



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

UNIDAD “ZACATENCO”

**PROPUESTA DE COBERTURA EN EL POBLADO DE
VILA HIDALGO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ
PARA MEJORAR LA COMUNICACIÓN EN LA ZONA
CON UN SISTEMA DE SEGUNDA GENERACIÓN.**

TESINA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTA

**CORTES VELAZQUEZ ALBERTO
ROSILLO FERNANDEZ MONICA
SUAREZ ARAGON GABRIEL ALEJANDRO**

ASESOR: M. en C. MIRIAM CUEVAS LEON



Ciudad de México, 16 de Marzo de 2018.

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

REPORTE TÉCNICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN SEMINARIO DE TITULACIÓN No. DE REGISTRO
DES/ESIME-ZAC/02.2016-02.2018/548/17/17
DEBERA (N) DESARROLLAR C. ALBERTO CORTES VELAZQUEZ
C. MONICA ROSILLO FERNANDEZ
C. GABRIEL ALEJANDRO SUAREZ ARAGON

“PROPUESTA DE COBERTURA EN EL POBLADO DE VILLA HIDALGO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ PARA MEJORAR LA COMUNICACIÓN EN LA ZONA CON UN SISTEMA DE SEGUNDA GENERACIÓN”.

PROPONER LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA ESTACIÓN TRANSRECEPTORA CON TECNOLOGÍA GSM QUE INCREMENTE LAS ALTERNATIVAS DE COMUNICACIÓN AL ÁREA DE VILLA HIDALGO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ.

- ❖ HISTORÍA Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA CELULAR
- ❖ PROYECCIÓN Y ALCANCES PARA UNA RADIOBASE
- ❖ SELECCIÓN DEL HARDWARE
- ❖ ANÁLISIS Y CÁLCULO DE COBERTURA

CIUDAD DE MÉXICO, A 16 DE MARZO DEL 2018.

ASESOR


M. EN C. MIRIAM CUEVAS LEÓN


DEPARTAMENTO
DR. SALVADOR RICARDO MENESES GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Autorización de uso de obra.

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad los que suscribimos, **CORTES VELAZQUEZ ALBERTO, ROSILLO FERNANDEZ MONICA, SUAREZ ARAGON GABRIEL ALEJANDRO**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“PROPUESTA DE COBERTURA EN EL POBLADO DE VILA HIDALGO EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ PARA MEJORAR LA COMUNICACIÓN EN LA ZONA CON UN SISTEMA DE SEGUNDA GENERACIÓN”**, en adelante **“La Tesis”** y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **EL IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales, con dos discos para consulta, como aportación del desarrollo del proyecto a **“La tesis”** por el periodo del **16 de Abril de 2018 al 16 de Abril del 2019**.

En virtud de lo anterior, **EL IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La tesis”**.

Adicionalmente, y en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **“La tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de **“La tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **EL IPN** en caso de que el contenido de **“La tesis”** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

México, Ciudad de México a 16 de abril de 2018

Atentamente

CORTES VELAZQUEZ ALBERTO

ROSILO FERNANDEZ MONICA

**SUAREZ ARAGON
GABRIEL ALEJANDRO**

INDICE

OBJETIVO	1
JUSTIFICACIÓN	1
INTRODUCCION	2
Capítulo 1. Historia y características del sistema celular	4
1.1 Historia de la telefonía móvil	4
1.2 Evolución de la telefonía celular	6
1.2.1 Primera generación	6
1.2.2 Segunda generación	7
1.2.3 Generación 2.5	8
1.2.4 Tercera generación	8
1.2.5 Cuarta generación	8
1.3 Conceptos básicos de la primera generación de la telefonía móvil	9
1.3.1 Celda	9
1.3.2 Canal	10
1.3.3 Duplexado	11
1.3.4 Asignación de frecuencias	12
1.3.5 Esquema de reuso de frecuencias	13
1.3.6 Hand Off	13
1.3.7 Características radioeléctricas	16
1.4 Funcionamiento del sistema celular	17
1.4.1 Elementos del sistema	17
1.4.2 Establecimiento de una llamada	18
1.5 Elementos básicos de un sistema celular	19
1.6 La segunda generación	22
1.7 Características radioeléctricas y frecuencias asignadas para GSM	24
1.8 Elementos del sistema y sus funciones	25
1.8.1 Niveles de comunicación de GSM	26
1.9 Canales lógicos de GSM	27
1.10 Funcionamiento del sistema (establecer una llamada)	27
Capítulo 2. Proyección y alcances para una radio base	30
2.1 Planeación	30
2.2 Justificación del proyecto	32

2.3	Zona de servicio.....	32
2.4	Lectura de terreno.....	35
2.5	Sectorización.....	38
2.5.1	Ubicación de BTS.....	39
2.5.2	Características de un sector.....	40
2.5.3	Especificaciones de cada sector.....	42
2.6	Análisis de población.....	45
2.6.1	Análisis de la población de Villa Hidalgo (San Luis Potosí).....	45
2.7	Asignación de frecuencias.....	48
2.8	Visita de sitio.....	51
Capítulo 3. Selección del hardware		53
3.1	Introducción.....	53
3.2	Elementos generales de una torre de telecomunicaciones	53
3.2.1	Selección de proveedor y Ficha Técnica.....	57
3.3	Antenas.....	59
3.3.1	Patrón de radiación y ganancia.....	60
3.3.2	Impedancia.....	61
3.3.3	Ancho del lóbulo.....	62
3.3.4	Tilt y Azimuth.....	62
3.3.5	Polarización.....	64
3.3.6	Diversidad.....	64
3.3.7	Propuesta de antena.....	65
3.4	Elementos de una Radio Base	66
3.4.1	Definición de celda para radio cobertura en Villa Hidalgo.....	69
3.4.2	Elementos de una Radio Base para tecnología GSM	71
3.4.3	Ficha Técnica.....	74
3.5	Selección de medio de transmisión (Feeder).....	75
3.6	Selección de duplexor.....	77
Capítulo 4. Análisis y cálculo de cobertura.....		78
4.1	Tráfico.....	78
4.1.1	Intensidad de tráfico	79
4.1.2	Teoría de Erlang B	80
4.1.3	Grado de Servicio (GoS).....	83

4.2	Dimensionamiento de canales	83
4.3	Modelos de Espacio Libre.....	85
4.3.1	Modelo COST 231 (Extensión del modelo Hata).....	87
4.4	Cálculo de enlace	87
4.4.1	Cálculo de potencias en enlace de bajada	88
4.4.2	Cálculo de potencias en enlace de subida.....	94
4.5	Conclusiones	104
ANEXOS.....		105
Anexo A. Especificaciones técnicas de antena propuesta KATHREIN.....		105
Anexo B. Especificaciones técnicas de radio base propuesta Ericsson 2106.....		106
Anexo C. Especificaciones técnicas del medio de transmisión guía de onda (Feeder).		108
Anexo D. Especificaciones técnicas del duplexor o combinador de señales		110
INDICE DE FIGURAS.....		111
BIBLIOGRAFIA.....		112

OBJETIVO

Proponer las características de una estación transreceptora con tecnología GSM que incremente las alternativas de comunicación al área de Villa Hidalgo en el Estado de San Luis Potosí.

JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la sociedad en general ha evolucionado de una manera impresionante, según los últimos censos de población registrados, la sociedad específicamente en nuestro país está pasando por un momento acelerado de población en donde los jóvenes y adolescentes son los que predominan dentro de las estadísticas. Hoy en día la demanda de los jóvenes entre la telefonía celular y la comunicación entre ellos es primordial entre el día a día.

En ciertas zonas, la infraestructura y la escasez de comunicación es común debido a que es proporcional con el aumento y expansión de territorio, por lo que la demanda de utilización de comunidades lejanas es considerable entre las operadoras del país.

La propuesta que se pretende ejecutar es precisamente expandir ésta parte de la comunicación entre los jóvenes que no sólo es demandante por la utilización actual de las redes sociales y los nuevos equipos telefónicos que las grandes compañías fabrican con el objetivo de atrapar al usuario, sino también, hoy en día ya se hace una necesidad para incluso cualquier emergencia las cuales siempre pasamos a lo largo de nuestra vida y probablemente una carrera escolar.

