		
Atenuación de línea de transmisión		27.7 dB/100m		
SISTEMA RADIADOR PRINCIPAL				
Modelo de antena		Diámetro	Polarización	Ganancia
Tx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Rx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Azimut		Elevación		Radomo con filtro UV
	Anterior	Posterior		
Tx	108°	287°	0.2206°	Cóncavo
Rx	287°	108°	-0.2206°	Cóncavo

Tabla 4.24 Equipos de radio para el enlace de Acajete – Tepeaca.

La radio base se ha considerado dentro de una ubicación dentro de los ejidos de los lugareños de Guadalupe Enríquez, a poco más de 40 minutos a pie de las afueras de la localidad, yendo por el viejo camino hacia el pueblo de San Juan, en las terminaciones de lo que se vislumbran las cadenas de Cerro Grande, Loma grande (Boca de Lobo para los lugareños), y Barranca Checucase.

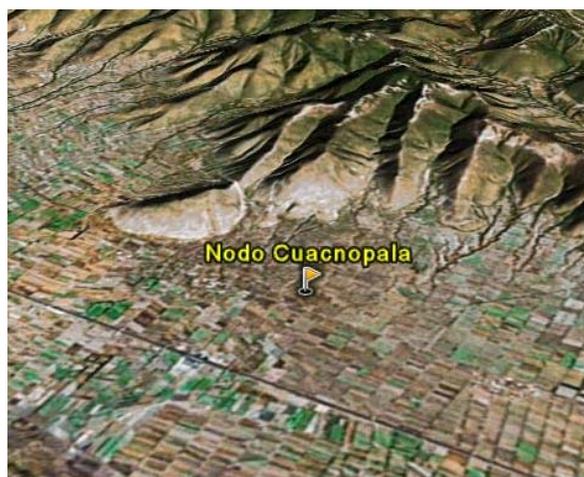


Figura 4.12 Ubicación de radiobase nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez).

Intrínsecamente se ha contemplado un enlace de microondas entre Tepeaca y Cuacnopala de forma directa y con poco grado de elevación en las antenas, debido a que el enlace a pesar de sobrepasar los casi 33.7 kilómetros su recorrido esta atravesando el valle por el que pasa la carretera a Orizaba lo que nos da una línea de vista directa con muy poca diferencia entre sus alturas tanto en transmisión como en recepción.

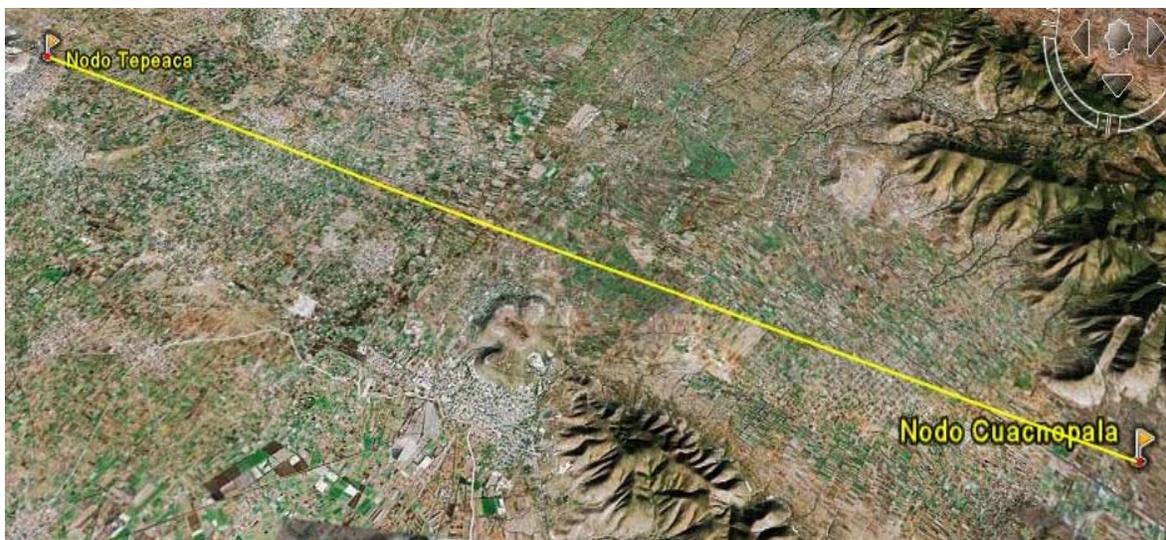


Figura 4.13 Enlace Tepeaca – Cuacnopala.

A pesar de que el enlace se considera el más largo de nuestro proyecto fácilmente es liberado de cualquier contraparte que lo limitará, pues las dos radiobases se localizan en las afueras de los edificaciones que llegasen a intervenir en el viaje de las microondas.

La radiobase nodo Cuacnopala se instalará como se ha mencionado dentro del ejido de maíz de la localidad, teniendo consigo línea de vista a una repetidora que se instalará para hacer llegar el enlace hacia Esperanza.

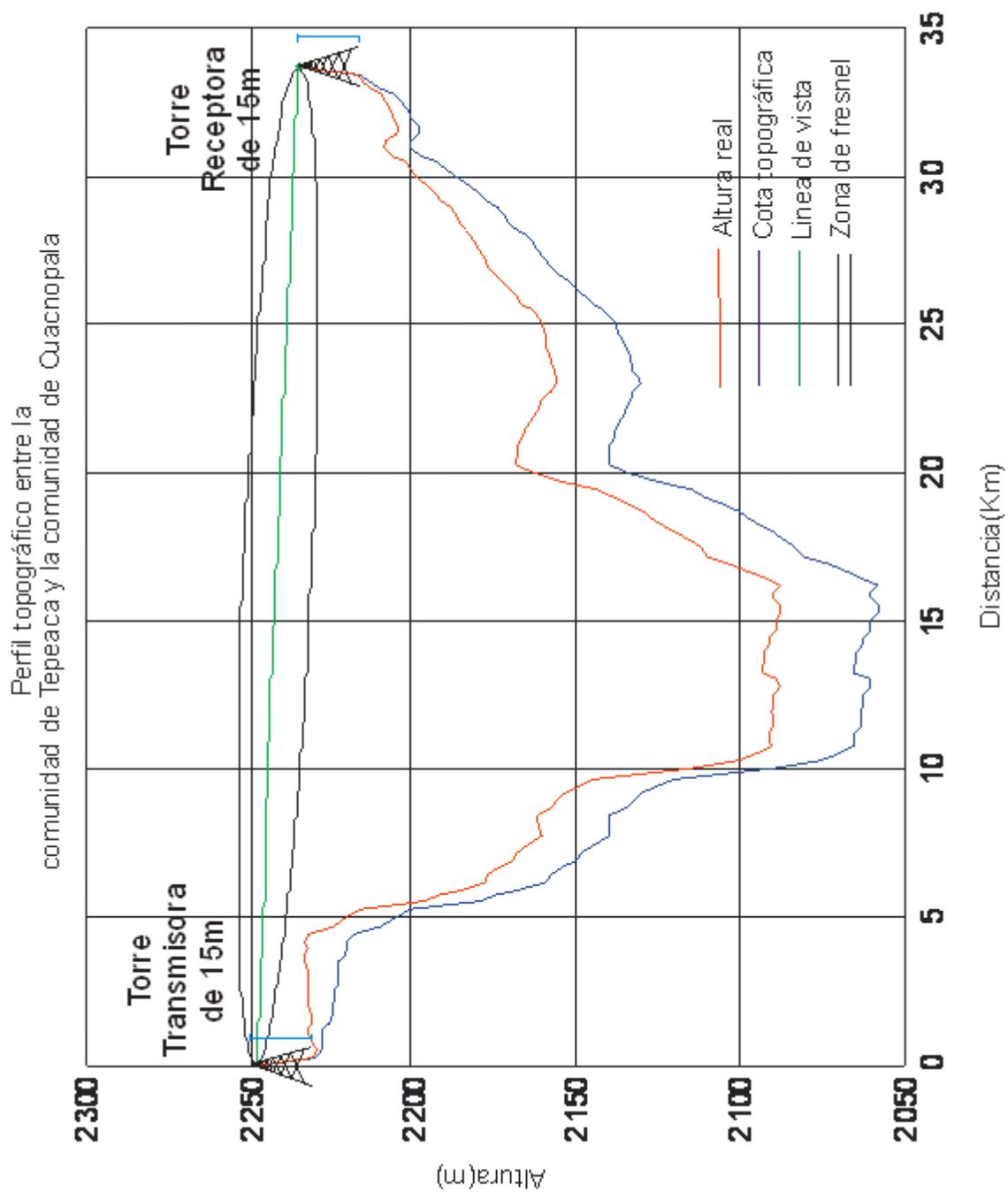
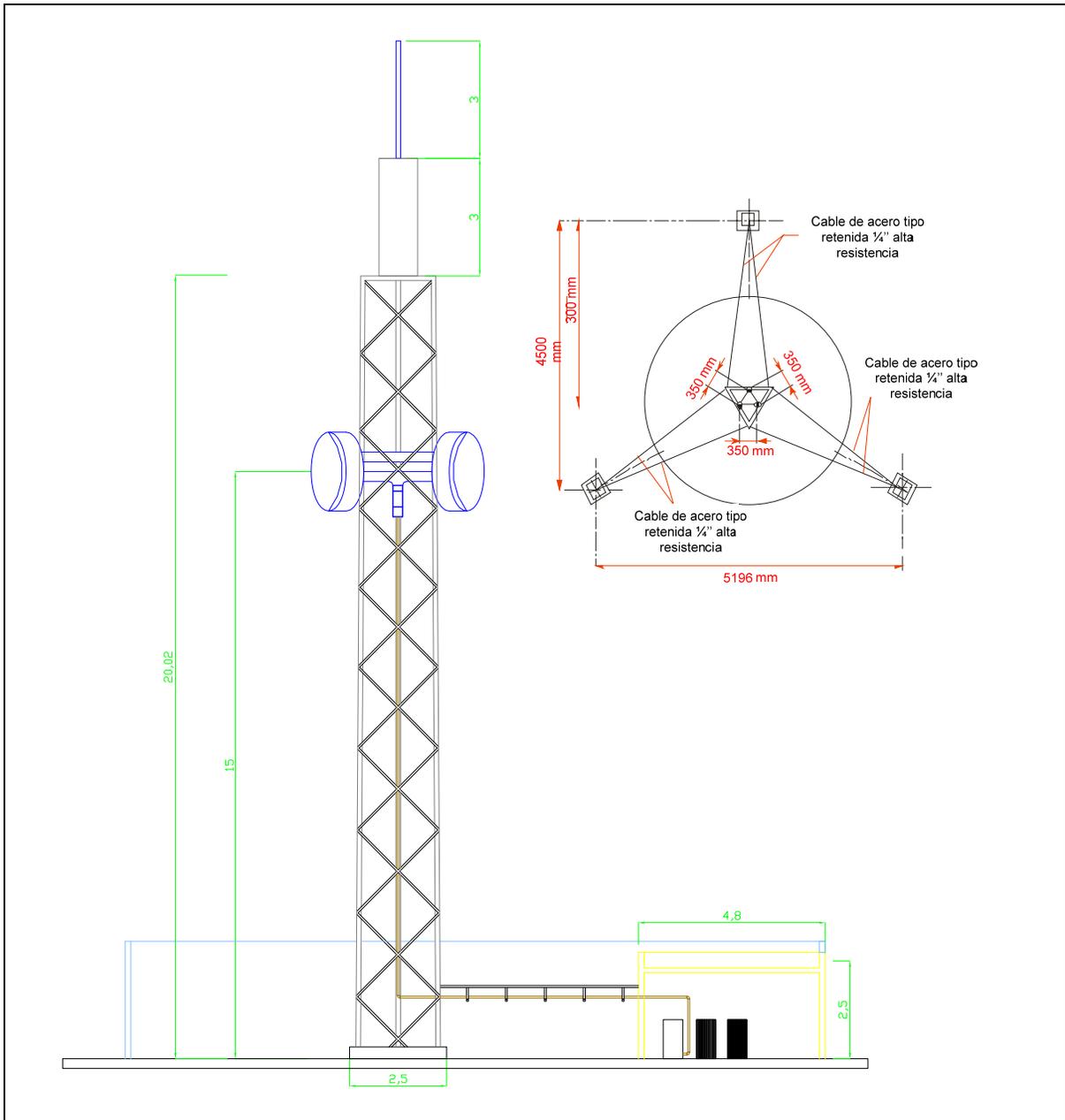
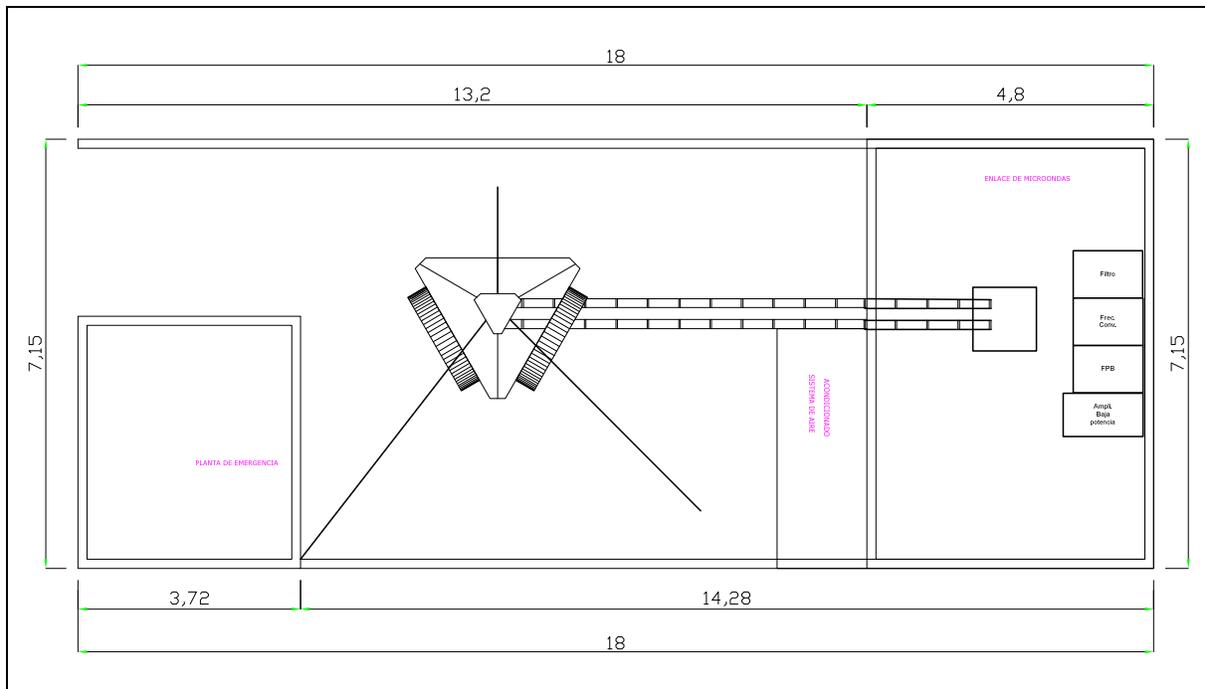


Figura 4.14 Perfil topográfico Tepeaca – Cuacnopala con torres.



Proyecto	radiobase nodo Tepeaca – radiobase nodo Cuacnopala	Antena	
Sitio	radiobase nodo Tepeaca	Dirección	radiobase nodo Cuacnopala
Plano	Perfil arquitectónico	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	0.2206°
Acotación	Metros	Azimut (°)	108° 287°

Tabla 4.25 Perfil arquitectónico radiobase nodo Tepeaca.



Proyecto	radiobase nodo Tepeaca – radiobase nodo Cuacnopala	Antena	
Sitio	radiobase nodo Tepeaca	Dirección	radiobase nodo Cuacnopala
Plano	Croquis de planta	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	0.2206°
Acotación	Metros	Azimut (°)	108° 108°

Tabla 4.26 Croquis de planta radiobase nodo Tepeaca.

4.3.4 Enlace Cuacnopala – Esperanza 1/2

Al encontrar mejor ubicación de la radiobase nodo dentro del municipio de Palmar de Bravo se tiene que colocar una repetidora sobre la loma más pequeña de la cordillera denominada Cordón de Xolaca, que es la ruta de enlace hacia la cabecera municipal de Esperanza.

Al ser una estación repetidora se abstendrá de colocar shelter y solo se realizara el montaje de torre con sus respectivas antenas direccionales, una de ellas apuntando hacia Guadalupe Enríquez (radiobase nodo de Cuacnopala) y la otra hacia la radiobase nodo ubicada en Esperanza.



Figura 4.15 Imagen en la ubicación de la radiobase nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez).



Figura 4.16 Otra imagen en la ubicación de la radiobase nodo Cuacnopala con vista hacia el cordón de Xolaca.

Como el lugar donde se implementara la radiobase nodo es propiedad privada se dispondrán parámetros más detallados dentro de la definición y diseño del terreno que se va a emplear así como la ubicación de los componentes dentro del mismo.

Para ajustar las medidas del terreno empleado en la distribución de los componentes que conforman al inmueble, se consideraron las irregularidades de la distribución de los plantíos dentro del labrantío y por ende se tubo que adecuar el diseño de la radiobase nodo a este tipo de terreno, tomando en cuenta que las veredas son marcadas entre los cultivos se sabe que la ubicación exacta puede estar entre dichos caminos.

De esta forma se ha distribuido de forma eficiente dentro del terreno a toda la infraestructura que conforma la radiobase nodo en esta localidad. Por otro lado es notorio que de esta forma y esta ubicación la radio base logra proporcionar cobertura celular a las comunidades aledañas en especial a Cuacnopala.

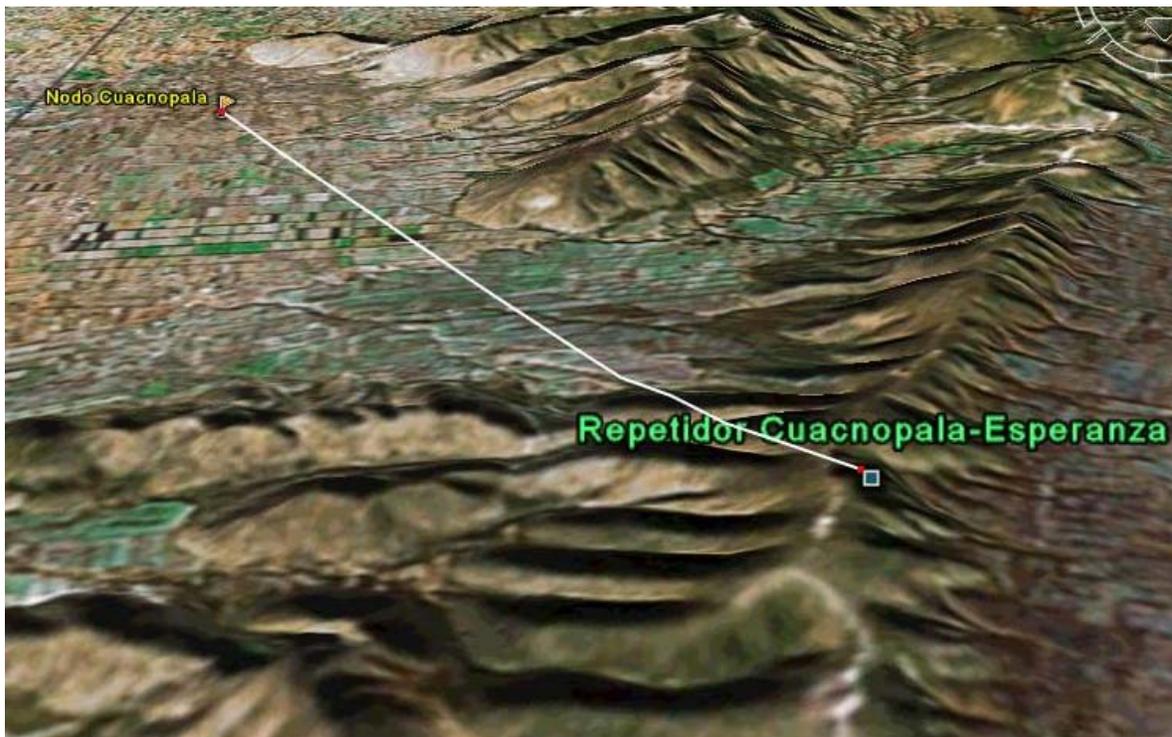


Figura 4.17 Enlace de la radiobase nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez) hacia repetidor sobre el Cordón de Xolaca.

El enlace va en línea recta desde Guadalupe Enríquez hacia el este subiendo a una altura de 130 metros por encima de la horizontal hacia el cerro mas bajo del lugar, con una distancia de aproximadamente 7.75 kilómetros (en

línea de vista), llegando así hacia la punta de la torre donde se dispondrá una de las antenas.



Figura 4.18 Ubicación del repetidor sobre el Cordón de Xolaca.

Por el mismo hecho de ser un repetidor que se habrá de situar sobre lo alto de un cerro se vislumbro que existiera un camino seguro hacia la cima del mismo para justificar la colocación del repetidor en aquella loma, los que a su vez nos atrajo la planeación del terreno especial que abra de contener el repetidor.

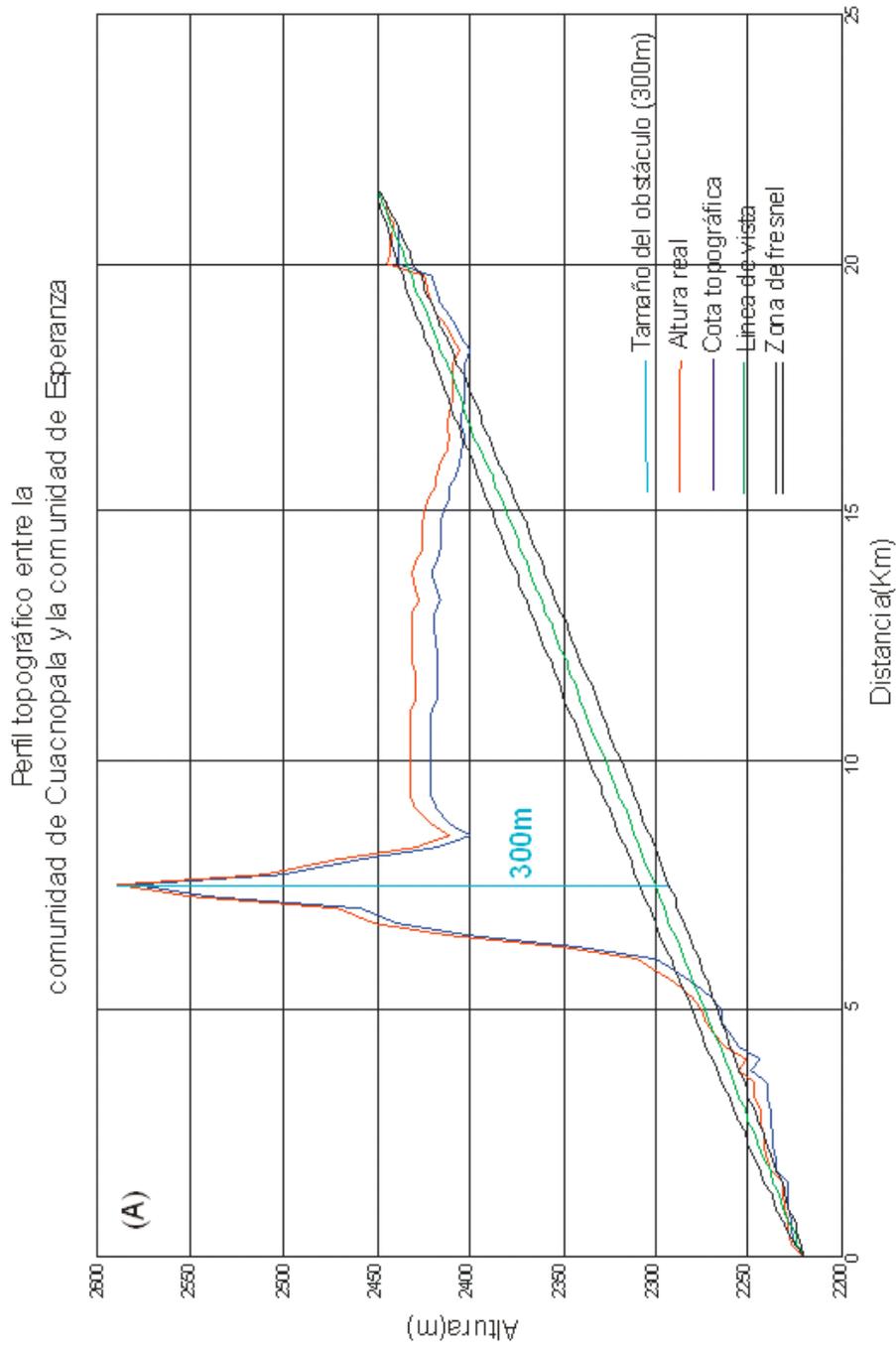


Figura 4.19 Enlace Cuacnopala (Guadalupe Enríquez) esperanza con línea de vista.

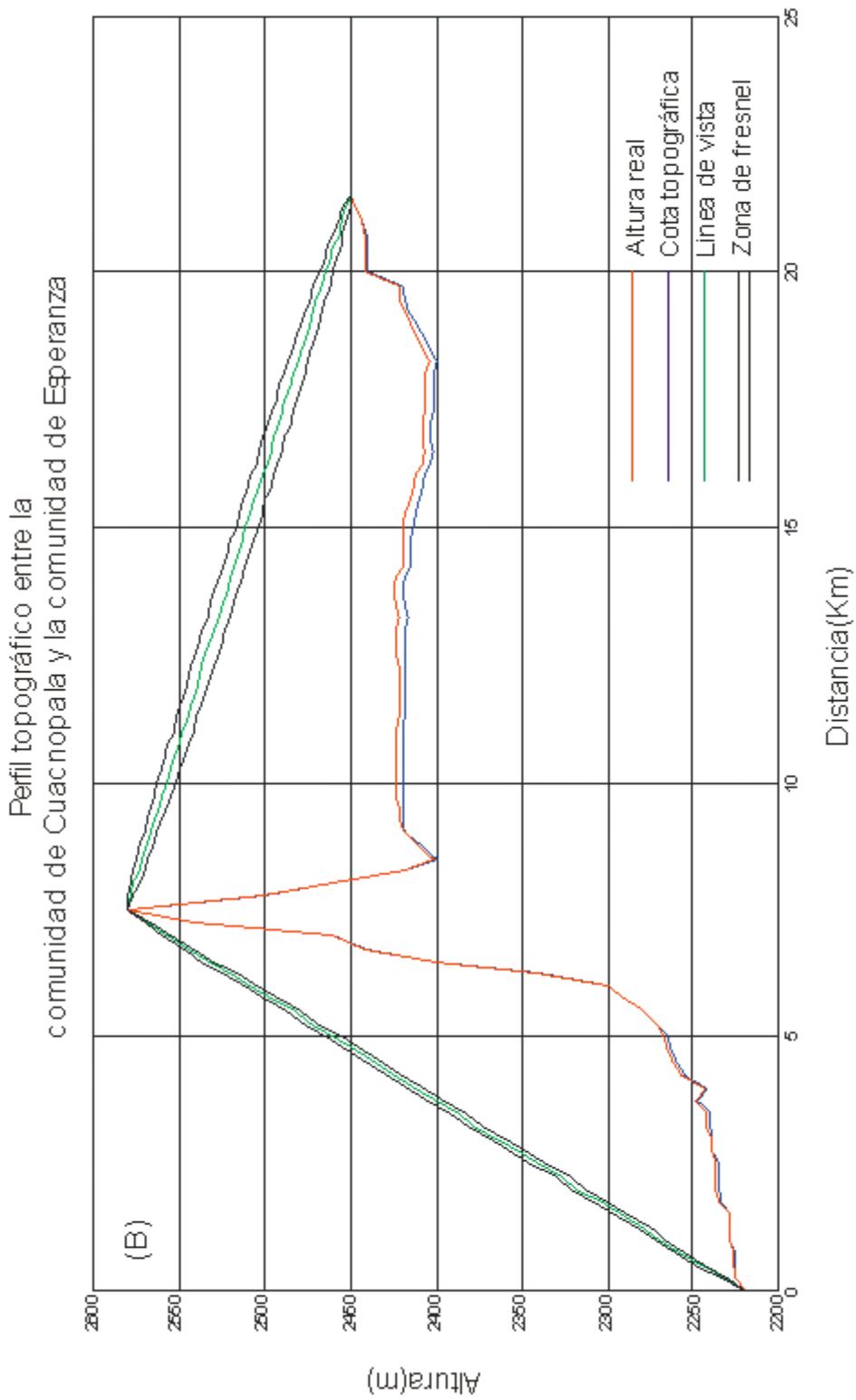
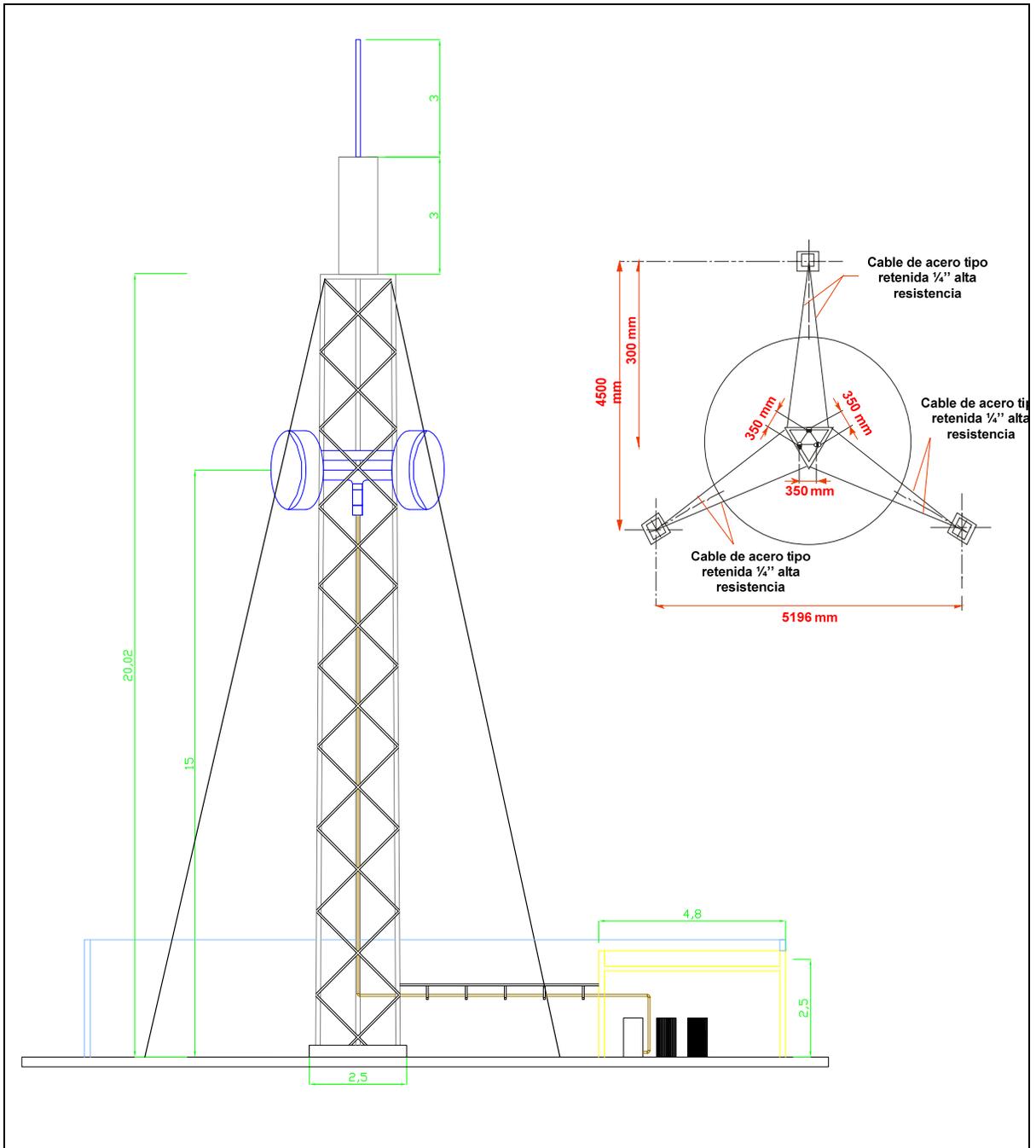
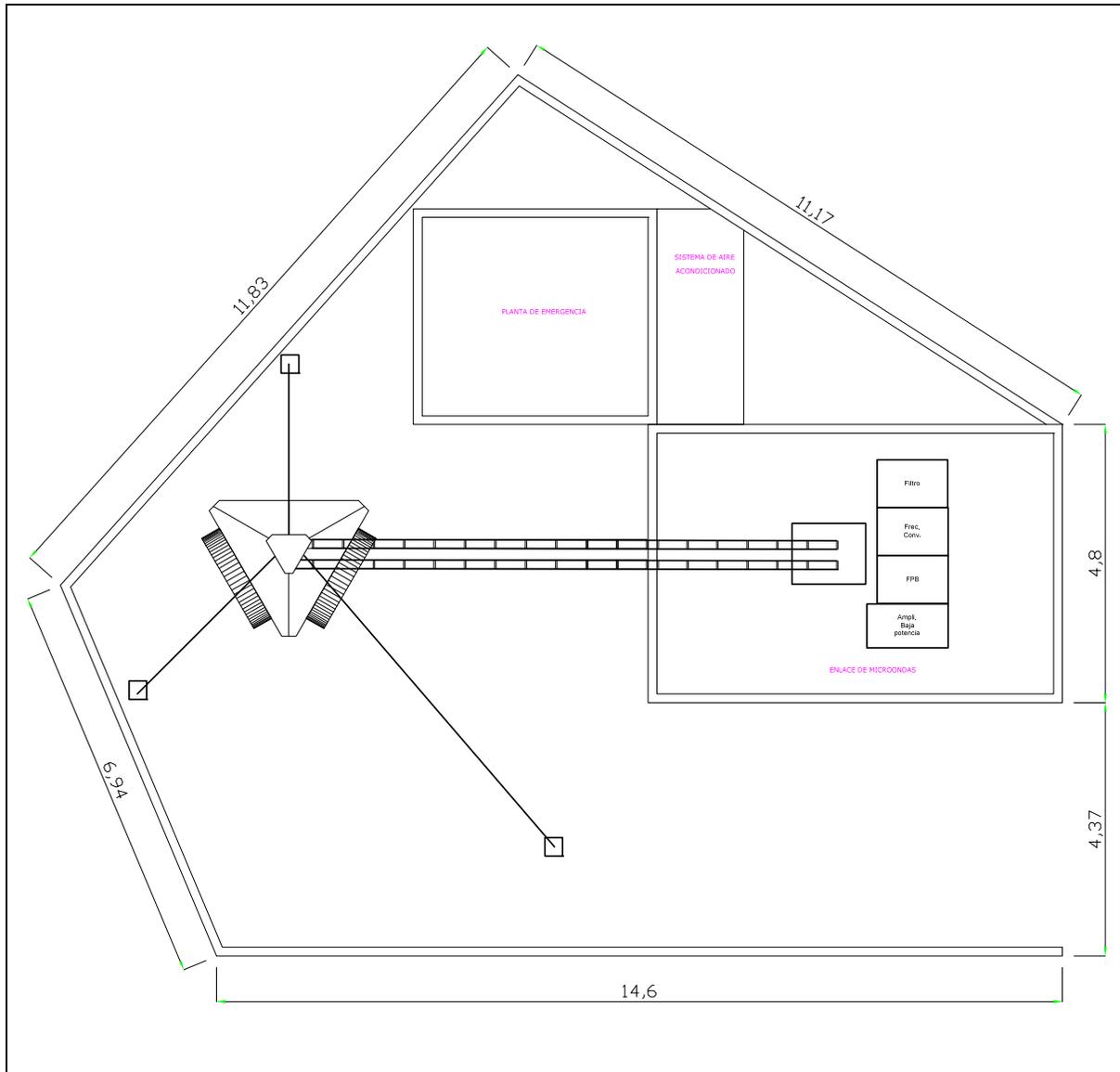