INTRODUCCION

Es comúnmente aceptado el hecho que las tecnologías de información en redes móviles han cambiado la forma de como las compañías se mantienen comunicadas con sus clientes, socios de negocios, empleados y proveedores. Inicialmente las compañías eran conservadoras con la información, pero recientemente trasladando la situación actual en México, las reformas de telecomunicaciones han transformado la forma de compartir y vender el acceso de las redes móviles a todos nosotros los usuarios por medio de un equipo celular comúnmente usados hoy en día ya desde temprana edad para su manipulación de forma acelerada. Cada año se tienen mejoras en las tecnologías de la red existentes y propuestas para nuevas formas de comunicación, por lo cual los equipos de los proveedores de los operadores evolucionan también para obtener mejores opciones de operatividad, sin embargo, no es proporcional a los recursos empleados para su correcto funcionamiento a nivel administrativo ya que los costos de los equipos nuevos cada vez se elevan por tener mejoras en rendimiento.

Recientemente, con el auge que han tenido los datos y la creciente forma de comunicación entre los usuarios, también la demanda del costo para que sea cada vez menor en nuestra sociedad que se tiene que pagar para acceder a esta gran red y con el significado que esta ha adquirido como uno de los principales medios mundiales de comunicación, las redes móviles han hecho su aparición con más fuerza que nunca y se han ganado un espacio dentro del tan cambiante mundo de las redes de información.

Tradicionalmente, el uso de la tecnología de segunda generación (GSM) es la más común y redituable entre los operadores existentes debido a su bajo costo y gran cobertura mundial. Se pretende usar dicha tecnología para las propuestas de radio cobertura en una zona específica del estado de San Luis Potosí con el fin de mejorar la comunicación en zonas con escasos recursos.

Dado que GSM tiene operando desde los años 1990, nos resulta óptimo utilizar como referencia dicha red ya que la infraestructura cubre la mayor parte de las zonas del país y es la que opera con mayor confiabilidad en cuestión de tráfico de voz para costos y recursos

en lo que va de la historia, ya que para el tráfico de datos de alta capacidad que no es el caso en las propuestas, los recursos cambian abruptamente.

Capítulo 1. Historia y características del sistema celular

1.1 Historia de la telefonía móvil

“Sr. Watson, venga, lo necesito” estas fueron las palabras que abrieron paso a la carrera de la comunicación a distancia con el teléfono que construyó Alexander Graham Bell junto a su ayudante Thomas Watson, cuyo principio es transformar el sonido en impulsos eléctricos y viceversa, patentada el 14 de Febrero de 1876.

Alexander Graham Bell se dedicaba al estudio del sonido y en el intento de querer mejorar el telégrafo, en telégrafo armónico para hacerlo más eficiente, realizó varios intentos y durante uno de los experimentos, Bell que trabajaba en el receptor, escucho un sonido del otro lado del teléfono donde Watson se encontraba haciendo pruebas con el transmisor abriendo y cerrando el bucle de corriente lo que provocó que vibrara y provocara corriente ondulada.

9 de julio de 1877 junto con patrocinadores financieros se crea la compañía *Bell System Service*, por otro lado, Western unión le compra su diseño a Elisha Gray con un teléfono hecho con un micrófono de carbón que mejoraba la calidad del sonido a su vez Tomas Alba Edison funda “*American Speaking Telephone Company*”.

Cuando la telefonía se empezó a popularizar las llamadas eran orientadas manualmente por operadores que conectaban las líneas, por lo que en Enero de 1878 *Bell System Service* pone en funcionamiento la primera central telefónica en New Haven, Connecticut, al siguiente mes *American Speaking Telephone Company* en San Francisco pone su central telefónica.

Tras ganar una demanda que le interpuso Alexander Graham Bell a Western Union en noviembre de 1879, esta le entrega los derechos de sus patentes telefónicas junto con los teléfonos que hasta el momento tenía instalados por el 20% de sus ingresos por el arriendo de los teléfonos durante 17 años.

En 1885 construye una subsidiaria AT&T (*American Telephone & Telegraph*) para gestionar la red de larga distancia de las *Bell System Service* locales, al terminar las patentes

de Bell que expiraron durante 1893 y 1894 muchas compañías de teléfonos independientes surgieron y AT&T comenzó a absorber algunas de ellas.

A pesar de que ya había centrales telefónicas locales que conectaran poblados cercanos había la necesidad de ir más allá, es decir conectar a un país, AT&T se encargó de conectar New York con Filadelfia en 1885 y 7 años más tarde se podían comunicarse a más distancia.

Cuando los abonados que realizaban sus llamadas, estas tenían que llevar un proceso en el que las operadoras enlazaban su llamadas y decidían si era larga distancia o no, pero este proceso en ocasiones causaba conflicto al orientar la llamada a otros lugares hasta que en 1891 Almon B. Strowger patentó sistema de conmutación automático mejor conocido como conmutador paso a paso, un abonado podía apretar un número tantas veces como el número que el abonado quisiera comunicarse y la llamada se conectaba automáticamente en la central, aunque había un problema solo funcionaba en las centrales locales a lo que los ingenieros de Bell mejoraron.

Basándose en los estudios de Heinrich Rudolph Hertz en 1895 Guglielmo Marconi logró transmitir señales un par de kilómetros, trabajó hasta que logró en 1901 una transmisión inalámbrica a través del Océano Atlántico: de Polhu en Cornualles, Inglaterra, hasta San Juan de Terranova, Canadá.

En 1927 los ingenieros de AT&T utilizaron ondas de radio para la primera llamada trasatlántica.

En 1946 en St. Missouri, comenzó a comercializarse el primer Sistema telefónico móvil, ya que la FCC otorgó a AT&T 6 canales de 60 KHz en el rango de frecuencias de 150MHz.

Los sistemas públicos de radiocomunicaciones móviles tuvieron lugar después de la segunda guerra mundial, y con la invención del transistor en el año 1947.

1954 Ericsson desarrollo un teléfono que estaba integrado al automóvil su fuente de alimentación era la batería del carro.

En 1973 la telefonía dio un gran paso hacia su evolución con la invención del primer teléfono inalámbrico el *DynaTac* creado por Motorola.

1.2 Evolución de la telefonía celular

Con la necesidad de dar mejores servicios a los suscriptores que iban en aumento, la telefonía alámbrica no era suficiente por lo que se fueron desarrollando servicios que hasta nuestros días han funcionado, pero han tenido que evolucionar para brindar un mejor servicio.

1.2.1 Primera generación

La generación (1G) tuvo su auge en el año 1979, su característica principal es la transmisión de voz solamente, opera en la banda de 450 MHz – 900 MHz. Está basado en la comunicación analógica y utiliza los sistemas IMTS, TACS, AMPS y NMT.

IMTS (Sistema Mejorado de Telefonía Móvil) Su banda de operación es de 150 MHz a 450 MHz con una cobertura abarcaba 100 km, su forma de transmisión era *half dúplex*, para establecer una llamada los abonados tenían que esperar ya que este sistema contaba con 23 canales, pero no eran suficientes.

AMPS (Sistema avanzado de telefonía móvil) debido a que las frecuencias eran escasas para comunicar a los abonados los laboratorios Bell crearon este sistema e implementaron en Estados Unidos en 1982, introduce el término de célula ya que a diferencia de IMTS la célula tenía un alcance de 10 a 20 km y se comenzó a reutilizar frecuencias como se muestra en la figura. 1-1, en el punto 1.3 se hablará con más detalle.

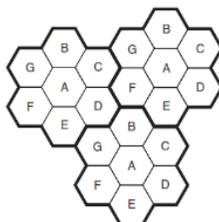


Figura. 1-1. Células y reutilización de frecuencia en el sistema.

- **TACS** (Sistema de comunicaciones de acceso total) el sistema AMPS fue adaptado a los requisitos del Reino Unido en 1985, trabaja en la banda de 900 MHz.

- **NMT** (Teléfono Móvil Nórdico) Se desarrolló en los países Nórdicos con el fin de mantener a los usuarios comunicados en otros países (*roaming*) como se puede visualizar en la figura. 1-2 trabaja en la banda de 450 MHz.



Figura. 1-2. Roaming.

1.2.2 Segunda generación

La transición de comunicación analógica a digital aparece en 1990, con la generación 2G es capaz de transmitir ya no solo voz sino mensajes de texto cortos (SMS), fax y correo electrónico, opera en la banda de 900 MHz – 1800 MHz. Se basa en las tecnologías GSM, IS-136, iDEN e IS-95.

GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) implementada en 1991, fue una iniciativa paneuropea con la que se pretendía unificar las comunicaciones, se trata de una transmisión digital, por lo que la voz tiene que pasar un proceso de conversión de analógico-digital. Utiliza la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

IS-136 (D-AMPS Sistema Digital avanzado de telefonía móvil) fue implementado a finales de 1991, además de utilizar tanto la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) como Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).

iDEN (Red Digital Mejorada Integrada) Fue desarrollado por Motorola en 1994 combina las características del radio de dos vías PTT (*Push to Talk*) acceso telefónico y mensajes cortos, brinda seguridad al codificar la voz.

1.2.3 Generación 2.5

Durante la transición de la generación 2G a 3G, se incorporaron mejoras para mensajes con las tecnologías EDGE y GPRS.

EDGE (Tasas de datos mejoradas para la evolución global) ofrece una velocidad de 384 Kbps para aplicaciones de datos tanto de conmutación de circuitos como en conmutación de paquetes permitiendo recibir archivos pesados por ejemplo navegar en páginas Web complejas, es compatible con GPRS.

GPRS (Servicio General de Radio por Paquetes) permite trabajar simultáneamente varios canales con la conmutación de paquetes proporciona el servicio de MMS (Sistema de Mensajería Multimedia) que contienen imágenes y video, trabaja con una velocidad de 56Kbps-114Kbps.

1.2.4 Tercera generación

Fue desarrollado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) Permite a los usuarios disfrutar en tiempo real voz y video con velocidades hasta de 7.2 Mbps su principal propósito es proveer suficiente ancho de banda inalámbrico, trabaja con los estándares UMTS y CDMA2000.

UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) se encuentra implementado en Europa y Japón, utiliza la tecnología CDMA de banda ancha, su velocidad va desde 144 Kbps para vehículos a gran velocidad hasta 2 Mbps para terminales en interiores, se basa en GSM y GPRS.

CDMA2000 maneja una velocidad de 2.4 Mbps – 3.09 Mbps con un ancho de banda de 1.25 MHz, es una versión de la tecnología CDMA (acceso múltiple por división de códigos) fue implementado por SK Telecom en 2002.

1.2.5 Cuarta generación

Esta tecnología trabaja con velocidades de bajada de 100 Mbps lo que permite menor latencia, utiliza la técnica OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal)

junto con MIMO (Múltiples entradas de múltiples salidas), el objetivo principal de esta generación es que todas las personas puedan disfrutar de todos los servicios de internet sin interrupción. Las tecnologías que se ubican en la cuarta generación son LTE y WIMAX, ambas tecnologías son similares ya que tienen el mismo objetivo y sus características son las antes mencionadas.

1.3 Conceptos básicos de la primera generación de la telefonía móvil

Para comprender el funcionamiento y operatividad de un sistema complejo como el del procesamiento de señales sobre enlaces inalámbricos (telefonía móvil) es necesario conocer ciertos aspectos específicos del sistema, analizar su funcionamiento y clarificar los conceptos utilizados

Todas las definiciones importantes sobre el sistema celular se mencionarán en éste capítulo para comprender su correcta operación.

1.3.1 Celda

Dentro de las telecomunicaciones y enlaces inalámbricos la definición de celda se considera como el lugar específico en dónde se concentra la mayor parte de la potencia de la señal específica para cualquier tecnología. En primera generación la red de celdas o “celda”, es el concepto básico para la radio cobertura de un área geográfica específica mediante una red entre ellas para ampliar su alcance de comunicación.

En la primera generación se utilizaban pocas celdas porque abarcaban una gran cantidad de cobertura, se utilizaba una estación base con mucha potencia y pocas celdas para transmitir y recibir señales de voz, después conforme va creciendo la densidad de tráfico en la red se pueden expandir en más celdas dentro de la misma zona, como se muestra en la figura. 1-3. Las celdas son primordiales para establecer la comunicación ya que cada una de ellas tiene

un código identificador en cada estación radio base (BTS) y con esto todos los usuarios tienen la posibilidad de identificarse con códigos únicos dentro de la red celular.

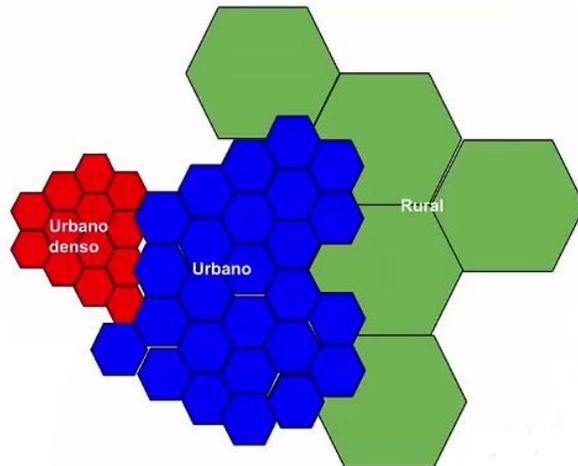


Figura. 1-3. Conjunto de las celdas distribuidas por densidad de tráfico.

1.3.2 Canal

Un canal de comunicaciones es denominado de dicha manera dado que es el conducto en el cuál la información va a fluir continuamente llevando a cabo el proceso de comunicación con un transmisor y un receptor, sin embargo, no necesariamente en todos los sistemas es posible transmitir y recibir información simultáneamente. El canal no necesariamente debe ser un medio físico de un cableado utilizando cobre, sino de igual manera, por medio de radiación generando un espectro radioeléctrico es un canal inalámbrico, como es la mayoría de casos en sistema móvil.

Existen dos clases de canales lógicos principalmente llamados canal de tráfico y canal de control.

- El canal de tráfico es aquel el que está únicamente denominado y exclusivamente para el intercambio de transporte de voz, esto entre uno y en la actualidad con el crecimiento de la tecnología sobre los equipos móviles, varios usuarios a la vez.
- El canal que tiene todo el manejo del tráfico de voz siempre tiene una reserva dentro de la transferencia de información para controlar y mantener la estabilidad en la comunicación. Dicho canal de control es esencial debido a que prácticamente guía y define por que canal de tráfico es posible intercambiar información.

1.3.3 Duplexado

El duplexado o término dúplex, mejor conocido en libros, es el modo de establecer y presentar la información de un extremo a otro y viceversa. En un sistema de comunicaciones inalámbrico el carácter de éste es bidireccional, sin embargo, en algunos otros sistemas no.

Hay tres maneras de identificar la manera de transmitir la información.

- **Simplex.** Desde los inicios, los sistemas de comunicaciones más comunes y medios de información utilizan éste tipo de intercambio de información para el público en general; un ejemplo de una transmisión simplex son las televisoras y las radiodifusoras las cuales sólo tienen una transmisión continua hacia receptores pasivos los cuáles pueden recibir o sintonizar una señal con una frecuencia en específico por medio de equipos electrónicos con antenas receptoras.
- **Half Duplex.** El sistema de comunicaciones en el cuál el emisor y receptor tiene que esperar a que alguna de las dos partes del sistema deje de transmitir para tomar el canal y hacerlo. Tal como los famosos “walkie talkie” en los años ochenta dónde se tuvo auge éste tipo de modo de intercambio de información.
- **Full Duplex.** Es el modo de transferencia de datos simultáneos en el cuál, por medio de un mismo canal de comunicaciones se puede transmitir y recibir información creando un intercambio o tráfico de voz y datos más óptimo y en tiempo real, sin embargo, es necesario para esto utilizar técnicas de duplexado en frecuencia y tiempo.

El duplexado es utilizado en transmisiones inalámbricas debido a que su funcionamiento es comúnmente conocido con técnicas de acceso. Esencialmente se utiliza para las transmisiones inalámbricas de alta capacidad como son los sistemas celulares, sin embargo, los ejemplos de éste tipo de comunicaciones están en la vida diaria tanto al escuchar la transmisión constante de la radio FM o AM como al ver televisión.

Dichas técnicas tienen el nombre de FDD (*Frequency Division Duplex*), duplexado por división de frecuencia por sus siglas, lo cual indica que por medio de frecuencias distintas, pero en un mismo instante de tiempo es posible transmitir y recibir información. Por el contrario, TDD (*Time Division Duplex*) duplexado por división de tiempo de sus siglas, es donde se puede emitir y recibir información a la vez por medio de la propagación sobre una sola frecuencia específica en distintos instantes de tiempo.