Figura 4.20 Enlace Cuacnopala (Guadalupe Enríquez) - esperanza con línea de vista evadiendo obstáculo.



Proyecto	Cuacnopala – Esperanza (1/2)	Antena	
Sitio	radiobase nodo Cuacnopala	Dirección	Repetidor
Plano	Perfil arquitectónico	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	2.74°
Acotación	Metros	Azimut (°)	102° 285°

Tabla 4.27 Perfil arquitectónico de la radiobase nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez).



Proyecto	Cuacnopala – Esperanza (1/2)	Antena	
Sitio	radiobase nodo Cuacnopala	Dirección	Repetidor
Plano	Croquis de planta	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	2.74°
Acotación	Metros	Azimut (°)	102° 285°

Tabla 4.28 Croquis de planta radiobase nodo Cuacnopala (Guadalupe Enríquez).



Figura 4.21 Imagen de uno de los cerros que conforman el Cordón de Xolaca.

Una vez encontrada la forma de subir en el, se puede constatar que la línea de vista con la radiobase nodo en Guadalupe Enríquez es real y que además se puede realizar cualquier proceso de construcción sobre el la punta mas alta del cerro.



Figura 4.22 Imagen en la ubicación del repetidor sobre el Cordón de Xolaca.

De esta forma se colocaran las antenas a una altura de 15 metros dentro de una torre, se debe señalar que el cálculo de la repetidora es por demás satisfactorio ya que se están ocupando las alturas mínimas a las que las antenas deben de ser colocadas. En otros términos se considera que el espacio del terreno empleado a pesar estar colocado dentro de un lugar que por demás esta fuera del acceso de cualquier persona simplemente se rodeara con perímetro de tabique y se protegerá con malla ciclónica para la protección, de la infraestructura e integridad del repetidor.

4.3.5 Enlace Cuacnopala – Esperanza 2/2

Este es el ultimo tramos de nuestro enlace que partió desde la central en Puebla, ahora ha pasado la sierra madre y se dirige a una comunidad muy al extremo del estado, ya casi colindando con Veracruz, Esperanza es la cabecera municipal del municipio homónimo, la comunidad se encuentra a las cuevas del Cerro Tres Cruces.

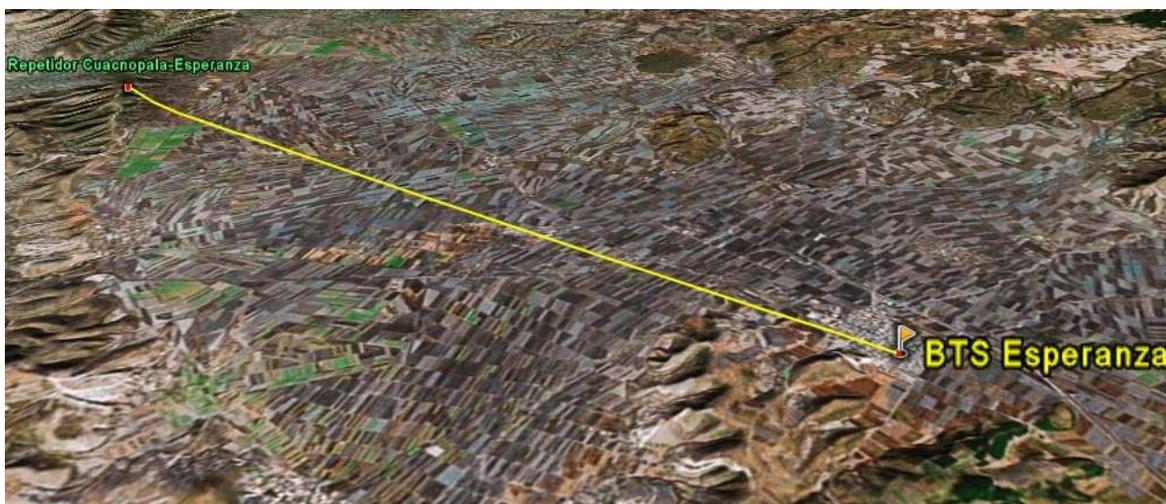
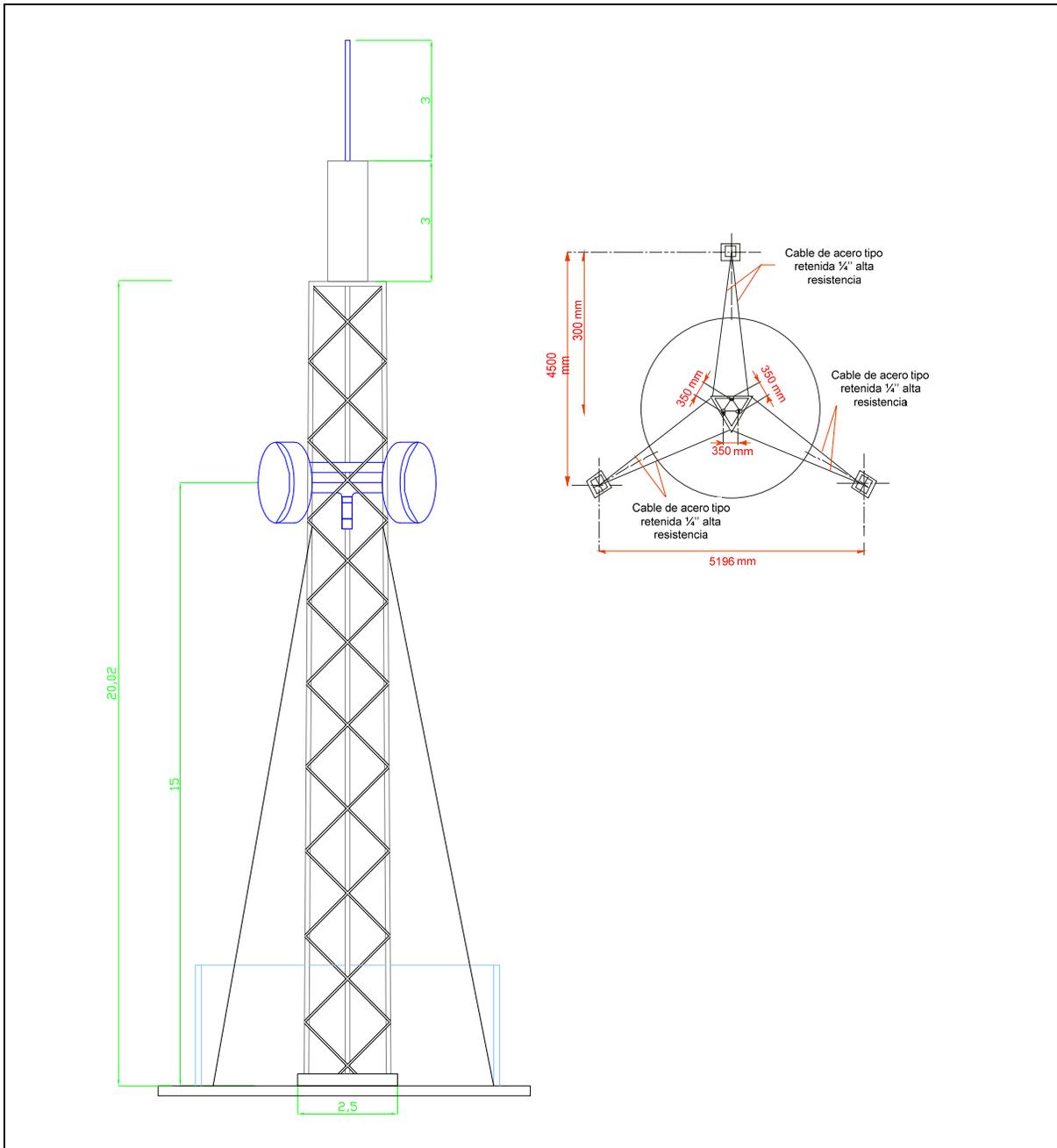


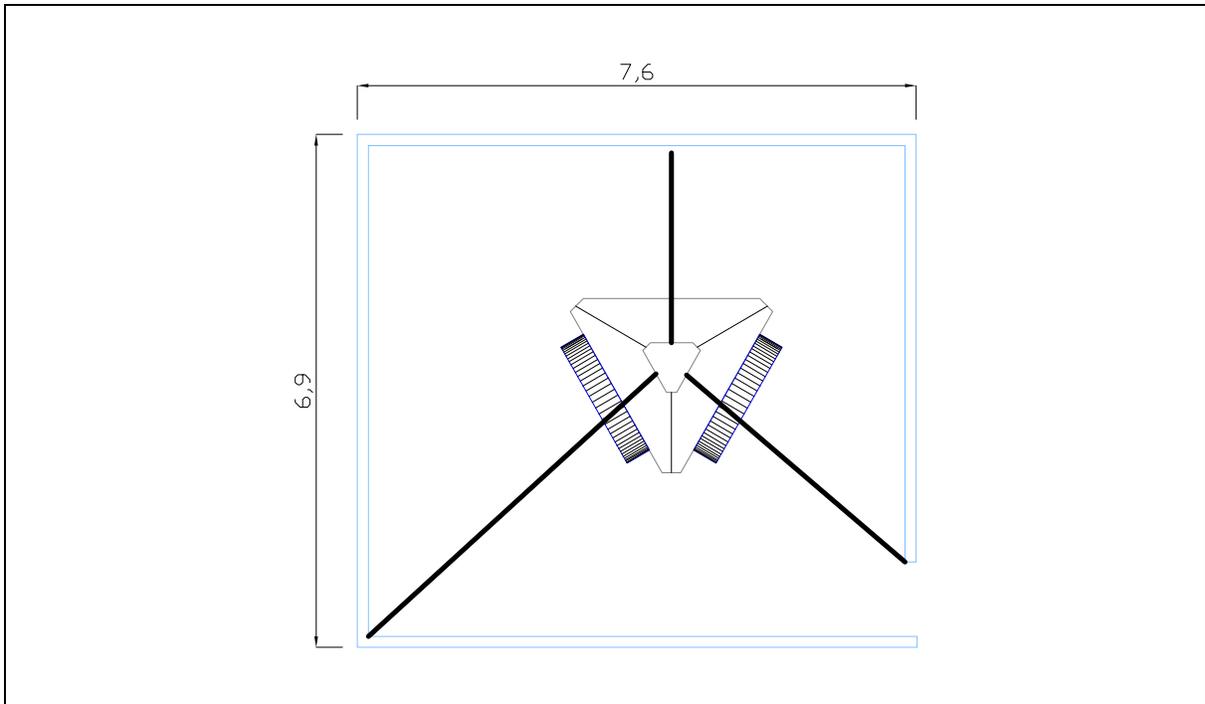
Figura 4.23 Enlace desde el repetidor en cordón de Xolaca hacia Esperanza.

La Esperanza como punto final de nuestro enlace, contribuye a dar cobertura celular hacia si misma como a otras comunidades como: Otillo Montaña, San Antonio de Abajo, Guadalupe Piletas, San José Esperanza, La Presa, entre otras.



Proyecto	Cuacnopala – Esperanza	Antena	
Sitio	Repetidor	Dirección	Esperanza
Plano	Perfil arquitectónico	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	-0.517°
Acotación	Metros	Azimut (°)	102° 282°

Tabla 4.29 Perfil arquitectónico del repetidor en el Cordón de Xolaca.



Proyecto	Cuacnopala – Esperanza	Antena	
Sitio	Repetidor	Dirección	Esperanza
Plano	Croquis de planta	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	-0.517°
Acotación	Metros	Azimut (°)	102° 282°

Tabla 4.30 Croquis de planta del repetidor en cordón de Xolaca.



Figura 4.24 Vista del pueblo de Esperanza.

Análisis de potencia.

CUACNOPALA - ESPERANZA	
Margen de desvanecimiento	9.32 dB
Pérdida de trayectoria por espacio libre	146.32 dB
Sensibilidad del receptor	-140.98 dB
Potencia mínima de portadora	-115.98 dB
Pérdida por ramificación	4 dB
Pérdida por alimentador	12.46 dB
Potencia de transmisión	10 Watts
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Ganancia de antena transmisora	49.5 dB
Ganancia de antena receptora	49.5 dB
Ganancia del sistema	73.10 dB
Potencia de entrada al receptor	51.6 μ watts
Potencia de entrada al receptor (fabricante)	52 μ watts

Tabla 4.31 Análisis de potencia.

Parámetros del enlace de microondas.

CUACNOPALA - ESPERANZA	
Ancho de banda	2 MHz
Confiabilidad del sistema	99.95%
Relación de señal a ruido	25 dB
Tipo de modulación	QPSK
Frecuencia de transmisión	23 GHz
Velocidad de transmisión	2048 Kbps

Tabla 4.32 Parámetros del enlace de microondas en Esperanza.

Coordenadas del lugar de la repetidora.

	radiobase nodo CUACNOPALA	REPETIDORA XOLOACA	BTS ESPERANZA
Latitud	18° 53'36.40"N	18° 52'53.27"N	18° 51'30.34"N
Longitud	97° 34'40.38"O	97° 30'28.14"O	97° 22'24.06"O

Tabla 4.33 Coordenadas del lugar de la RADIOBASE NODO en Esperanza.

Equipos para el enlace de microondas.

Tipo de línea de transmisión	EWP220 Acoplado		
Longitud de línea de transmisión	45 m		
Atenuación de línea de transmisión	27.7 dB/100m		
SISTEMA RADIADOR PRINCIPAL			
Modelo de antena	Diámetro	Polarización	Ganancia

Tx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Rx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Rrx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Rtx	A1821DHP	1.8 HP	Horizontal	49.5 dBi
Azimut			Elevación	Radomo con filtro UV
	Anterior	Posterior		
Tx	102°	285°	2.74°	Cóncavo
Rx	102°	282°	0.517°	Cóncavo
Rrx	285°	102°	-2.74°	Cóncavo
Rtx	102°	282°	-0.517°	Cóncavo

Tabla 4.34 Equipos para el enlace de microondas para Esperanza.