1.3.4 Asignación de frecuencias

Históricamente la banda de frecuencias en cuanto al espectro de radioeléctrico se refiere comenzó su auge en el año de 1947 cuando en Estados Unidos, en una de las tantas reuniones conocidas con el nombre de Conferencia Internacional de Radio, aprobaron las tablas de asignación de bandas frecuencias denominadas por la UIT (Unión Internacional de Comunicaciones) pocos años anteriores. Con el fin de regular el uso racional, eficaz y económicamente en cuanto a sistemas de radiocomunicaciones se refiere, ésto para el fin único de aperturar nuevas y mejores formas de comunicación para la sociedad en general.

Las frecuencias en México actualmente las cuales se tienen asignadas son las siguientes:

°Características generales de los operadores móviles en la República Mexicana°				
Operadores Móviles en México	Banda de frecuencia (2G/3G/4G)	Asignación de frecuencias (2G/3G/4G)	Porcentaje de usuarios en el mercado (%)	Logo / Marca
Telcel (Radiomóvil DIPSA S.A. de C.V.)	Banda 5, 2 / Banda 2 / Banda 4	850, 1900 Mhz / 1900 Mhz / 2100 Mhz	64%	
Movistar (Telefonica Data Mexico, S. de R.L. de C.V)	Banda 5, 2 / Banda 2 / Banda 4	850, 1900 Mhz / 1900 Mhz / 2100 Mhz	24%	
AT&T (Iusacell + Nextel) (AT&T Comunicaciones Digitales S. de R.L. de C.V)	Banda 5, 2 / Banda 2 / Banda 4	850, 1900 Mhz / 1900 Mhz / 2100 Mhz	12%	

1.3.5 Esquema de reuso de frecuencias

Los sistemas creados para las comunicaciones óptimas utilizan lo que es denominado como reuso de frecuencias como la manera de que cada canal asignado pueda ser reaperturado para otro usuario en la liberación del mismo cuando una llamada concluye e inmediatamente la estación controladora tiene la información que dicha frecuencia, en el rango de frecuencias asignado para la propagación de una señal de voz, es libre para establecer comunicación con el mismo proceso.

Existen tres esquemas de reuso de frecuencias que actualmente son los utilizados que son los esquemas 3/9, 4/12 y 7/24.

1.3.6 Hand Off

El término hand off se utiliza a medida de señalar cuando por medio del establecimiento de una llamada en curso, la señal de voz o la transferencia de datos no se pierde en la movilidad geográfica de usuario dado que cada (BTS) o lo que es mejor común RBS (Radio Base Station), tiene un código identificador en cada sector o celda para cada tecnología en cuestión y para todas las radio bases existentes operativas dentro del registro de la estación controladora.

- **GSM.** Para segunda generación e identificación de cada sector en una BTS, se le conoce como *Cell ID*, refiriéndose al código de identificación de cada celda en una

zona específica como se muestra en la figura. 1-4, que es una visualización desde el móvil y en tiempo real se observan los cambios de celdas.

- **UMTS.** En la tercera generación se conoce como PSC (*Primary Scrambling Code*). El cuál se puede incluso visualizar en los móviles.
- **LTE.** En cuarta generación se conoce como PCI (*Physical Cell Identity*), el cuál en todos los sitios nuevos ya operativos también se tiene su código de identificación por zonas geográficas y regiones. En la figura. 1-5 se muestra desde el móvil en tiempo real la celda anclada actual y sus hand off y al movilizarse en tiempo real se observan los cambios de celda comprobando el concepto de hand off.

El hand off tiene tres aspectos principales por lo cuáles puede aplicar dentro del transcurso y proceso de la llamada.

- **Baja potencia o nivel de señal.** Los sistemas actuales están diseñados para detectar todo el tiempo los niveles de potencia de señal de cada usuario en las distintas compañías operadoras, incluso en los móviles hay una manera de verlo en el modo de servicio, en el cuál todo el tiempo se puede ver la potencia en (dBm). Éstos sistemas al detectar bajo nivel de señal, automáticamente te cambia a una radiobase vecina para brindarte niveles y parámetros óptimos para que cumpla el estándar de calidad del servicio.
- **Ruido.** El ruido en una señal siempre está presente ya que es un factor a considerar incluso matemáticamente en los cálculos de una señal que no se descarta. Cuando la llamada presenta bastante ruido los sistemas operativos realizan un salto de celda para colocarte en una mejor posición la cual no afecte en la calidad de la voz. Los cambios de celda son imperceptibles ya que tiene un valor de la orden de milisegundos.
- **Interferencia.** Un factor no menos importante es cuando la señal tiene bloqueos con el relieve geográfico en dónde el usuario tiene una movilidad constante y es posible que la señal llegue a nulificarse. Para evitar esto es necesario que actúe el proceso de hand off y así saltar a una celda vecina que me brinde mejores o aceptables niveles de potencia para mantener constante la llamada.



Figura. 1-5. Cell ID de GSM visto en un móvil.

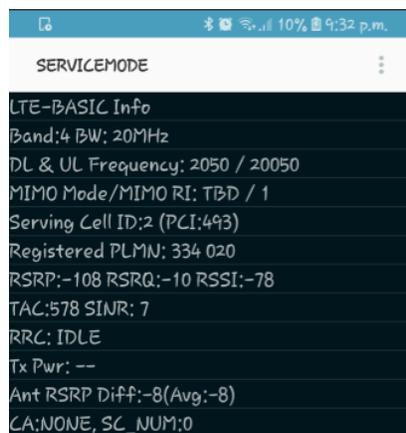


Figura. 1-4. (PCI)LTE visto en un móvil.

1.3.7 Características radioeléctricas

El espectro radioeléctrico es una parte muy importante para los sistemas o servicios de radiocomunicaciones e incluso cada país u organizaciones conformadas por grupo de países, esto debido a que son recursos limitados y se debe considerar ampliamente el uso coherente de dichos recursos con la finalidad de siempre beneficiar a la sociedad. Todo esto está regulado a nivel internacional por la Constitución de la UIT. En México, el espectro radioeléctrico que se tiene asignado se caracteriza por definir todos los sistemas de radiocomunicación en dónde la información será transmitida a una banda de frecuencia específica como se muestra en la figura. 1-6.

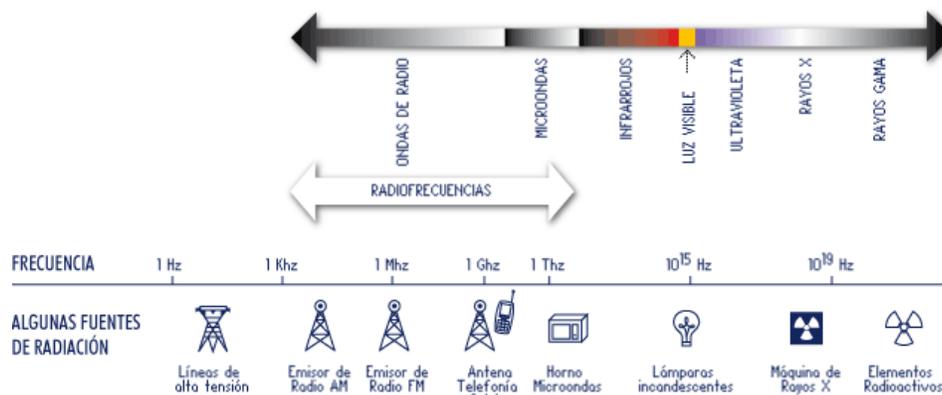


Figura. 1-6. Espectro radioeléctrico y aplicaciones.

Cómo se puede observar, el espectro radioeléctrico, para los sistemas de telefonía móvil rondan en el rango de los Giga hertz, sin embargo, en primera generación el espectro operaba entre 450 y 900 MHz sin rebasar la barrera de los sistemas actuales que actualmente utilizan frecuencias altas. Esto se ha podido comprobar con la evolución de la telefonía móvil y las tecnologías nuevas que cada cierto rango de años se va implementando y de los cuáles todos los usuarios somos partícipes dentro de la red. Éstas tecnologías utilizan mayor ancho de banda para su transmisión y recepción de información, por lo cual, su frecuencia de operación tiende a aumentar.