La estación de radio se localizara en las inmediaciones de la ciudad, justamente atrás del palacio municipal, dentro de un terreno por demás grande, denominado Plaza Campesina ubicada en Av. Miguel Hidalgo equina 6 Sur y equina Av. Morelos.

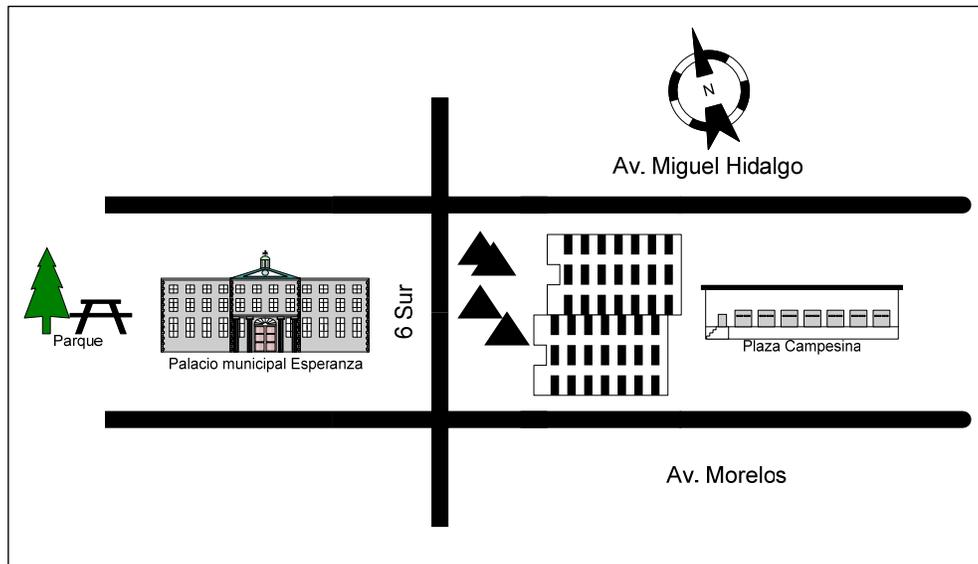


Figura 4.25 Croquis de ubicación de la plaza campesina en Esperanza.

Perfil topográfico entre la comunidad de Cuacnopala y la comunidad de Esperanza

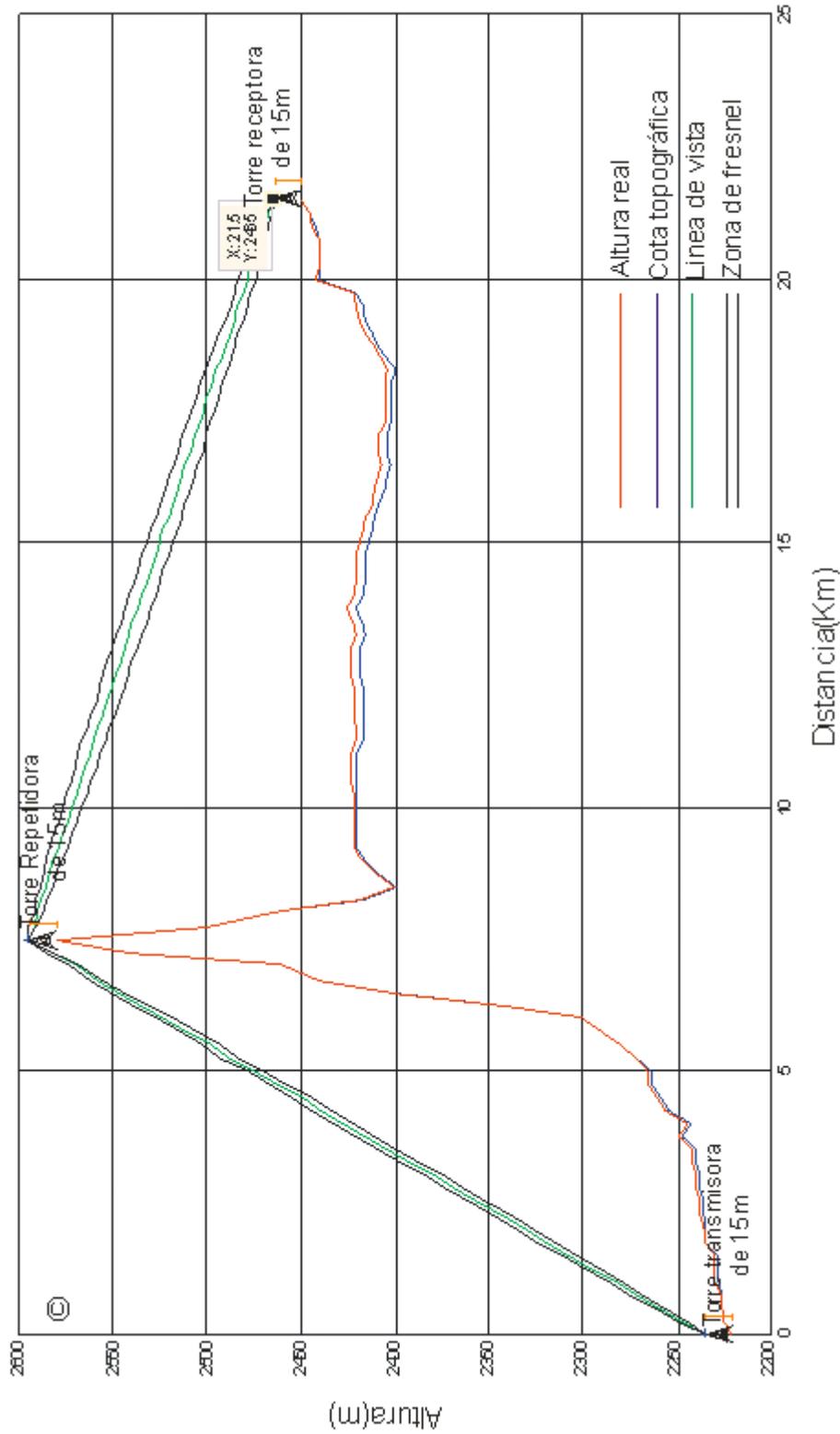
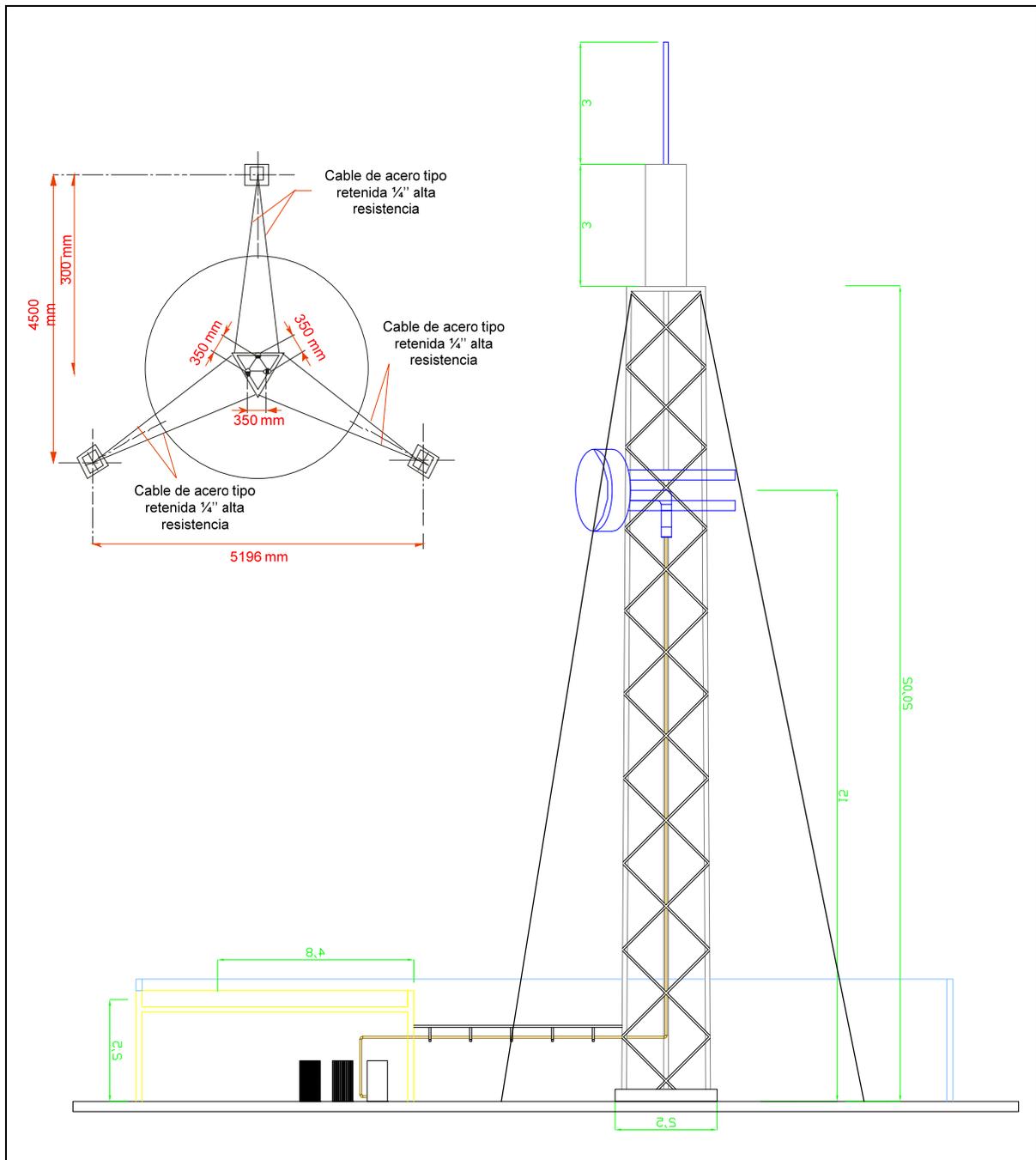
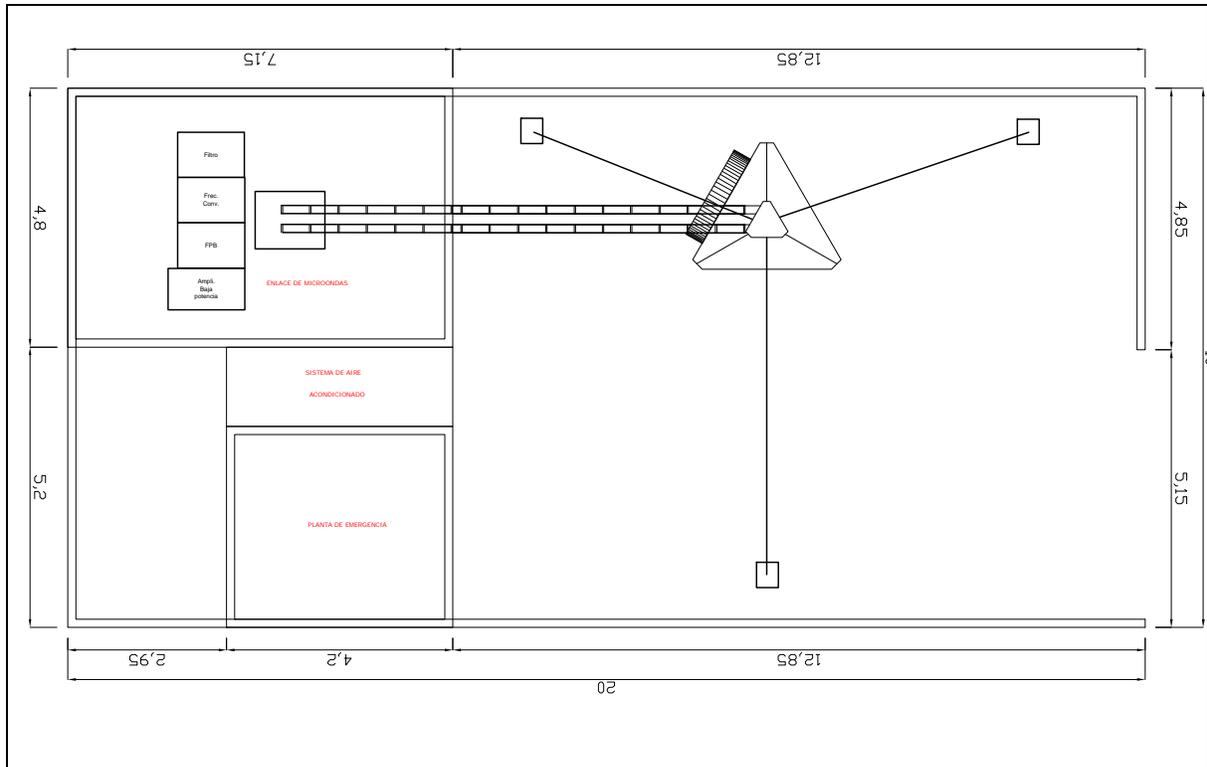


Figura 4.26 Perfil topográfico del enlace final entre Cuacnopala y la Esperanza.



Proyecto	Cuacnopala – Esperanza (2/2)	Antena	
Sitio	Esperanza	Dirección	Fin del enlace
Plano	Perfil arquitectónico	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	0.517°
Acotación	Metros	Azimut (°)	102° 282°

Tabla 4.35 Perfil arquitectónico de la RADIOBASE NODO en Esperanza.



Proyecto	Cuacnopala – Esperanza (2/2)	Antena	
Sitio	Esperanza	Dirección	Fin del enlace
Plano	Croquis de planta	Altura (m)	15m
		Elevación (°)	0.517°
Acotación	Metros	Azimut (°)	102° 282°

Tabla 4.36 Croquis de planta de la radiobase nodo en Esperanza.



Figura 4.27 Ubicación de la campesina en Esperanza vista desde las alturas.



Figura 4.28 Fachada de la plaza campesina en Esperanza.



Figura 4.29 Terreno de la plaza campesina en Esperanza.

Las especificaciones de terreno que hemos localizado dentro de la “plaza campesina” nos dan la posibilidad de establecer la radiobase nodo de la forma y mas adecuado al diseño, sin perder en cuenta que esta instalación pertenece al

4.4. EQUIPOS DENTRO DE LA BSC Y LA RADIOBASE

4.4.1 Equipo para la BSC		Especificaciones técnicas																								
Base Station Controller	 <p style="text-align: center;">Base Station Controller</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESTACIÓN BASE CONTROLADORA (BSC) 3000</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Especificaciones Técnicas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Max TRX</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>Max RADIOBASE NODO</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Max Celdas</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Max E1/T1</td> <td>126/168</td> </tr> <tr> <td>Max Erlang</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>Max circuitos</td> <td>3100</td> </tr> <tr> <td>Max capacidad de conmutación</td> <td>4056</td> </tr> <tr> <td>Consumo de potencia BSC</td> <td>1.5 kW</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones (cm)</td> <td>ancho:96 largo:60 altura:220</td> </tr> <tr> <td>Carga sobre el piso BSC</td> <td>1000 kg/m2</td> </tr> </tbody> </table>	ESTACIÓN BASE CONTROLADORA (BSC) 3000		Especificaciones Técnicas		Max TRX	1000	Max RADIOBASE NODO	500	Max Celdas	600	Max E1/T1	126/168	Max Erlang	3000	Max circuitos	3100	Max capacidad de conmutación	4056	Consumo de potencia BSC	1.5 kW	Dimensiones (cm)	ancho:96 largo:60 altura:220	Carga sobre el piso BSC	1000 kg/m2
ESTACIÓN BASE CONTROLADORA (BSC) 3000																										
Especificaciones Técnicas																										
Max TRX	1000																									
Max RADIOBASE NODO	500																									
Max Celdas	600																									
Max E1/T1	126/168																									
Max Erlang	3000																									
Max circuitos	3100																									
Max capacidad de conmutación	4056																									
Consumo de potencia BSC	1.5 kW																									
Dimensiones (cm)	ancho:96 largo:60 altura:220																									
Carga sobre el piso BSC	1000 kg/m2																									
Servidor M-Cell Series		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Motorola MCELL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Alimentacion : - 48VDC, 200W (with BBU)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Dimensiones : 40x60x26 [cm]</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Peso : 45kg</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Temperatura de trabajo. -10 ÷ +50 °C</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Humedad: 66 % máx.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Conexiones In Out RF: tipo N (hembra)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Conexiones ópticas: FC-APC (800/900 RTU)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Listo para interconexión y modulación</td> </tr> </tbody> </table>	Motorola MCELL		Alimentacion : - 48VDC, 200W (with BBU)		Dimensiones : 40x60x26 [cm]		Peso : 45kg		Temperatura de trabajo. -10 ÷ +50 °C		Humedad: 66 % máx.		Conexiones In Out RF: tipo N (hembra)		Conexiones ópticas: FC-APC (800/900 RTU)		Listo para interconexión y modulación							
Motorola MCELL																										
Alimentacion : - 48VDC, 200W (with BBU)																										
Dimensiones : 40x60x26 [cm]																										
Peso : 45kg																										
Temperatura de trabajo. -10 ÷ +50 °C																										
Humedad: 66 % máx.																										
Conexiones In Out RF: tipo N (hembra)																										
Conexiones ópticas: FC-APC (800/900 RTU)																										
Listo para interconexión y modulación																										

Tabla 4.38 Equipos componentes de la BSC.

4.4.2 Equipo para la radiobase

Presurizador		Características de Presurizador BEACON 2000-II	
		Temperatura nominal de trabajo	-40°C a +70°C
		Disparo mínima de temperatura	Para una aplicación específica
		Disparo máximo de temperatura	Hasta 160°C
		Presión interna máxima	550 psi (40 Ba)
		Circulación promedio	1 litro / minuto hasta 3 litros / minuto
		Volumen por celda	10 ml
		Dimensiones	
		Peso	7 Kg
		Alto	30 cm
		Profundidad	38 cm
		Ancho	16cm
Duplexores		DUPLEXOR (PASO DE BANDA)	
		7 MHz Paso de Banda	
		➤ 30 MHz Separación TX/RX	Banda de 700 MHz
		➤ 45 MHz Separación TX/RX	Bandas de 800 y 900 MHz
		➤ 49 MHz Separación TX/RX	Banda de 1400 MHz
		➤ 91 MHz Separación TX/RX	Banda de 1900 MHz

Tabla 4.39 Equipos componentes de la radiobase.

<p>Fuente de alimentación y Bancos de baterías de 48V</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">FUENTE DE ALIMENTACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rangos de entrada</td> <td>115/230 VAC</td> </tr> <tr> <td></td> <td>±12 V (10.5 – 18 VDC, contáctese con 4RF)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>±24 V (20.5 – 30 VDC)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>±48 V (40 – 60 VDC)</td> </tr> <tr> <td>Consumo de potencia</td> <td>75 - 220 W (dependiendo de la tarjeta de interface inserta)</td> </tr> </tbody> </table>	FUENTE DE ALIMENTACIÓN		Rangos de entrada	115/230 VAC		±12 V (10.5 – 18 VDC, contáctese con 4RF)		±24 V (20.5 – 30 VDC)		±48 V (40 – 60 VDC)	Consumo de potencia	75 - 220 W (dependiendo de la tarjeta de interface inserta)												
FUENTE DE ALIMENTACIÓN																										
Rangos de entrada	115/230 VAC																									
	±12 V (10.5 – 18 VDC, contáctese con 4RF)																									
	±24 V (20.5 – 30 VDC)																									
	±48 V (40 – 60 VDC)																									
Consumo de potencia	75 - 220 W (dependiendo de la tarjeta de interface inserta)																									
<p>Alimentador</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ALIMENTADORES</th> </tr> <tr> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Eléctricas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ganancia.....</td> <td>29-35 dBi</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia</td> <td>5.1-5.9 GHz</td> </tr> <tr> <td>Polarización.....</td> <td>H/V</td> </tr> <tr> <td>VSWR.....</td> <td>1,5:1</td> </tr> <tr> <td>Impedancia.....</td> <td>50 ohm</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Mecánicas</th> </tr> <tr> <td>Conector.....</td> <td>NF</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones.....</td> <td>133 x 86 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso.....</td> <td>ALU PAG / 0.24Kg</td> </tr> </tbody> </table>	ALIMENTADORES		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		Eléctricas		Ganancia.....	29-35 dBi	Frecuencia	5.1-5.9 GHz	Polarización.....	H/V	VSWR.....	1,5:1	Impedancia.....	50 ohm	Mecánicas		Conector.....	NF	Dimensiones.....	133 x 86 mm	Peso.....	ALU PAG / 0.24Kg
ALIMENTADORES																										
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS																										
Eléctricas																										
Ganancia.....	29-35 dBi																									
Frecuencia	5.1-5.9 GHz																									
Polarización.....	H/V																									
VSWR.....	1,5:1																									
Impedancia.....	50 ohm																									
Mecánicas																										
Conector.....	NF																									
Dimensiones.....	133 x 86 mm																									
Peso.....	ALU PAG / 0.24Kg																									

Tabla 4.40 Equipos perimetrales y de conexión de la radiobase.

<p>Amplificador y unidad de control</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>MODELO</th> <th>INFORMACIÓN TÉCNICA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SMARTAMP 2400-IN-1W (12213).</td> <td>Amplificador bidireccional para interiores de 1 watt para 2.4 GHz, No requiere de inyector de CD.</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TRANSMISOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Potencia de salida</td> <td>+35 dBm (QPSK)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+31 dBm (16 QAM)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+30 dBm (32 QAM)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>+29 dBm (64 QAM)</td> </tr> <tr> <td>Control de potencia</td> <td>15 dB (en pasos de 1 dB)</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">RECEPTOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Máximo nivel de entrada</td> <td>-20 dBm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango dinámico</td> <td>82 – 58 dB (BER 10-6)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango C/I</td> <td>Co-canal</td> <td>> 16 dB (QPSK)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>> 20 dB (16, 32 QAM)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>> 27 dB (64 QAM)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1er canal adyacente</td> <td>>5 dB</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2do canal adyacente</td> <td>>30 dB</td> </tr> </tbody> </table>	MODELO	INFORMACIÓN TÉCNICA	SMARTAMP 2400-IN-1W (12213).	Amplificador bidireccional para interiores de 1 watt para 2.4 GHz, No requiere de inyector de CD.	TRANSMISOR		Potencia de salida	+35 dBm (QPSK)		+31 dBm (16 QAM)		+30 dBm (32 QAM)		+29 dBm (64 QAM)	Control de potencia	15 dB (en pasos de 1 dB)	RECEPTOR			Máximo nivel de entrada	-20 dBm		Rango dinámico	82 – 58 dB (BER 10-6)		Rango C/I	Co-canal	> 16 dB (QPSK)			> 20 dB (16, 32 QAM)			> 27 dB (64 QAM)		1er canal adyacente	>5 dB		2do canal adyacente	>30 dB
MODELO	INFORMACIÓN TÉCNICA																																									
SMARTAMP 2400-IN-1W (12213).	Amplificador bidireccional para interiores de 1 watt para 2.4 GHz, No requiere de inyector de CD.																																									
TRANSMISOR																																										
Potencia de salida	+35 dBm (QPSK)																																									
	+31 dBm (16 QAM)																																									
	+30 dBm (32 QAM)																																									
	+29 dBm (64 QAM)																																									
Control de potencia	15 dB (en pasos de 1 dB)																																									
RECEPTOR																																										
Máximo nivel de entrada	-20 dBm																																									
Rango dinámico	82 – 58 dB (BER 10-6)																																									
Rango C/I	Co-canal	> 16 dB (QPSK)																																								
		> 20 dB (16, 32 QAM)																																								
		> 27 dB (64 QAM)																																								
	1er canal adyacente	>5 dB																																								
	2do canal adyacente	>30 dB																																								
<p>Sistema de aire acondicionado</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>DETALLES TÉCNICOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Capacidad nominal total del sistema en funcionamiento Refrigeración: 5290 Calefacción: 6050</td> </tr> <tr> <td>Unidad interior F1MMI-3 B: Refrigeración / Calefacción: 3030 / 3280 Kcal/h</td> </tr> <tr> <td>Unidad interior F1MMI-2 B: Refrigeración / Calefacción: 2270 / 2520 Kcal/h</td> </tr> <tr> <td>Niveles de presión sonora Unidad interior F1MMI-3 B: Alta velocidad 40 / Baja velocidad 34 dB(A) Unidad interior F1MMI-2 B: Alta velocidad 37 / Baja velocidad 31 dB(A) Unidad exterior 56 dB (A)</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones Unidad interior F1MMI-3 B Alto x Ancho x Fondo (mm): 265 x 790 x 195 Unidad interior F1MMI-2 B Alto x Ancho x Fondo (mm): 250 x 710 x 195 Unidad exterior Alto x Ancho x Fondo (mm): 655 x 895 x 345</td> </tr> <tr> <td>Clase de eficiencia energética C/D</td> </tr> </tbody> </table>	DETALLES TÉCNICOS	Capacidad nominal total del sistema en funcionamiento Refrigeración: 5290 Calefacción: 6050	Unidad interior F1MMI-3 B: Refrigeración / Calefacción: 3030 / 3280 Kcal/h	Unidad interior F1MMI-2 B: Refrigeración / Calefacción: 2270 / 2520 Kcal/h	Niveles de presión sonora Unidad interior F1MMI-3 B: Alta velocidad 40 / Baja velocidad 34 dB(A) Unidad interior F1MMI-2 B: Alta velocidad 37 / Baja velocidad 31 dB(A) Unidad exterior 56 dB (A)	Dimensiones Unidad interior F1MMI-3 B Alto x Ancho x Fondo (mm): 265 x 790 x 195 Unidad interior F1MMI-2 B Alto x Ancho x Fondo (mm): 250 x 710 x 195 Unidad exterior Alto x Ancho x Fondo (mm): 655 x 895 x 345	Clase de eficiencia energética C/D																																	
DETALLES TÉCNICOS																																										
Capacidad nominal total del sistema en funcionamiento Refrigeración: 5290 Calefacción: 6050																																										
Unidad interior F1MMI-3 B: Refrigeración / Calefacción: 3030 / 3280 Kcal/h																																										
Unidad interior F1MMI-2 B: Refrigeración / Calefacción: 2270 / 2520 Kcal/h																																										
Niveles de presión sonora Unidad interior F1MMI-3 B: Alta velocidad 40 / Baja velocidad 34 dB(A) Unidad interior F1MMI-2 B: Alta velocidad 37 / Baja velocidad 31 dB(A) Unidad exterior 56 dB (A)																																										
Dimensiones Unidad interior F1MMI-3 B Alto x Ancho x Fondo (mm): 265 x 790 x 195 Unidad interior F1MMI-2 B Alto x Ancho x Fondo (mm): 250 x 710 x 195 Unidad exterior Alto x Ancho x Fondo (mm): 655 x 895 x 345																																										
Clase de eficiencia energética C/D																																										

Tabla 4.41 Equipos amplificadores y de aire acondicionado de la radiobase nodo.

4.5 CONCLUSIONES

El diseño propuesto para nuestro enlace, ha sido realizado de forma eficiente, considerando los parámetros que se han calculado y localizado por medio de la visita a las zonas que constituyen la trayectoria del enlace de microondas dedicado; justificando las ubicaciones dentro de las cuales las poblaciones tanto las mas importantes como otras aun mas pequeñas entran dentro lo que será una infraestructura de telefonía celular.

La visita en las zonas a las que se les proporcionara el enlace nos ha dejado en claro que es susceptible el haber realizado el estudio y el diseño de las estaciones radio base, que conforman la ruta norte desde Puebla hacia Esperanza.

Aunado a esto, consideramos que las condiciones particulares de cada una de las comunidades es única e independiente a las que se tienen en las demás, lo que nos obligo a establecer una particularización de el enlace en cada una de ellas; sin embargo, se tuvo que hacer uso de los conocimientos adquiridos en el fundamento teórico tanto de los capítulos anteriores así como de las consumaciones en el diseño y el establecimiento de un enlace de microondas dedicado entre la central de Puebla, con las entidades de Acajete, Cuacnopala y la Esperanza.

CONCLUSIONES GENERALES

El propósito de expandir una red de telefonía celular bajo el estándar internacional GSM; radica en la funcionalidad de este, para integrarse a los sistemas de proveedores existentes dada su rentabilidad y fácil difusión entre la población, por otro lado, destaca que esta generación de tecnología móvil, puede emigrar sin mayores dificultades debido a los nuevos estándares que se están liberando en el mundo.

La importancia de un enlace de microondas dedicado, se establece al acrecentar y hacer llegar la red celular hacia sitios lejanos, con la versatilidad de poder ser controlado y administrado desde una central remota sin necesidad de establecer puntos de control en zonas aisladas.

Tomando como punto de partida los fundamentos de la teoría electromagnética, se ha vislumbrado un progreso a grandes saltos de los avances en el campo de la telefonía móvil, lo que implica que México debe de estar preparado para adentrarse en la era de las nuevas tecnologías; como parte de la premisa de adecuar al país a un progreso de esta índole, nosotros como ingenieros, hemos delimitado nuestra investigación en el diseño de redes que expandan los sistemas de telefonía celular.

Dentro de nuestro proyecto se ha encontrado que a partir de los cálculos realizados y el nivel socioeconómico de las zonas visitadas, se ha considerado que es viable el poder desarrollar un sistema de enlace de microondas dedicado desde la central de conmutación de Puebla, hacia las tres comunidades de la misma entidad (Acajete, Cuacnopala, Esperanza), el cual fungirá como soporte a un sistema de telefonía celular en expansión.

ANEXO A

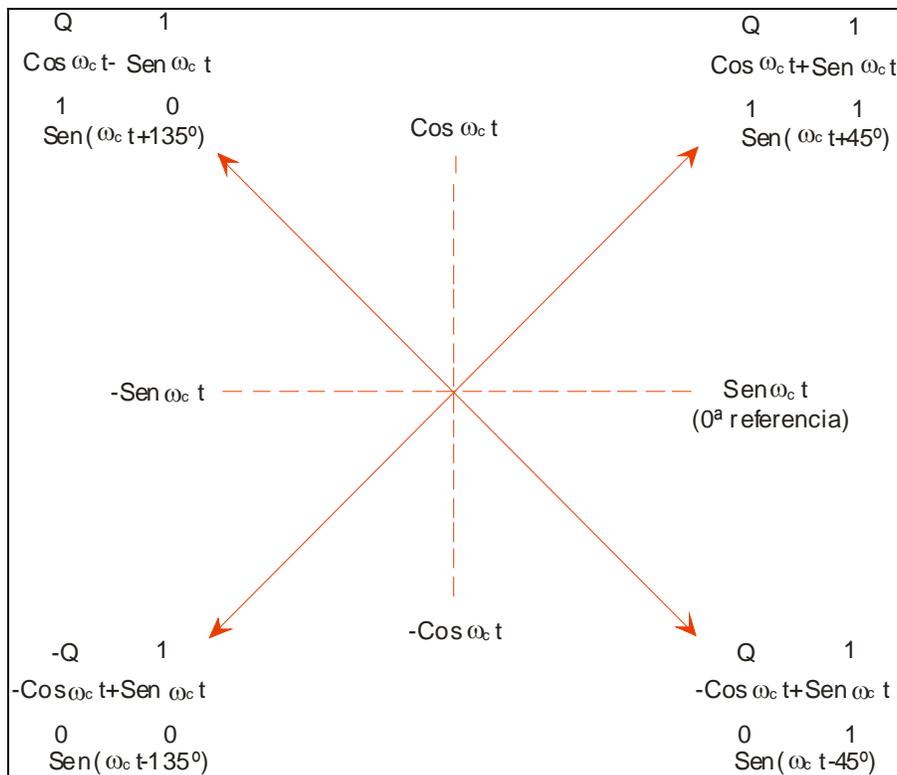


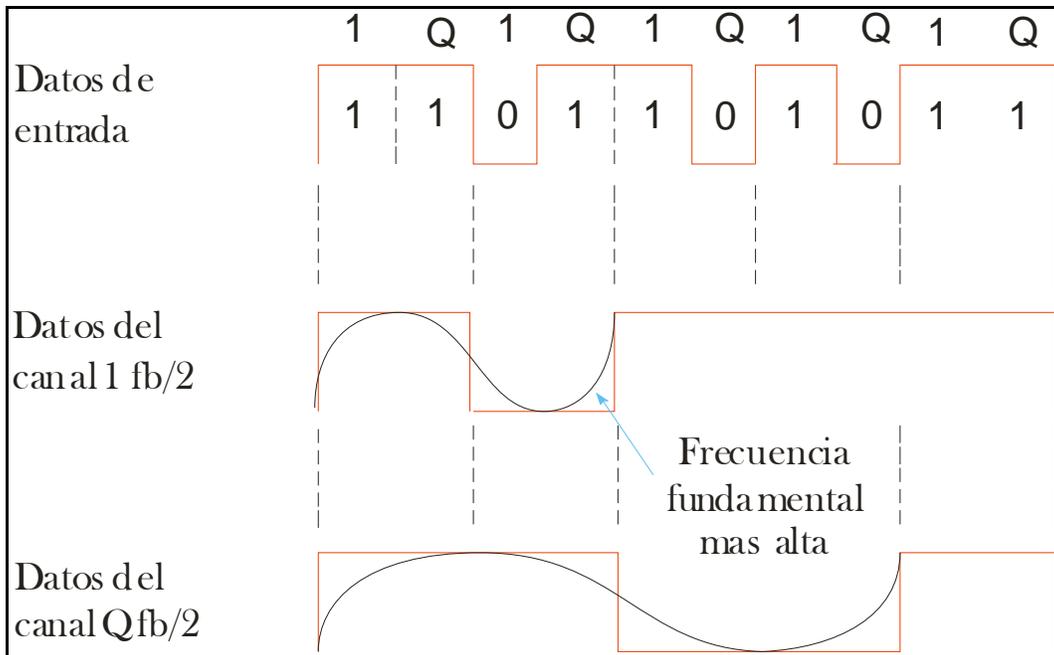
A-I MODULACIÓN QPSK.