Las tecnologías actuales operan entre los 2 GHz, tal como LTE, el incremento de ancho de banda es necesario para la transmisión y recepción de datos a muy alta velocidad

dada la complejidad y velocidad de respuesta del sistema, incluso radio bases operando con una velocidad de transferencia hasta de 70 Mbps en hasta 60 ms si n usuarios conectados.

1.4 Funcionamiento del sistema celular

Un sistema de radiocomunicación está compuesto por bastantes elementos principales dentro del mismo, por lo cuál, es importante conocer cada uno de ellos y entender como es el proceso del mismo para establecer una comunicación desde un equipo móvil que también tiene elementos a destacar para poder propagar una señal, los cuales también haremos hincapié con sus características.

1.4.1 Elementos del sistema

- **MTSO.** Uno de los elementos principales de un sistema inalámbrico o celular es el de la *Mobile Telephone Switching Office*, (*MTSO*). El término realmente ha evolucionado con el paso del tiempo dependiendo los fabricantes y proveedores de operadores actuales. Se conoce comúnmente también como *MSC (Mobile Switching Central)*, que significa centro de conmutación móvil.

La función de éste elemento es una de las más importantes para el establecimiento de la llamada ya que controla el procesamiento de la misma. A conceptos de radiofrecuencia, la central es equivalente a la administración de la comunicación incluso interactuando principalmente con la red de telefonía pública conmutada, en dónde se tienen alojados los servicios en equipos de alta capacidad y ya cableados a un destino para su monitoreo.

- **HLR.** (*Home Location Register*). El registro de ubicación local es una base de datos que se tiene almacenada en la central que distribuye y administra el flujo y administración de llamadas. En él se puede encontrar todas las especificaciones técnicas del usuario en cuestión ya que cada número está asignado a una zona particular y a un servicio en particular (refiriendonos a servicios de los operadores) en dónde inicialmente fue registrado en la red y con ello siempre tener un monitoreo

del equipo en ella para su identificación y enrutamiento el tráfico de voz correctamente.

- **VLR.** (*Visitor Location Register*). Por otro lado, se tiene el registro de ubicación de visitante, que bien, esencialmente es el que te ubica dentro de otro segmento de red no correspondiente a la zona donde inicialmente el equipo operó y se dio de alta. Éste también es una base de datos alternativa que permanece en constante comunicación con el *HLR* para conocer el estatus actual de los servicios ofrecidos al usuario.
- **BTS.** El elemento más común en un sistema celular visualmente hablando es una estación base (*Base Transceiver Station*), también conocida como, estación radio base (*RBS, Radio Base Station*). Está compuesta por elementos físicos de transmisión y recepción de radio que comúnmente se situan en torres de comunicación, edificios, postes, espectaculares y todo aquello donde pueda estar a cierta altura para dar cobertura a una zona de usuarios específicos y son también conocidas coloquialmente como “sitios”. Los sitios son los primeros en hacer comunicación con un usuario y equipo móvil para establecer una llamada. Las *BTS* son comunes de ver en una ciudad a una distancia menor o en carreteras a largas distancias, esto porque la altura de los elementos cambian según la demanda de usuarios en la zona. La *BTS* siempre está conectado por algún medio de transmisión y recepción con la central o la *MTSO*, sin ello el tráfico o flujo de llamadas no sería posible.
- **MS.** (*Mobile Station*). Comúnmente conocido como equipo del usuario o estación móvil en los diagramas de flujo, es conocido coloquialmente como celular, móvil o simplemente teléfono. El equipo móvil es la interfaz que comunica con la estación base, cada equipo celular tiene un monitoreo constante con cada radiobase en cada ubicación geográfica con cualquier operador comercial.

1.4.2 Establecimiento de una llamada

El proceso de establecer una llamada no es en particular sencillo, en realidad éste proceso es constante pero el sistema lo logra hacer en un tiempo tan reducido que

usualmente es muy eficiente, sin embargo como antes se ha mencionado, se necesitan distintos elementos y depende de distintos factores importantes para llevar a cabo dicho proceso satisfactoriamente. A continuación, mostraremos el procedimiento de una llamada común dentro del sistema.

- **Registro del móvil.** El equipo móvil siempre está monitoreado por la red. Al encender el equipo, se hace un escaneo automático de los niveles de potencia, parámetros y ubicación dentro de la red con la BTS más cercana. Una vez que el teléfono tenga identificados por medio de la BTS las celdas correspondientes a la zona geográfica, el equipo resguarda un estado de transmisión y recepción de llamadas.
- **Recepción de llamada.** Cuando el móvil está recibiendo una llamada la central escanea los parámetros del registro del móvil identificando en la celda en la que se encuentra operando dentro de la BTS comparando con todas las existentes controladas por esa central, entonces al hacer la comparación notifica que está validamente identificado para que pueda asignar un canal de voz sobre las frecuencias disponibles y asignarlas para comenzar el tráfico de voz con el destinatario por medio de un *ring back* o tono de respuesta.
- **Tranmisión de llamada.** Cuando por medio del equipo móvil se desea realizar una llamada a través de una marcación válida a un destinatario, la estación base que tiene el registro del móvil envía la petición a la central, la central corrobora a su vez por medio de procesos internos de identificación como el HLR o VLR, le notifica a la estación base que es posible asignar un canal de voz y ésta misma lo asigna con frecuencias específicas disponibles avisando al destinatario la petición y posterior el establecimiento de la llamada si éste acepta.

1.5 Elementos básicos de un sistema celular

Con la demanda de los teléfonos celulares los laboratorios Bell en 1982, crean el sistema AMPS de banda estrecha, este sistema introduce el término “celular”, debido a su estructura que se explicara con más detalle en el tema 1.4, su espectro asignado es de 800

MHz, con un ancho de banda de 40 MHz, cuenta con 666 canales con una separación de 30 KHz, de los 666 canales se dividen en 333 canales de subida haciendo referencia que va del móvil a la estación base y 333 canales de bajada refiriéndonos de la estación base al móvil, cuenta con una banda de guarda de 45 MHz que sirve para no se interfieran los canales.

La forma de operación es de forma full dúplex para que se pudiera hablar y escuchar simultáneamente como se muestra en la figura. 1-7.

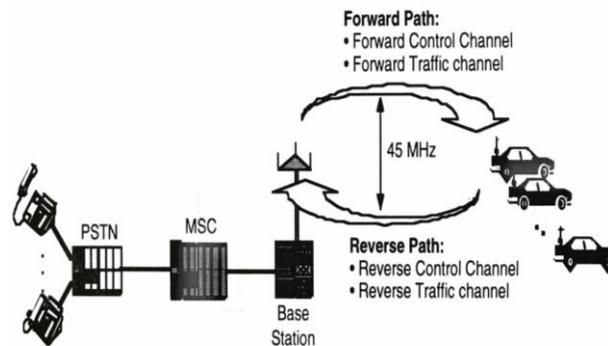
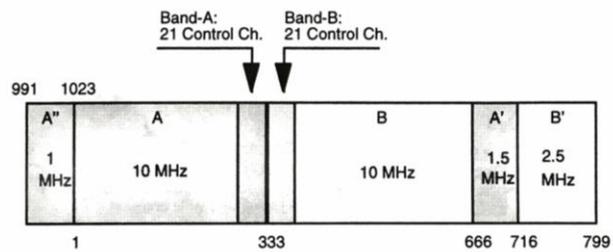


Figura. 1-7. Forma de operación Full dúplex AMPS.

Su banda de frecuencia se divide en dos bandas A y B como se muestra en la figura.1-8, la Banda B ocupa 12.5 MHz de los 10 MHz que está en el espectro no expandido y 2.5 MHz del espectro expandido, 333 canales por banda de espectro no extendido y 83 canales adicionales en cada banda.

Figura. 1-8. Diagrama de las bandas A y B de AMPS.

System	Type	BW (MHz)	Number of Channels
A''	ES	1	33
A	NES	10	333
B	NES	10	333
A'	ES	1.5	50
B'	ES	2.5	83



A = Band-A, Non-Expanded Spectrum
A' = Band-A Expanded Spectrum
A'' = Band-A, Expanded Spectrum
B = Band-B, Non-Expanded Spectrum
B' = Band-B, Expanded Spectrum

Cuenta con 21 canales de control y 395 canales dedicados para la voz, los canales de control son los encargados de asignar el par de frecuencias que utilizara el usuario para que pueda procesar su llamada.