La modulación QPSK o por desviación de fase cuaternaria es un esquema digital que implica que una señal binaria reproduzca cuatro fases de salida para una sola frecuencia portadora; por lo tanto para llevar este proceso tienen que existir cuatro condiciones de entrada diferentes.

Debido a que los datos de entrada son combinados en grupos de dos bits denominados dibits; cada uno de estos generara una de las cuatro fases de entrada posibles (00 01 10 11).

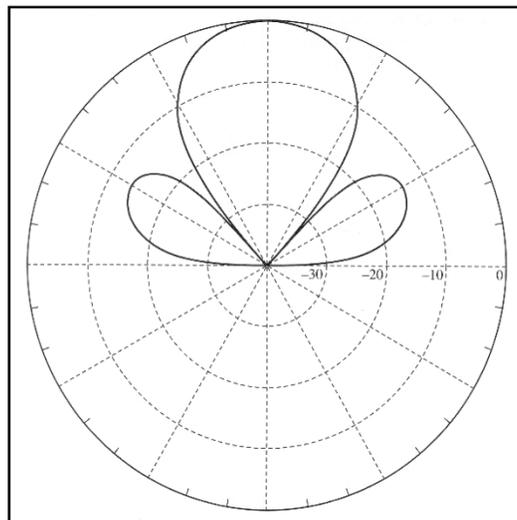
Dato		Fase de salida QPSK
Q	I	
0	0	-135°
0	1	+45°
1	0	+135°
1	1	-45°





A-II DIRECTIVIDAD

Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación, a una cierta distancia r 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. La ganancia de una antena es igual a la directividad multiplicada por la eficiencia.



La directividad es un parámetro el cual nos indica hacia donde se encuentra la mayor concentración de energía radiada

A-III 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 .

La ganancia de antena está normalmente dada en decibelios isotrópicos [dBi]. Es la ganancia de energía en comparación con una antena isotrópica (antena que difunde energía en todas las direcciones con la misma potencia).

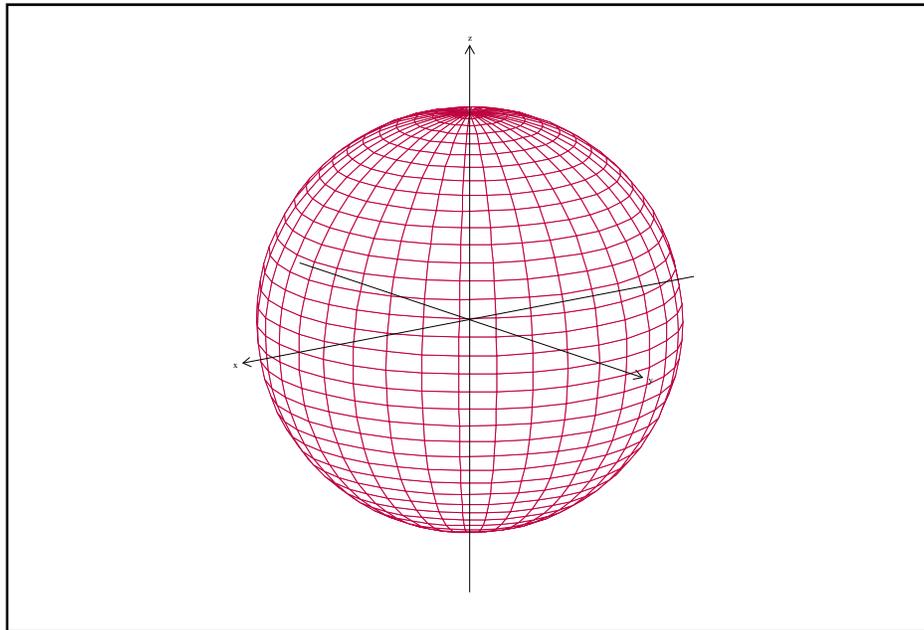
		Diámetro de la antena						
		2 ft. (0.6m)	4 ft. (1.2m)	6 ft. (1.8m)	8 ft. (2.4m)	10 ft. (3.0m)	12 ft. (3.7m)	15 ft. (4.5m)
Frecuencia de operación	2 GHz	19.5	25.5	29.1	31.6	33.5	35.1	37
	4 GHz	25.5	31.6	35.1	37.6	39.5	41.1	43.1
	6 GHz	29.1	35.6	38.6	41.1	43.1	44.6	46.6
	8 GHz	31.6	37.6	41.1	43.6	45.5	47.1	49.1
	11 GHz	34.3	40.4	43.9	46.4	48.3	49.9	51.8
	15 GHz	37	43.1	46.6	49.1	51	52.6	NA
	18 GHz	38.6	44.6	48.2	50.7	NA	NA	NA
	22 GHz	40.4	46.4	49.9	NA	NA	NA	NA
	38 GHz	45.1	51.1	NA	NA	NA	NA	NA
		Ganancia de antena (dB)						

A-IV LATITUD

Distancia angular, medida sobre un meridiano, entre la línea ecuatorial y el paralelo de una localización terrestre (o de cualquier otro planeta).

A-V LONGITUD

Expresa la distancia angular, medida paralelamente al plano del Ecuador terrestre, entre el Meridiano de Greenwich y un determinado punto de la Tierra.



A-VI AZIMUT

El valor del Azimut indicará el punto exacto en el que debemos fijar la antena en el plano horizontal. Este ángulo se mide desde el norte geográfico en sentido de las agujas del reloj.

Hay que tener en cuenta que el polo norte geográfico, utilizado como referencia en todos los mapas, es consecuencia de la división imaginaria del globo terráqueo en diferentes husos a través de los meridianos. El punto de intersección de todos ellos da lugar a los polos Norte y Sur, por los que pasa el eje de giro de la Tierra.

El polo norte magnético es el punto de la superficie terrestre que atrae el extremo rojo de la aguja de la brújula. Este punto no tiene una ubicación física fija ya que varía de lugar a lugar.

ANEXO B



B-I Código del programa para el calculo de altura de torres

```
%cartas topograficas

clc
clear all
num_puntos=input('Dame el numero de puntos de la carta..... ');
dist_puntos=input('Dame la distancia que existira entre cada punto #(Km)..... ');
frec=input('Dame la frecuencia de operacion..... ');
lamda=(3*10^8)/frec;
format short g
n=1.000325;
incre=0;

for i=2:num_puntos
    incre=incre+dist_puntos;
    xi(i)=incre;
end

x(1)=0;
disp(' Llenado de la tabla de cotas topograficas')
C=input('Proporcione las cotas de la siguiente forma [c1 c2...]\n');
a=length(xi);
c_tierra=curv_tierra(xi);

Zi=zi(c_tierra,C);
Ri=ri(xi,lamda);
linea_vista=l_vis(xi,C);
grafica(xi,C,Zi,linea_vista);
%grafica de zonas de fresnel
%for i=1:length(linea_vista)
%    lob_d_rads(i)=linea_vista(i)+Ri(i);
%    lob_d_radi(i)=linea_vista(i)-Ri(i);
%end
%hold on
%plot(xi,lob_d_radi,'black')
%plot(xi,lob_d_rads,'black')
%for i=1:length(linea_vista)
%    tam_d_obst(i)=zi(i)-lob_d_radi(i);
%end
tam_obst=z_f(linea_vista,Ri,xi,Zi);
posc=fres_obst(linea_vista,tam_obst);

for i=1:posc
    nueva_C(i)=C(i);
    nueva_xi(i)=xi(i);
end
l=0;
for i=1:(num_puntos-posc+1)
    nueva_C2(i)=C(l+posc);
    nueva_xi2(i)=xi(l+posc);
    aux(i)=l*dist_puntos;
    l=i;
end
asd=nueva_C;
dsa=nueva_xi;
q=nueva_C2;
w=nueva_xi2;
al=aux;

for ii=1:10
    c_tierra2=curv_tierra(nueva_xi);
    Zi2=zi(c_tierra2,nueva_C);
    Ri2=ri(nueva_xi,lamda);
    linea_vista2=l_vis(nueva_xi,nueva_C);
    figure (ii+1)
    plot(xi,C);
```

```

hold on
grafica(nueva_xi,nueva_C,Zi2, linea_vista2);
tam_obst2=z_f(linea_vista2,Ri2,nueva_xi,Zi2);
posc2=fres_obst(linea_vista2,tam_obst2);

c_tierra3=curv_tierra(aux);
Zi3=zi(c_tierra3,nueva_C2);
Ri3=ri(aux,lamda);
linea_vista3=l_vis(nueva_xi2,nueva_C2);
grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3, linea_vista3);
tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
posc3=fres_obst(linea_vista3,tam_obst3);

if tam_obst2(posc2)>120
[d1,d2,c1,c2]=star(nueva_xi,posc2,nueva_C);
%break

%for i=1:posc2
%nueva_C(i)=nueva_C(i);
%nueva_xi(i)=nueva_xi(i);
% end

%l=0;
%for i=1:(num_puntos-posc+1)
%nueva_C2(i)=C(l+posc);
%nueva_xi2(i)=xi(l+posc);
% aux(i)=l*dist_puntos;
% l=i;
% end

else
if tam_obst2(posc2)<=0
linea_vista2=linea_vista2+15;
ant=15
else
linea_vista2=linea_vista2+tam_obst2(posc2);
ant=tam_obst2(posc2)
end

if tam_obst3(posc3)<=0
linea_vista3=linea_vista3+15;
ant=15
else
linea_vista3=linea_vista3+tam_obst3(posc3);
ant=tam_obst3(posc3)
end

figure(ii+2)
hold on
grafica(nueva_xi,nueva_C,Zi2, linea_vista2);
tam_obst2=z_f(linea_vista2,Ri2,nueva_xi,Zi2);
plot(nueva_xi(1),linea_vista2(1),'*',nueva_xi(length(nueva_xi)),linea_vista2(length(linea_vista2)),'*');
grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3, linea_vista3);
tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
plot(nueva_xi2(1),linea_vista3(1),'*',nueva_xi2(length(nueva_xi2)),linea_vista3(length(linea_vista3)),'*');
op=ii+2;
break
end

if
((length(nueva_C)==length(c1))&(length(nueva_xi)==length(d1))&(length(aux)==length(d2))&(length(nueva_C2)==length(c2)
))
if tam_obst2(posc2)<=0
linea_vista2=linea_vista2+15;
ant=15
else
linea_vista2=linea_vista2+tam_obst2(posc2);
ant=tam_obst2(posc2)
end
end

```

```

if tam_obst3(posc3)<=0
    linea_vista3=linea_vista3+15;
    ant=15
else
    linea_vista3=linea_vista3+tam_obst3(posc3);
    ant=tam_obst3(posc3)
end

figure(ii+2)
hold on
grafica(nueva_xi,nueva_C,Zi2,linea_vista2);
tam_obst2=z_f(linea_vista2,Ri2,nueva_xi,Zi2);
plot(nueva_xi(1),linea_vista2(1),'*',nueva_xi(length(nueva_xi)),linea_vista2(length(linea_vista2)),'*');
grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3,linea_vista3);
tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
plot(nueva_xi2(1),linea_vista3(1),'*',nueva_xi2(length(nueva_xi2)),linea_vista3(length(linea_vista3)),'*');
op=ii+2;

break
else
nueva_C=c1;
nueva_xi=d1;
aux=d2;
nueva_xi2=aux;
nueva_C2=c2;
for i=1:length(aux)
    nueva_xi2(i)=aux(i)+nueva_xi(length(nueva_xi));
end
end

% if ((tam_obst2(posc2)<120) && (tam_obst3(posc3)<120))
% break
%else
%end
end

nueva_xi=dsa;
nueva_C=asd;
nueva_xi2=w;
nueva_C2=q;
aux=a1;

c_tierra3=curv_tierra(aux);
Zi3=zi(c_tierra3,nueva_C2);
Ri3=ri(aux,lamda);
linea_vista3=l_vis(nueva_xi2,nueva_C2);
l3=linea_vista3;

figure (2)
hold on
grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3,linea_vista3);
tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
posc3=fres_obst(linea_vista3,tam_obst3);
l=2;

if tam_obst3(posc3)<=120
    if tam_obst3(posc3)<=0
        linea_vista3=linea_vista3+15;
        ant=15
    else
        linea_vista3=linea_vista3+tam_obst3(posc3);
        ant=tam_obst3(posc3)
    end
end

```

```

end

fig=op-l-1;
if fig>0
    for i=+1:op-1
        figure (i)
        hold on
        grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3,l3);
        tam_obst3=z_f(l3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
        posc3=fres_obst(l3,tam_obst3);
    end
else
end

figure(op)
hold on
grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3,linea_vista3);
tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
plot(nueva_xi2(1),linea_vista3(1),'*',nueva_xi2(length(nueva_xi2)),linea_vista3(length(linea_vista3)),'*');

quit cancel;
else
[d1,d2,c1,c2]=star(nueva_xi2,posc3,nueva_C2);
for i=1:length(nueva_xi)
    nueva_xi=d1+w(1);
end
nueva_xxi=d1;
nueva_C=c1;

nueva_C2=c2;
aux=d2;
clear nueva_xi2
for i=1:length(aux)
    nueva_xi2(i)=aux(i)+nueva_xi(length(nueva_xi));
end
end

for ii=2:10
    c_tierra2=curv_tierra(nueva_xxi);
    Zi2=zi(c_tierra2,nueva_C);
    Ri2=ri(nueva_xxi,lamda);
    linea_vista2=l_vis(nueva_xi,nueva_C);
    figure (ii+1)
    plot(xi,C);
    hold on
    grafica(nueva_xi,nueva_C,Zi2,linea_vista2);
    tam_obst2=z_f(linea_vista2,Ri2,nueva_xi,Zi2);
    posc2=fres_obst(linea_vista2,tam_obst2);

c_tierra3=curv_tierra(aux);
Zi3=zi(c_tierra3,nueva_C2);
Ri3=ri(aux,lamda);
linea_vista3=l_vis(nueva_xi2,nueva_C2);
grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3,linea_vista3);
tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
posc3=fres_obst(linea_vista3,tam_obst3);

if tam_obst3(posc3)>120
[d1,d2,c1,c2]=star(nueva_xi2,posc3,nueva_C2);
%break

%for i=1:posc2
%nueva_C(i)=nueva_C(i);
%nueva_xi(i)=nueva_xi(i);
% end

```

```

%i=0;
%for i=1:(num_puntos-posc+1)
    % nueva_C2(i)=C(l+posc);
    %nueva_xi2(i)=xi(l+posc);
    % aux(i)=l*dist_puntos;
    % l=i;
end

if
((length(nueva_C)==length(c1))&(length(nueva_xi)==length(d1))&(length(aux)==length(d2))&(length(nueva_C2)==length(c2)
))
    if tam_obst2(posc2)<=0
        linea_vista2=linea_vista2+15;
        ant=15
    else
        linea_vista2=linea_vista2+tam_obst2(posc2);
        ant=tam_obst2(posc2)
    end

    if tam_obst3(posc3)<=0
        linea_vista3=linea_vista3+15;
        ant=15
    else
        linea_vista3=linea_vista3+tam_obst3(posc3);
        ant=tam_obst3(posc3)
    end

    figure(ii+2)
    hold on
    grafica(nueva_xi,nueva_C,Zi2,linea_vista2);
    tam_obst2=z_f(linea_vista2,Ri2,nueva_xi,Zi2);
    plot(nueva_xi(1),linea_vista2(1),'*',nueva_xi(length(nueva_xi)),linea_vista2(length(linea_vista2)),'*');
    %text(nueva_xi(1),linea_vista2(1),'3');
    grafica(nueva_xi2,nueva_C2,Zi3,linea_vista3);
    tam_obst3=z_f(linea_vista3,Ri3,nueva_xi2,Zi3);
    plot(nueva_xi2(1),linea_vista3(1),'*',nueva_xi2(length(nueva_xi2)),linea_vista3(length(linea_vista3)),'*');

    break
else
    nueva_C=c1;
    for i=1:length(nueva_xi)
        nueva_xi=d1+w(1);
    end
    nueva_xxi=nueva_xi;
    clear aux
    aux=d2;
    nueva_C2=c2;
    clear nueva_xi2
    for i=1:length(d2)
        nueva_xi2(i)=aux(i)+nueva_xi(length(nueva_xi));
    end

end

% if ((tam_obst2(posc2)<120) && (tam_obst3(posc3)<120))
% break
%else
%end
end

```

B-II Tablas que muestran los valores para graficar el perfil topográfico.