El procesamiento de llamadas en el sistema AMPS se describe a continuación:

- **Llamada de estación base a móvil:** El teléfono celular continuamente envía intensidades a la estación base más cercana a la que esté ubicado, a su vez la estación base envía la información del usuario a la *MSC (Mobile Switching Central)*, que significa centro de conmutación móvil donde procesa los datos del telefono celular como la informacion de facturación, si es prepago o plan, todo lo anterior puede suceder cuando el telefono este inactivo.
- **Llamada de móvil a estación base:** Cuando el usuario desea realizar una llamada, enciende el móvil y este a su vez escanea los 21 canales de control hasta que la estación base más cercana le asigne un canal.
- **Llamada de móvil a móvil:** En este punto el teléfono celular ya tiene asignado un canal, el usuario digita el numero con el que desea comunicarse, la estación base envía la información a la *MSC (Mobile Switching Central)*, y este busca la estación base cercana del numero marcado, el cual envia un mensaje de búsqueda y

responde por el canal de control inverso, cuando ambos telefonos celulares reconocen su respectiva frecuencia del canal inverso se sintonizan y pueden comenzar con su conversación.

- **Hand-off:** Durante la llamada si alguno de los que está sosteniendo una llamada se encuentra en movimiento puede cambiar de una célula a otra, en esta transición la intensidad que recibe la estación base disminuye el móvil automáticamente la *MSC (Mobile Switching Central)*, busca alguna estación base adyacente que recibe la intensidad ideal para realizar el cambio, se proporciona un nuevo canal y se resintoniza para que no se pierda la llamada, cuando ocurre este cambio momentaneamente la modulación cambia de *FM (modulated frequency)* a *FSK (Frecuence Shift Key)*.

1.6 La segunda generación

Si se tiene que hablar de un sistema digital inalámbrico conocido mundialmente y que, de hecho, es el más utilizado alrededor de la extensión geográfica del planeta es el sistema de segunda generación GSM (*Global System for Mobile Communications*). Creado en 1982 por un grupo único en su tipo en su siglo dónde los científicos abundaban pero la situación social pasaba por un proceso inconformidad política, el *Groupe Spéciale Mobile* creó el sistema de segunda generación como una tecnología digital con métodos de transmisión como *TDMA (Time Division Multiple Access)*, acceso múltiple por división de tiempo que consiste en la modulación de un canal de alta capacidad comúnmente, con el objetivo de beneficiar al usuario con una mejora en la calidad del tráfico de voz y la comunicación internacional por medio de un nuevo concepto *roaming*. El sistema como tal en nuestro país comenzó a funcionar a mediados de la década de los 90's con la frecuencia de 850 Mhz cuando en Europa ya estaba funcionando desde 1991 con la frecuencia de 900 y 1800 Mhz e iniciaron las derivaciones del sistema como el DCS 1800, que es el sistema digital celular 1800 y el PCS 1900 en USA. GSM fue conocido en el mundo por el método

de acceso por división de tiempo, pero se utilizaban distintas denominaciones, entre ellas está PDC conocida en Japón, iDEN e IS-136 en USA y IS-95A y B en el resto del continente asiático.

El sistema tiene normas específicas que debe de cumplir ya que su diseño específicamente fue para optimizar la comunicación entre usuarios, pero primeramente cumplía con especificaciones detalladas para la operatividad. Entre ellas está descrito que deben existir éstas interfaces por donde fluye el intercambio de información como aquella que tiene comunicación directa entre la estación base y la central ya que sin ésta no es posible establecer una llamada y administrar el tráfico de la misma; también los protocolos que utilizan y los aspectos de la red que se involucran.

A medida que GSM fue implementándose y expandiéndose también comenzaron a nacer nuevos servicios que atrapan al usuario, comenzaron a nacer la transferencia de datos y con ello, los mensajes multimedia para renovar los funcionamientos desde el inicio. Al inicio de su funcionamiento en 1991 la velocidad de transferencia en sus primeras pruebas era de 14.4 kps sin embargo se mantuvo como estándar la velocidad de 64 kbps.

Para los años posteriores se presentaron mejoras y evolución importante sobre la misma infraestructura y se les comenzaron a denominar con ciertos nombres específicos naciendo así la generación 2.5.

- **GPRS.** (*General Packet Radio Services*), mejor conocido como GPRS es la primer evolución desde el nacimiento de ésta generación, se comienza a implementar entre los años de 1993 y 1995. El rango de datos para la transmisión y recepción de datos aumentó a 115 kbps.
- **EDGE.** (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). Como su nombre lo dice ésta denominación significa tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM implementada en 2003 en USA. La velocidad de transferencia subió proporcionalmente a 384 kbps.

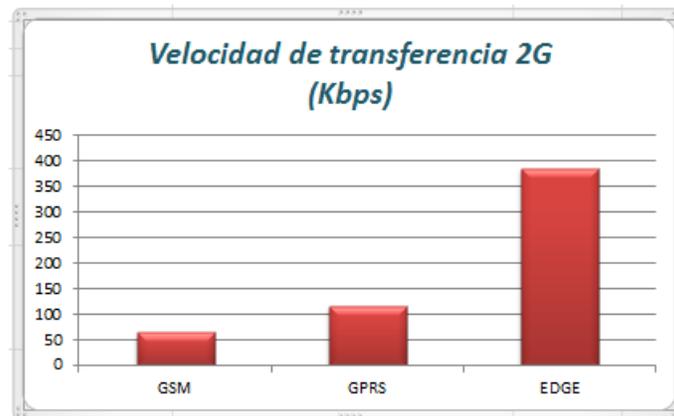


Figura. 1-9. Evolución de velocidad de transferencia en segunda generación.

1.7 Características radioeléctricas y frecuencias asignadas para GSM

Sistema global de comunicaciones móviles es la traducción de sus siglas en Ingles, este sistema celular sirve para la transmisión digital de voz y datos.

Comúnmente conocido por enviar y recibir archivos, mensajes cortos (SMS), y acceder a servicios en línea y a Internet. Puede efectuar estas transferencias de datos desde cualquier lugar dentro el área de cobertura.

El sistema GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio gracias a una técnica llamada multiplexado por división de tiempo (TDM), además puede utilizarse en bandas de frecuencia, entre ellas las de 850, 900, 1800 y 1900 MHz.

En México cada operador tiene asignada una banda de frecuencias para ofrecer el servicio GSM (alrededor de los 900/1800 Mhz) con una separación de 20 KHz entre las portadoras.

En términos generales, a mayor frecuencia, menor es la longitud de las antenas necesarias para transmitir y/o recibir señales electromagnéticas; es por ello por lo que las antenas GSM existentes en el mercado tienen unas longitudes mayores que las necesarias para operar en frecuencias DCS (1.800 Mhz), y UMTS (2 Ghz.).

Gracias a que GSM utiliza multiplexado por división de tiempo (TDM), mediante la cual un canal se divide en seis ranuras de tiempo para la transmisión, tenemos que a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás.

Existen 3 modalidades del sistema GSM:

- **GSM 900.**- Con un ancho de banda de 25MHz para los sentidos de transmisión y una separación entre portadoras de 0.2 MHz brinda un total de 124 portadoras.
- **GSM 1800.**- Con un ancho de banda de 75MHz para los sentidos de transmisión y una separación entre portadoras de 0.2 MHz brinda un total de 374 portadoras.
- **GSM 1900.**- Con un ancho de banda de 60 MHz para los sentidos de transmisión y una separación entre portadoras de 0.2 MHz brinda un total de 4 portadoras.