PERFIL TOPOGRAFICO I					
PUEBLA - ACAJETE					
No. PUNTOS	DISTANCIA X_i (Km)	COTA TOPOGRAFICA C_i (m)	CURVATURA DE LA TIERRA f_i (m)	ALTURA REAL Z_i (m)	ZONA DE FRESNEL r_i (m)
1	0	2220	0.00	2220	0.00
2	0.25	2220	0.54	2220,54	1.79
3	0.5	2220	1.07	2221,07	2.51
4	0.75	2220	1.58	2221,58	3.06
5	1	2180	2.09	2182,09	3.51
6	1.25	2180	2.58	2182,58	3.90
7	1.5	2180	3.05	2183,05	4.25
8	1.75	2185	3.52	2188,52	4.56
9	2	2190	3.97	2193,97	4.85
10	2.25	2195	4.40	2199,4	5.11
11	2.5	2200	4.83	2204,83	5.35
12	2.75	2220	5.24	2225,24	5.57
13	3	2203	5.64	2208,64	5.78
14	3.25	2206	6.02	2212,02	5.97
15	3.5	2210	6.40	2216,4	6.15
16	3.75	2215	6.76	2221,76	6.32
17	4	2220	7.10	2227,1	6.48
18	4.25	2220	7.44	2227,44	6.63
19	4.5	2220	7.76	2227,76	6.78
20	4.75	2220	8.06	2228,06	6.91
21	5	2230	8.36	2238,36	7.03
22	5.25	2240	8.64	2248,64	7.15
23	5.5	2240	8.91	2248,91	7.26
24	5.75	2240	9.16	2249,16	7.36
25	6	2245	9.40	2254,4	7.46
26	6.25	2250	9.63	2259,63	7.55
27	6.5	2260	9.85	2269,85	7.63
28	6.75	2265	10.05	2275,05	7.71
29	7	2270	10.24	2280,24	7.79
30	7.25	2275	10.41	2285,41	7.85
31	7.5	2280	10.58	2290,58	7.91
32	7.75	2285	10.73	2295,73	7.97
33	8	2290	10.87	2300,87	8.02
34	8.25	2295	10.99	2305,99	8.07
35	8.5	2300	11.10	2311,1	8.11
36	8.75	2310	11.20	2321,2	8.14
37	9	2315	11.28	2326,28	8.17
38	9.25	2320	11.36	2331,36	8.20
39	9.5	2325	11.41	2336,41	8.22
40	9.75	2330	11.46	2341,46	8.24
41	10	2335	11.49	2346,49	8.25
42	10.25	2338	11.51	2349,51	8.26
43	10.5	2340	11.52	2351,52	8.26
44	10.75	2345	11.51	2356,51	8.26
45	11	2350	11.49	2361,49	8.25
46	11.25	2355	11.46	2366,46	8.24
47	11.5	2360	11.41	2371,41	8.22
48	11.75	2368	11.36	2379,36	8.20
49	12	2376	11.28	2387,28	8.17
50	12.25	2380	11.20	2391,2	8.14
51	12.5	2388	11.10	2399,1	8.11
52	12.75	2396	10.99	2406,99	8.07
53	13	2400	10.87	2410,87	8.02
54	13.25	2405	10.73	2415,73	7.97

55	13.5	2410	10.58	2420,58	7.91
56	13.75	2415	10.41	2425,41	7.85
57	14	2420	10.24	2430,24	7.79
58	14.25	2420	10.05	2430,05	7.71
59	14.5	2424	9.85	2433,85	7.63
60	14.75	2428	9.63	2437,63	7.55
61	15	2430	9.40	2439,4	7.46
62	15.25	2433	9.16	2442,16	7.36
63	15.5	2436	8.91	2444,91	7.26
64	15.75	2439	8.64	2447,64	7.15
65	16	2440	8.36	2448,36	7.03
66	16.25	2440	8.06	2448,06	6.91
67	16.5	2440	7.76	2447,76	6.78
68	16.75	2440	7.44	2447,44	6.63
69	17	2440	7.10	2447,1	6.48
70	17.25	2450	6.76	2456,76	6.32
71	17.5	2460	6.40	2466,4	6.15
72	17.75	2465	6.02	2471,02	5.97
73	18	2470	5.64	2475,64	5.78
74	18.25	2475	5.24	2480,24	5.57
75	18.5	2478	4.83	2482,83	5.35
76	18.75	2480	4.40	2484,4	5.11
77	19	2480	3.97	2483,97	4.85
78	19.25	2484	3.52	2487,52	4.56
79	19.5	2488	3.05	2491,05	4.25
80	19.75	2490	2.58	2492,58	3.90
81	20	2490	2.09	2492,09	3.51
82	20.25	2492	1.58	2493,58	3.06
83	20.5	2493	1.07	2494,07	2.51
84	20.75	2494	0.54	2494,54	1.79
85	21	2495	0.00	2495	0.00

PERFIL TOPOGRAFICO II					
ACAJETE - TEPEACA					
No. PUNTOS	DISTANCIA X_i (Km)	COTA TOPOGRAFICA C_i (m)	CURVATURA DE LA TIERRA f_i (m)	ALTURA REAL Z_i (m)	ZONA DE FRESNEL r_i (m)
1	0	2220	0.00	2220	0.00
2	0.25	2220	0.45	2220,45	1.79
3	0.5	2220	0.90	2220,9	2.51
4	0.75	2220	1.33	2221,33	3.05
5	1	2180	1.75	2181,75	3.50
6	1.25	2180	2.15	2182,15	3.88
7	1.5	2180	2.54	2182,54	4.22
8	1.75	2185	2.92	2187,92	4.52
9	2	2190	3.29	2193,29	4.80
10	2.25	2195	3.64	2198,64	5.05
11	2.5	2200	3.98	2203,98	5.28
12	2.75	2220	4.31	2224,31	5.49
13	3	2203	4.62	2207,62	5.69
14	3.25	2206	4.92	2210,92	5.87
15	3.5	2210	5.21	2215,21	6.04
16	3.75	2215	5.48	2220,48	6.20
17	4	2220	5.74	2225,74	6.34
18	4.25	2220	5.99	2225,99	6.48
19	4.5	2220	6.23	2226,23	6.60
20	4.75	2220	6.45	2226,45	6.72
21	5	2230	6.66	2236,66	6.83
22	5.25	2240	6.85	2246,85	6.93
23	5.5	2240	7.04	2247,04	7.02
24	5.75	2240	7.21	2247,21	7.10

25	6	2245	7.36	2252,36	7.18
26	6.25	2250	7.51	2257,51	7.25
27	6.5	2260	7.64	2267,64	7.31
28	6.75	2265	7.76	2272,76	7.37
29	7	2270	7.86	2277,86	7.42
30	7.25	2275	7.95	2282,95	7.46
31	7.5	2280	8.03	2288,03	7.50
32	7.75	2285	8.10	2293,1	7.53
33	8	2290	8.15	2298,15	7.55
34	8.25	2295	8.19	2303,19	7.57
35	8.5	2300	8.21	2308,21	7.58
36	8.75	2310	8.23	2318,23	7.59
37	9	2315	8.23	2323,23	7.59
38	9.25	2320	8.21	2328,21	7.58
39	9.5	2325	8.19	2333,19	7.57
40	9.75	2330	8.15	2338,15	7.55
41	10	2335	8.10	2343,1	7.53
42	10.25	2338	8.03	2346,03	7.50
43	10.5	2340	7.95	2347,95	7.46
44	10.75	2345	7.86	2352,86	7.42
45	11	2350	7.76	2357,76	7.37
46	11.25	2355	7.64	2362,64	7.31
47	11.5	2360	7.51	2367,51	7.25
48	11.75	2368	7.36	2375,36	7.18
49	12	2376	7.21	2383,21	7.10
50	12.25	2380	7.04	2387,04	7.02
51	12.5	2388	6.85	2394,85	6.93
52	12.75	2396	6.66	2402,66	6.83
53	13	2400	6.45	2406,45	6.72
54	13.25	2405	6.23	2411,23	6.60
55	13.5	2410	5.99	2415,99	6.48
56	13.75	2415	5.74	2420,74	6.34
57	14	2420	5.48	2425,48	6.20
58	14.25	2420	5.21	2425,21	6.04
59	14.5	2424	4.92	2428,92	5.87
60	14.75	2428	4.62	2432,62	5.69
61	15	2430	4.31	2434,31	5.49
62	15.25	2433	3.98	2436,98	5.28
63	15.5	2436	3.64	2439,64	5.05
64	15.75	2439	3.29	2442,29	4.80
65	16	2440	2.92	2442,92	4.52
66	16.25	2440	2.54	2442,54	4.22
67	16.5	2440	2.15	2442,15	3.88
68	16.75	2440	1.75	2441,75	3.50
69	17	2440	1.33	2441,33	3.05
70	17.25	2450	0.90	2450,9	2.51
71	17.5	2460	0.45	2460,45	1.79
72	17.75	2465	0.00	2465	0.00

PERFIL TOPOGRAFICO III					
ACAJETE - GUADALUPE ENRIQUEZ					
No. PUNTOS	DISTANCIA X_i (Km)	COTA TOPOGRAFICA C_i (m)	CURVATURA DE LA TIERRA f_i (m)	ALTURA REAL Z_i (m)	ZONA DE FRESNEL r_i (m)
1	0	2233	0.00	2233	0.00
2	0.25	2230	0.87	2230,87	1.79
3	0.5	2228	1.73	2229,73	2.53
4	0.75	2228	2.58	2230,58	3.08
5	1	2228	3.42	2231,42	3.55
6	1.25	2228	4.24	2232,24	3.95
7	1.5	2226	5.05	2231,05	4.31
8	1.75	2225	5.85	2230,85	4.64

9	2	2225	6.63	2231,63	4.94
10	2.25	2224	7.40	2231,4	5.22
11	2.5	2224	8.16	2232,16	5.48
12	2.75	2223	8.91	2231,91	5.73
13	3	2222	9.64	2231,64	5.96
14	3.25	2222	10.36	2232,36	6.18
15	3.5	2222	11.06	2233,06	6.38
16	3.75	2221	11.75	2232,75	6.58
17	4	2220	12.43	2232,43	6.77
18	4.25	2220	13.10	2233,1	6.95
19	4.5	2218	13.75	2231,75	7.12
20	4.75	2210	14.39	2224,39	7.28
21	5	2205	15.02	2220,02	7.44
22	5.25	2200	15.63	2215,63	7.59
23	5.5	2180	16.24	2196,24	7.73
24	5.75	2175	16.82	2191,82	7.87
25	6	2168	17.40	2185,4	8.00
26	6.25	2160	17.96	2177,96	8.13
27	6.5	2158	18.51	2176,51	8.26
28	6.75	2154	19.04	2173,04	8.37
29	7	2150	19.57	2169,57	8.49
30	7.25	2148	20.08	2168,08	8.60
31	7.5	2144	20.57	2164,57	8.70
32	7.75	2140	21.06	2161,06	8.81
33	8	2140	21.53	2161,53	8.90
34	8.25	2140	21.98	2161,98	9.00
35	8.5	2140	22.43	2162,43	9.09
36	8.75	2135	22.86	2157,86	9.18
37	9	2132	23.28	2155,28	9.26
38	9.25	2130	23.68	2153,68	9.34
39	9.5	2125	24.07	2149,07	9.42
40	9.75	2120	24.45	2144,45	9.49
41	10	2090	24.82	2114,82	9.56
42	10.25	2075	25.17	2100,17	9.63
43	10.5	2070	25.51	2095,51	9.69
44	10.75	2065	25.84	2090,84	9.76
45	11	2065	26.15	2091,15	9.81
46	11.25	2065	26.45	2091,45	9.87
47	11.5	2063	26.74	2089,74	9.92
48	11.75	2063	27.01	2090,01	9.98
49	12	2063	27.28	2090,28	10.02
50	12.25	2062	27.52	2089,52	10.07
51	12.5	2062	27.76	2089,76	10.11
52	12.75	2060	27.98	2087,98	10.15
53	13	2060	28.19	2088,19	10.19
54	13.25	2065	28.39	2093,39	10.23
55	13.5	2065	28.57	2093,57	10.26
56	13.75	2064	28.74	2092,74	10.29
57	14	2064	28.90	2092,9	10.32
58	14.25	2062	29.04	2091,04	10.34
59	14.5	2062	29.17	2091,17	10.37
60	14.75	2060	29.29	2089,29	10.39
61	15	2060	29.39	2089,39	10.41
62	15.25	2058	29.48	2087,48	10.42
63	15.5	2058	29.56	2087,56	10.44
64	15.75	2060	29.63	2089,63	10.45
65	16	2060	29.68	2089,68	10.46
66	16.25	2058	29.72	2087,72	10.46
67	16.5	2062	29.74	2091,74	10.47
68	16.75	2068	29.76	2097,76	10.47
69	17	2074	29.76	2103,76	10.47
70	17.25	2080	29.74	2109,74	10.47
71	17.5	2083	29.72	2112,72	10.46
72	17.75	2087	29.68	2116,68	10.46
73	18	2090	29.63	2119,63	10.45
74	18.25	2093	29.56	2122,56	10.44

75	18.5	2097	29.48	2126,48	10.42
76	18.75	2100	29.39	2129,39	10.41
77	19	2105	29.29	2134,29	10.39
78	19.25	2110	29.17	2139,17	10.37
79	19.5	2115	29.04	2144,04	10.34
80	19.75	2125	28.90	2153,9	10.32
81	20	2135	28.74	2163,74	10.29
82	20.25	2140	28.57	2168,57	10.26
83	20.5	2140	28.39	2168,39	10.23
84	20.75	2140	28.19	2168,19	10.19
85	21	2140	27.98	2167,98	10.15
86	21.25	2139	27.76	2166,76	10.11
87	21.5	2138	27.52	2165,52	10.07
88	21.75	2137	27.28	2164,28	10.02
89	22	2136	27.01	2163,01	9.98
90	22.25	2135	26.74	2161,74	9.92
91	22.5	2134	26.45	2160,45	9.87
92	22.75	2132	26.15	2158,15	9.81
93	23	2130	25.84	2155,84	9.76
94	23.25	2131	25.51	2156,51	9.69
95	23.5	2132	25.17	2157,17	9.63
96	23.75	2133	24.82	2157,82	9.56
97	24	2134	24.45	2158,45	9.49
98	24.25	2135	24.07	2159,07	9.42
99	24.5	2136	23.68	2159,68	9.34
100	24.75	2137	23.28	2160,28	9.26
101	25	2138	22.86	2160,86	9.18
102	25.25	2140	22.43	2162,43	9.09
103	25.5	2142	21.98	2163,98	9.00
104	25.75	2145	21.53	2166,53	8.90
105	26	2147	21.06	2168,06	8.81
106	26.25	2150	20.57	2170,57	8.70
107	26.5	2152	20.08	2172,08	8.60
108	26.75	2155	19.57	2174,57	8.49
109	27	2158	19.04	2177,04	8.37
110	27.25	2160	18.51	2178,51	8.26
111	27.5	2162	17.96	2179,96	8.13
112	27.75	2164	17.40	2181,4	8.00
113	28	2166	16.82	2182,82	7.87
114	28.25	2168	16.24	2184,24	7.73
115	28.5	2170	15.63	2185,63	7.59
116	28.75	2172	15.02	2187,02	7.44
117	29	2174	14.39	2188,39	7.28
118	29.25	2178	13.75	2191,75	7.12
119	29.5	2180	13.10	2193,1	6.95
120	29.75	2183	12.43	2195,43	6.77
121	30	2187	11.75	2198,75	6.58
122	30.25	2190	11.06	2201,06	6.38
123	30.5	2193	10.36	2203,36	6.18
124	30.75	2197	9.64	2206,64	5.96
125	31	2200	8.91	2208,91	5.73
126	31.25	2200	8.16	2208,16	5.48
127	31.5	2198	7.40	2205,4	5.22
128	31.75	2198	6.63	2204,63	4.94
129	32	2200	5.85	2205,85	4.64
130	32.25	2202	5.05	2207,05	4.31
131	32.5	2204	4.24	2208,24	3.95
132	32.75	2206	3.42	2209,42	3.55
133	33	2210	2.58	2212,58	3.08
134	33.25	2213	1.73	2214,73	2.53
135	33.5	2216	0.87	2216,87	1.79
136	33.75	2220	0.00	2220	0.00

PERFIL TOPOGRAFICO IV					
GUADALUPE ENRIQUEZ - ESPERANZA					
No. PUNTOS	DISTANCIA X _i (Km)	COTA TOPOGRAFICA C _i (m)	CURVATURA DE LA TIERRA f _i (m)	ALTURA REAL Z _i (m)	ZONA DE FRESNEL r _i (m)
1	0	2220	0.00	2220	0.00
2	0.25	2225	0.18	2225,18	1.77
3	0.5	2226	0.36	2226,36	2.46
4	0.75	2226	0.52	2226,52	2.96
5	1	2228	0.67	2228,67	3.35
6	1.25	2228	0.81	2228,81	3.68
7	1.5	2228	0.94	2228,94	3.95
8	1.75	2234	1.05	2235,05	4.17
9	2	2235	1.14	2236,14	4.36
10	2.25	2236	1.23	2237,23	4.52
11	2.5	2236	1.30	2237,3	4.65
12	2.75	2238	1.36	2239,36	4.75
13	3	2238	1.41	2239,41	4.83
14	3.25	2240	1.44	2241,44	4.89
15	3.5	2240	1.46	2241,46	4.92
16	3.75	2248	1.46	2249,46	4.93
17	4	2243	1.46	2244,46	4.92
18	4.25	2255	1.44	2256,44	4.89
19	4.5	2260	1.41	2261,41	4.83
20	4.75	2264	1.36	2265,36	4.75
21	5	2265	1.30	2266,3	4.65
22	5.25	2270	1.23	2271,23	4.52
23	5.5	2280	1.14	2281,14	4.36
24	5.75	2290	1.05	2291,05	4.17
25	6	2300	0.94	2300,94	3.95
26	6.25	2340	0.81	2340,81	3.68
27	6.5	2400	0.67	2400,67	3.35
28	6.75	2440	0.52	2440,52	2.96
29	7	2460	0.36	2460,36	2.46
30	7.25	2540	0.18	2540,18	1.77
31	7.5	2580	0.00	2580	0.00
32	0	2580	0.00	2580	0.00
33	0.25	2500	0.35	2500,35	1.78
34	0.5	2460	0.70	2460,7	2.50
35	0.75	2418	1.03	2419,03	3.03
36	1	2400	1.35	2401,35	3.47
37	1.25	2410	1.66	2411,66	3.84
38	1.5	2417	1.95	2418,95	4.17
39	1.75	2420	2.24	2422,24	4.46
40	2	2420	2.50	2422,5	4.72
41	2.25	2420	2.76	2422,76	4.95
42	2.5	2420	3.00	2423	5.16
43	2.75	2420	3.23	2423,23	5.36
44	3	2420	3.44	2423,44	5.53
45	3.25	2420	3.65	2423,65	5.69
46	3.5	2420	3.84	2423,84	5.84
47	3.75	2417	4.01	2421,01	5.97
48	4	2417	4.18	2421,18	6.09
49	4.25	2417	4.33	2421,33	6.20
50	4.5	2418	4.46	2422,46	6.30
51	4.75	2418	4.59	2422,59	6.38
52	5	2419	4.70	2423,7	6.46
53	5.25	2419	4.80	2423,8	6.53
54	5.5	2419	4.88	2423,88	6.58
55	5.75	2416	4.95	2420,95	6.63
56	6	2418	5.01	2423,01	6.67
57	6.25	2420	5.06	2425,06	6.70
58	6.5	2418	5.09	2423,09	6.72
59	6.75	2415	5.11	2420,11	6.74
60	7	2415	5.12	2420,12	6.74
61	7.25	2415	5.11	2420,11	6.74
62	7.5	2414	5.09	2419,09	6.72

63	7.75	2412	5.06	2417,06	6.70
64	8	2410	5.01	2415,01	6.67
65	8.25	2408	4.95	2412,95	6.63
66	8.5	2406	4.88	2410,88	6.58
67	8.75	2404	4.80	2408,8	6.53
68	9	2402	4.70	2406,7	6.46
69	9.25	2404	4.59	2408,59	6.38
70	9.5	2404	4.46	2408,46	6.30
71	9.75	2402	4.33	2406,33	6.20
72	10	2402	4.18	2406,18	6.09
73	10.25	2402	4.01	2406,01	5.97
74	10.5	2402	3.84	2405,84	5.84
75	10.75	2400	3.65	2403,65	5.69
76	11	2404	3.44	2407,44	5.53
77	11.25	2408	3.23	2411,23	5.36
78	11.5	2412	3.00	2415	5.16
79	11.75	2416	2.76	2418,76	4.95
80	12	2418	2.50	2420,5	4.72
81	12.25	2420	2.24	2422,24	4.46
82	12.5	2440	1.95	2441,95	4.17
83	12.75	2440	1.66	2441,66	3.84
84	13	2440	1.35	2441,35	3.47
85	13.25	2440	1.03	2441,03	3.03
86	13.5	2443	0.70	2443,7	2.50
87	13.75	2446	0.35	2446,35	1.78
88	14	2450	0.00	2450	0.00

B-III Cálculos de la Ganancia del sistema.

Puebla – Acajete

d = 21 Km

A = 1

B = 0.25

f = 23 Ghz

R = 99.95%

C/N = 25 dB

Ab = 2 Mhz

$$F_m = 30\log d + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70 \quad [\text{dB}]$$

$$= 30\log(21) + 10\log((6)(1)(0.25)(23)) - 10\log(1 - 0.9995) - 70$$

$$F_m = 18.04 \text{ dB}$$

$$L_p = 92.44 + 20\log f + 20\log d \quad [\text{dB}]$$

$$= 92.44 + 20\log(23) + 20\log(21)$$

$$L_p = 146.11 \text{ dB}$$

$$N = -204 \text{ dB} + 10\log A_b$$

$$= -204 + 10\log(2 \times 10^6)$$

$$N = -140.98$$

$$C_{\min} = C/N + N \quad [\text{dB}]$$

$$= 25 - 140.98$$

$$C_{\min} = -115.98$$

$$G_s = F_m + L_p + L_{bt} + L_{ft} - A_t - A_r - A_{rr}$$

$$= 18.04 + 146.11 + 4 + 25.48 - 49.5 - 49.5 = 94.63 \text{ dB}$$

$$P_{\text{entrada}} = C_{\text{min}} + G_s = -115.98 + 94.63 = -21.35 \text{ dB} = 7.32 \text{ mwatts}$$

Acajete - Tepeaca

$$d = 17.75 \text{ Km}$$

$$A = 0.25$$

$$B = 0.125$$

$$f = 23 \text{ Ghz}$$

$$R = 99.95\%$$

$$C/N = 25 \text{ dB}$$

$$A_b = 2 \text{ Mhz}$$

$$\begin{aligned} F_m &= 30\log d + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70 \quad [\text{dB}] \\ &= 30\log(17.75) + 10\log((6)(0.25)(0.125)(23)) - 10\log(1 - 0.9995) - 70 \\ F_m &= 6.8247 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 92.44 + 20\log f + 20\log d \quad [\text{dB}] \\ &= 92.44 + 20\log(23) + 20\log(17.75) \\ L_p &= 144.65 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= -204 \text{ dB} + 10\log A_b \\ &= -204 + 10\log(2 \times 10^6) \\ N &= -140.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{min}} &= C/N + N \quad [\text{dB}] \\ &= 25 - 140.98 \end{aligned}$$

$$C_{\text{min}} = -115.98$$

$$\begin{aligned} G_s &= F_m + L_p + L_{bt} + L_{ft} - A_t - A_r - A_{rr} \\ &= 6.8247 + 144.65 + 4 + 11.634 - 49.5 - 49.5 = 68.11 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$P_{\text{entrada}} = C_{\text{min}} + G_s = -115.98 + 68.11 = -47.87 \text{ dB} = 16.5 \mu\text{watts}$$

Tepeaca – Guadalupe Enriquez

$$d = 33.75 \text{ Km}$$

$$A = 0.25$$

$$B = 0.125$$

$$f = 23 \text{ Ghz}$$

$$R = 99.95\%$$

$$C/N = 25 \text{ dB}$$

$$A_b = 2 \text{ Mhz}$$

$$\begin{aligned} F_m &= 30\log d + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70 \quad [\text{dB}] \\ &= 30\log(33.75) + 10\log((6)(0.25)(0.125)(23)) - 10\log(1 - 0.9995) - 70 \\ F_m &= 15.20 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 92.44 + 20\log f + 20\log d \quad [\text{dB}] \\ &= 92.44 + 20\log(23) + 20\log(33.75) \\ L_p &= 150.23 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= -204 \text{ dB} + 10\log A_b \\ &= -204 + 10\log(2 \times 10^6) \\ N &= -140.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{min}} &= C/N + N \quad [\text{dB}] \\ &= 25 - 140.98 \end{aligned}$$

$$C_{\text{min}} = -115.98$$

$$G_s = F_m + L_p + L_{bt} + L_{ft} - A_t - A_r - A_{rr}$$

$$= 15.20 + 150.23 + 4 + 11.634 - 49.5 - 49.5 = 82.06 \text{ dB}$$

$$P_{\text{entrada}} = C_{\text{min}} + G_s = -115.98 + 82.06 = -33.92 \text{ dB} = 0.405 \text{ mwatts}$$

Guadalupe Enriquez - Esperanza

$$d = 21.5 \text{ Km}$$

$$A = 0.25$$

$$B = 0.125$$

$$f = 23 \text{ Ghz}$$

$$R = 99.95\%$$

$$C/N = 25 \text{ dB}$$

$$A_b = 2 \text{ Mhz}$$

$$F_m = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \text{ [dB]}$$

$$= 30 \log(21.5) + 10 \log((6)(0.25)(0.125)(23)) - 10 \log(1 - 0.9995) - 70$$

$$F_m = 9.32 \text{ dB}$$

$$L_p = 92.44 + 20 \log f + 20 \log d \text{ [dB]}$$

$$= 92.44 + 20 \log(23) + 20 \log(21.5)$$

$$L_p = 146.32 \text{ dB}$$

$$N = -204 \text{ dB} + 10 \log A_b$$

$$= -204 + 10 \log(2 \times 10^6)$$

$$N = -140.98$$

$$C_{\text{min}} = C/N + N \text{ [dB]}$$

$$= 25 - 140.98$$

$$C_{\text{min}} = -115.98$$

$$G_s = F_m + L_p + L_{bt} + L_{ft} - A_t - A_r - A_{rr}$$

$$= 9.32 + 146.32 + 4 + 12.46 - 49.5 - 49.5 = 73.10 \text{ dB}$$

$$P_{\text{entrada}} = C_{\text{min}} + G_s = -115.98 + 73.10 = -42.87 \text{ dB} = 51.6 \text{ } \mu\text{watts}$$

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ADC: siglas del convertidor analógico digital. Cambia una señal analógica continua en tiempo y de amplitudes aleatorias en un flujo digital de bits discretos en tiempo y amplitud.

Ancho de banda: rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal. Puede ser calculado a partir de una señal temporal mediante el análisis de Fourier. También son llamadas frecuencias efectivas las pertenecientes a este rango.

Atenuación: Disminución gradual de la amplitud de una señal, pérdida o reducción de amplitud de una señal al pasar a través de un circuito o canal, debida a resistencias, fugas, etc. Puede definirse en términos de su efecto sobre el voltaje, intensidad o potencia. Se expresa en decibeles (dB).

CODEC: dispositivo codificador decodificador, Describe una especificación desarrollada en software, hardware o una combinación de ambos, capaz de transformar un archivo con un flujo de datos o una señal. Los códec pueden codificar el flujo o la señal (a menudo para la transmisión, el almacenaje o el cifrado) y recuperarlo o descifrarlo del mismo modo para la reproducción o la manipulación en un formato más apropiado para estas operaciones. Los códec son usados a menudo en videoconferencias y emisiones de medios de comunicación.

DAC: siglas del convertidor digital analógico. Circuito que convierte una entrada digital en una salida analógica; generando a partir de señales binarias o digitales, homólogos en funciones continuas en tiempo y con amplitudes aleatorias.

ETSI: siglas del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones

Hand off o Handover: Término que describen un proceso de transferir una llamada progreso o la transmisión de datos de un canal conectado a la red principal de telefonía desde una estación radio base hacia otra. Este proceso se entiende de igual forma cuando el teléfono móvil se aleja del área cubierta por una célula (dada por una estación radio base) y entra en el área cubierta por otra célula, la llamada es transferida a la segunda célula para evitar la terminación de llamada cuando el teléfono sale fuera la gama de la primera célula; de esta forma, se continua la llamada sin perderse.

Interfaz: una interfaz es el punto, el área, o la superficie a lo largo de la cual dos cosas de naturaleza distinta convergen.

Interferencia: es cualquier proceso que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor.

Interworking: Funciones de los sistemas para trabajar conjuntamente con otros semejantes o de diferente naturaleza.

OSI: El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos es un lineamiento funcional para tareas de comunicaciones y, por consiguiente, no especifica un estándar de comunicación para dichas tareas.

RDSI: red digital de servicios integrados (ISDN), es una tecnología digital la cual como una evolución de las redes actuales, que presta conexiones extremo a extremo a nivel digital y capaz de ofertar diferentes servicios. Se denominan servicios integrados porque utiliza la misma infraestructura para muchos servicios que tradicionalmente requerían interfaces distintas (télex, voz, conmutación de circuitos, conmutación de paquetes...); es digital porque se basa en la transmisión digital, integrando las señales analógicas mediante la transformación Analógico - Digital, ofreciendo una capacidad básica de comunicación de 64Kbps.

Roaming: es el termino usado cuando se amplia el servicio de conectividad de las unidades móviles de telefonía que viajan desde una área de servicio de donde se

contrato la cobertura hacia diferentes zonas fuera del área inicial del proveedor, el roaming ocurre cuando un suscriptor de un proveedor de telefonía celular usa las instalaciones de otro proveedor. Este segundo proveedor no tiene ninguna preexistencia directa financiera o el acuerdo de servicio con este suscriptor para enviar o recibir la información.

Shelter: es un recinto arquitectónico dentro del cual se almacenan e interactúan todos los componentes electrónicos que operan dentro las comunicaciones inalámbricas, usualmente este se coloca lo más cercano a las torres que soportan las antenas de transmisión y/o recepción.

SS7: sistema de señalización para empleo extenso entre centrales de control por programa almacenado, con velocidades de enlace de 64Kbps.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nathan Austeim, **“Radio Propagation in Cellular Networks”**, Artech House Publishers, Pags. 6-22.
- [2] Clint Smit, P.E., **“Practical Cellular & PCS Design”**, Mc Graw Hill-Telecommunications, 1.1-1.6.
- [3] Eugenio Rey, **“Telecomunicaciones móviles”**, Alfa Omega, Pags, 85-92.
- [4] Herrera Pérez Enrique, **“Señales, modulación y transmisión”**, 2004 Limusa. 149 -151.
- [5] David K. Cheng, **“Fundamentos de electromagnetismo para ingeniería”**, Pearson , 228-263.
- [6] Warren Hioki, **“Telecommunications Third Edition”**, Prentice Hall, 284-287
- [7] Robert G. Wimeh, **“Telecommunications transmission Systems”**, Mc Graw Hill, 135-136.
- [8] Vijay K. Garg, Joseph E. Wilkes, **“Principles & aplicaciones of GSM”**, Prentice Hall Communication Engineering and Emerging Technologies Series
- [9] Raymond Steele and Lajos Hanzo **“Mobile Radio Communications”**, Wiley
- [10] Redl, Siegmund M. **“An introduction to GSM”**
- [11] Bekkers, Rudi. **“Mobile telecommunications standards: GSM, UMTS, TETRA, and ERMES”**
- [12] Redl, Siegmund M. **“GSM and personal communications handbook”**
- [13] José Ma. Hernando, Manuel Montero, Fernando Pérez **“Ingeniería de Sistemas Trunking”**, Editorial Síntesis
- [14] Haykin. **“Sistemas de comunicación”**, Editoria Limusa

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- [13] <http://mecfunnet.faii.etstii.upm.es/difraccion/PolElipt.html>
 - [14] <http://www.angelfire.com/ult/celulares/servicios.htm>
-