1.8 Elementos del sistema y sus funciones

La arquitectura GSM consta de varios subsistemas:

Estación Móvil: Se trata de teléfonos digitales que pueden ir integrados como terminales en vehículos, pueden ser portables e incluso portátiles. Un dispositivo SIM (*Subscriber Identify Module*) que es básicamente la típica tarjeta que proporciona la información de servicios e identificación en la Red,

Subsistema de Estación (BSS): Es una colección de dispositivos que soportan la interface de radio de redes de conmutación. Los principales componentes del BSS son:

- **Estación Tranceptora de Base (BTS)** - Consta de los transmisores y receptores de radio así como el equipo de antenas.
- **Controlador (BSC)** - Gestiona las operaciones de radio de varias BTS y conecta a un único NSS (*Network and Switching Sub-System*)

Subsistema de Conmutación y Red (NSS): Proporciona la conmutación entre el subsistema GSM y las redes externas (PSTN, PDN...) junto con las bases de datos utilizadas para la gestión adicional de la movilidad y de los usuarios. Los componentes son:

- Centro de conmutación de Servicios Móviles (*MSC*).
- Registros de Localización Doméstico y de Visitas (*HLR - VLR*)
- Las bases de datos de HLR y VLR se interconectan utilizando la Red de Control SS7.
- Subsistema de Operaciones (*OSS*) - Responsable del mantenimiento y operación de la Red, de la gestión de los equipos móviles y de la gestión, así como del cobro de cuota.

1.8.1 Niveles de comunicación de GSM

GSM necesita la utilización de varios protocolos para poder controlar las llamadas, transferir información y proporcionar gestión global del sistema. Desde la MS existen 4 niveles para la comunicación:

- Interface RF (*Radio Frequency*) a la BTS.
- Nivel de gestión de Recursos de Radio (RR) al BSC.
- Gestión de la movilidad (MM).
- Gestión de las comunicaciones (CM) al registro VLR del MSC.
- El de transmisión entre la MS y la BTS es el único componente que es exclusivo a las redes celulares GSM, modificado para funcionar sobre diferentes frecuencias en el caso de PCS y reemplazado totalmente en el caso de sistemas de comunicación por satélite. La interface entre la MS y la BTS consta de un canal TDMA de salto de frecuencia que se divide en varios subcanales, algunos se utilizan para la transmisión de información del usuario y el resto los utilizan los protocolos de control convenidos. Para incrementar la vida de la batería y reducir la interferencia entre estaciones, los transmisores de la MS y de la BTS adaptan automáticamente su potencia de transmisión.

1.9 Canales lógicos de GSM

En GSM se utilizan comúnmente 9 canales en el interfaz aéreo que son:

- **FCCH** - Información de Frecuencias.
- **SCH** - Sigue a la ráfaga FCCH, proporciona una referencia para todas las ranuras de una frecuencia dada.
- **PAGCH** - Transmisión de Información de paginación que se pide en el establecimiento de una llamada a una estación móvil (MS).
- **RACH** - Canal no limitado utilizado por la MS para pedir conexiones desde la red terrestre.
- **CBCH** - Transmisión no frecuente de difusiones.
- **BCCH** - Información de estado de acceso a la MS.
- **FACCH** - Control de los "*Handovers*" (Paso de un usuario móvil de una célula a otra).
- **TCH/F** - Para voz a 13 Kbps o datos a 12, 6 o 3,6 Kbps.
- **TCH/H** - Para voz a 7 Kbps o datos a 6 o 3,6 Kbps.

El salto lento de frecuencias se utiliza en los canales de tráfico que están centrados a intervalos de 200 KHz entre 890 y 915 MHz y 935 y 960 MHz. Utilizando el salto de frecuencias lento, se obtiene una diversidad de frecuencias que mejora la calidad de la señal global. Cada ráfaga de transmisión se completa antes de conmutar las frecuencias.

Por último, el Canal de tráfico (*Traffic Channels*, TCH): albergan las llamadas en proceso que soporta la estación base.

1.10 Funcionamiento del sistema (establecer una llamada)

Para establecer una llamada en el sistema GSM es necesario seguir el proceso mediante los componentes básicos de sus funciones.

Para enlazar una llamada es necesario generar una salida al medio esto de un dispositivo móvil los equipos celulares actúan al mismo tiempo como emisor y receptor, que se comunica con la antena de telefonía más próxima, a la que se denomina estación base o BTS.

Las antenas se sitúan en sitios altos para alcanzar mayor cobertura y conforman lo que se conoce como celdas, que se agrupan entre sí y dan cobertura a los teléfonos. Cada una de las celdas se comunica en una frecuencia en concreto, para que no haya interferencias con las adyacentes, y enlaza con los terminales de los clientes.

De los BTS la señal se traslada a los BSC (siglas en inglés de "controlador de estaciones base"), que actúan como concentradores de varias de estas antenas.

Por último, la señal llega a los MSC (siglas en inglés de "centro de conmutación móvil"), que se encargan de establecer la comunicación cuando uno de los clientes marca un número, permite si se enviar los mensajes de texto revisando el saldo o plan contratado, a su vez cobra las llamadas por su duración. Todas estas conexiones se pueden realizar de diversas maneras, no sólo mediante ondas sino también a través de redes fijas y otros tipos de enlaces.

El MSC puede completar esa labor porque sabe cerca de qué celda se encuentran los terminales gracias al identificador único con que se registra el visitante. Se trata de una base de datos que asigna un número de identificación temporal a todos los aparatos que entran en su cobertura.

La información de los usuarios celulares se averigua con facilidad gracias a que la terminal busca constantemente el registro de los visitantes la cobertura es una transición que depende de la entrada del usuario a las zonas de cada radio base, la señal disminuye o aumenta conforme se entra a dichas zonas. Con esta información se puede triangular la señal y obtener su situación. De esta manera, las operadoras saben de antemano a dónde tienen que encaminar una llamada entrante, una información imprescindible por la

movilidad que proporciona esta tecnología, y pueden calcular la potencia de señal necesaria para contactar desde la antena más cercana con la terminal.

GSM es el protocolo más extendido de la telefonía móvil en el mundo y el que se ha implantado en México. Actualmente, se emite en dos bandas: México - GSM 850 – GSM 1900 MHz.

Operadores principales en México (Telcel, Movistar y AT&T) poseen la licencia para desplegar su red y utilizar todas las frecuencias autorizadas.

La tecnología de la telefonía móvil ha evolucionado durante los últimos años, principalmente en el transporte de datos. Así, el GSM original se dedicaba casi únicamente a dar soporte a la voz y a enviar SMS.

1.- Para establecer y mantener las comunicaciones entre las terminales móviles y las estaciones bases de la red, GSM utiliza un sistema TDMA para cada una de las frecuencias de que dispone buscando un canal de difusión BCH.

2.-Una vez establecido el canal el sistema GSM sincroniza en tiempo y frecuencia.

3.- Canal de control broadcast (*Broadcast Control Channel*, BCCH): comunica desde la estación base al móvil la información básica y los parámetros del sistema para pasar a la comprobación del SIM en la red.

4.- Una vez autenticado el Canal de acceso aleatorio (*Random Access Channel*, RACH): alberga las peticiones de acceso a la red del móvil a la BS, enviando la asignación de canal al BCH.

5.- Una vez que el móvil y la BTS se encuentran en el canal de control dedicado autónomo, la MS autentifica para asignar al Canal de tráfico (*Traffic Channels*, TCH): albergan las llamadas en proceso que soporta la estación base, para abrir la comunicación de la llamada.

Terminación de llamadas.

Los protocolos RR proporcionan los procedimientos para la utilización, asignación, reasignación y liberación de los canales GSM.

Capítulo 2. Proyección y alcances para una radio base

2.1 Planeación

El autor Carlos Llano Cifuentes menciona que la Planeación consiste, en fijar el curso concreto de acción que ha de seguirse, estableciendo los principios de acción que ha de seguirse, estableciendo los principios que habrán de orientarlo, la secuencia de operaciones para realizarlo y las determinaciones de tiempos y de números, necesarias para su realización.

La planeación como el primer pasó del proceso administrativo por medio del cual se define un problema, se analiza las experiencias pasadas y se esbozan planes y programas.

Puntualizando la estructura de planeación conceptuamos que; es un sistema que comienza con los objetivos, desarrolla políticas, planes, procedimientos y cuenta con un método de retroalimentación de información para adaptarse a cualquier cambio de circunstancia.

Por último, se tiene la planeación como un proceso que requiere un esfuerzo intelectual; requiere una determinación consciente de los cursos de acción y que las decisiones se basen en propósito, conocimiento y estimaciones consideradas.

Entonces se considera la planeación como un proceso para diseñar un futuro posible y en el cual se necesita planear para anticiparse a los hechos.

Tomando como base los puntos mencionados se define la planeación para una estación base como “las acciones a seguir para cubrir la necesidad de mejorar o implementar las tecnologías de telecomunicaciones en una comunidad debidamente ubicada y priorizada por el nivel de población con requerimientos de servicio”.

Por lo anterior se proyectan los cálculos y procesos de instalación para poder brindar el servicio de cobertura.

Para llevar a término esta planeación se segregan las etapas a seguir teniendo continuidad en los alcances midiendo los riesgos para tomar la opción que mejor cumpla con el propósito de la construcción de una radio base.

La implementación de una radio base está en primer instancia, regida por la necesidad de cubrir por medio de microondas un área geográfica con la finalidad de mejorar o brindar comunicación celular a la comunidad en cuestión.

Para poner en funcionamiento la Radio Base se tienen que determinar y calcular diversos factores desde demográficos, geográficos, técnicos, civiles, etc. Tomando como base la ingeniería en comunicaciones en materia de microondas para visualizar los alcances del presente proyecto, esto permite enlistar las siguientes etapas:

- Gestión del ciclo de vida de la implementación de una radio base.
- Los tiempos de construcción propuestos por las organizaciones asignadas a esta parte del proyecto.

- El presupuesto como un factor importante en la toma de decisiones.
- Análisis de riesgo para la amortización de la inversión que será directamente proporcional al número de usuarios, todo lo anterior pensado a cubrir una necesidad básica de comunicación a corto, mediano y con crecimiento a largo plazo.
- Establecer la posición donde será instalada la radio base.
- Hacer un estudio de campo para dar la posición final de la radio base.

2.2 Justificación del proyecto

La decisión de instalar una radio base se debe a que la capacidad de comunicaciones en una zona geográfica es mínima o nula para brindar servicio a los usuarios celulares, esto tomando las comunicaciones como una necesidad básica, para esto es necesario la implementación de infraestructura, esto contemplando la importancia de recuperar la inversión como punto de refuerzo a la decisión.

Para poder precisar el sitio de instalación de la radio base es necesario contemplar 2 puntos importantes tráfico y cobertura.

Entendiendo por tráfico la cantidad de usuarios para una red de microondas con asignaciones mismas que al ser saturadas por la afluencia de clientes es necesario crecer la infraestructura. En el punto de cobertura se considera como la ausencia de potencia o señal del enlace para una red celular, esta no depende de la cantidad de servicios sino del alcance que se quiera tener para cubrir una zona geográfica sin importar si esta densamente poblada.

En este proyecto se propone una radio base por el tema de cobertura debido a que la cantidad de usuarios está concentrada en una pequeña zona geográfica y no dispone de servicio de comunicaciones celulares.

2.3 Zona de servicio

Para brindar el servicio de telefonía celular a localidades de difícil acceso, debe haber demanda de dicho servicio, se tiene que tomar en cuenta la orografía del lugar para analizar donde se puede poner una estación base mediante un punto de referencia y así lograr que las localidades propuestas tengan el servicio.

La zona de servicio es la cobertura que se le ofrecerá al abonado mediante un servicio en este caso es telefonía móvil con unas frecuencias de operación de acuerdo a la tecnología que se ofrecerá, en la cual puede comunicarse con una o más estaciones base.

Se delimita al punto más lejano de las zonas elegidas para los servicios de modo que no tenga interferencias ni obstáculos y que tenga un plan de frecuencias asignadas.

El análisis de la población es un punto importante para definir la zona de servicio como se puede observar en la figura. 2-1 ya que con este resultado se realizan los cálculos necesarios para tener una buena calidad de servicio para satisfacer las necesidades de los clientes contemplando un crecimiento a futuro.



Figura. 2-1. Villa Hidalgo.

De acuerdo a la recomendación *IUT-R M.1390* los parámetros que se contemplan para lograr lo antes mencionado son:

- **Densidad de población.** El INEGI lo define como la relación entre un espacio determinado y el número de personas que lo habitan, es decir la forma en que se encuentran distribuidas las personas que habitan en una ciudad o comunidad rural, además también contempla a los visitantes de paso.
Esta cifra se obtiene del cociente de número de personas que habita el lugar entre los Km^2 que mide la población.
- **Superficie de la célula.** Es el tamaño que pueda llegar a tener la célula, aunque esto depende también de lugar donde se implemente, ya que no es el mismo tamaño en una ciudad que en un área rural.
- **Nivel de penetración.** Es la estimación de la demanda que hay de un servicio en determinada población, ya que se estima que las personas pueden tener más de un servicio.
- **Intentos de llamada.** Es la característica del tráfico, la cual determina los intentos para establecer una llamada en una determinada zona en un intervalo de tiempo.
- **Duración de llamadas.** Es el tiempo que dura una llamada puede ser larga o corta de acuerdo al asunto, se calcula que en promedio una llamada dura alrededor de 3 minutos, para telefonía fija.
- **Calidad del servicio.** Se utiliza el modelo Erlang para calcular los canales de tráfico.
- **Velocidad binaria de la calidad del servicio.** Se refiere como la velocidad de datos del tráfico transportado, es decir el tiempo que tarda en llegar al usuario el mensaje ya sea una llamada o mensaje de texto, va de la mano con la señalización.

Tomando en cuenta los puntos anteriores se puede proseguir con el análisis de la orografía del sitio en el que se propone para la colocación de la estación base.

2.4 Lectura de terreno

El propósito de una lectura de terreno es identificar las elevaciones y depresiones (curvas de nivel), el cual se tomará cuenta para la altura que tendrá la torre de la estación base, cuya característica principal es radiar la potencia necesaria y así llegar a las localidades.

La lectura del terreno se ha de realizar con el fin de saber cuál punto es más conveniente para poner una estación base y tener la mejor cobertura del terreno, esto con la finalidad de brindar servicio de telefonía móvil a la localidad en cuestión para este caso es Villa Hidalgo San Luis Potosí como se muestra en la siguiente figura.2-2.

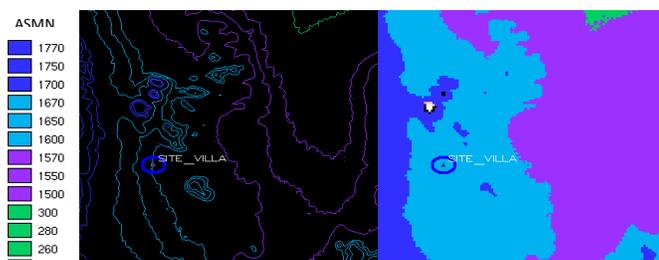


Figura. 2-2. Se pueden apreciar las curvas de nivel (ASMN) de Villa Hidalgo.

La cartografía es la rama que se encarga de analizar las medidas y datos de regiones de la Tierra para llevarlos al papel, conteniendo la orografía, hidrografía y población. INEGI tiene recopilada toda esta información y es accesible para toda persona que desee consultar las cartas topográficas, que sirve para representar en diferentes escalas las localidades de México llevando información como altimetría y planimetría entre otros.

Aunque los planos cartográficos son útiles con fines académicos existen herramientas que facilitan la vida ya que nos ahorran tiempo, por ser práctico y permite realizar trabajos desde la planeación hasta la optimización.

En la siguiente tabla se encuentran algunos ejemplos de software con licencia que se utilizan para la planificación de cobertura celular.

HERRAMIENTA	CARACTERISTICAS
-------------	-----------------

	Utiliza planos y mapas online, analiza y optimiza el funcionamiento de la red WIFI incluyendo tráfico.
	ProMan planifica, simula cobertura de las redes de radio y combina la propagación.
	Se una herramienta de planificación y optimización de la red.

Tabla (2-1). Ejemplos de software de simulación para implementación de una red

Para este proyecto se utilizó la carta topográfica número F14A74 Villa Hidalgo con escala de 1:50,000 como se muestra en la figura. 2-3, se tomó en para este análisis un punto de referencia en el cual se tenga línea de vista hacia el norte al poblado de Villa Hidalgo que se encuentra a 1690 ASMN (Altura Sobre el Nivel del Mar), al sur se ubican los poblados de Tanque de Luna que está a una altitud de 1660 ASMN (Altura Sobre el Nivel del Mar) y Corcovada a una altitud de 1684 ASMN (Altura Sobre el Nivel del Mar), Oeste se ubica el poblado del Rancho el Zapotillo a una altitud de 1703 ASMN (Altura Sobre el Nivel del Mar).

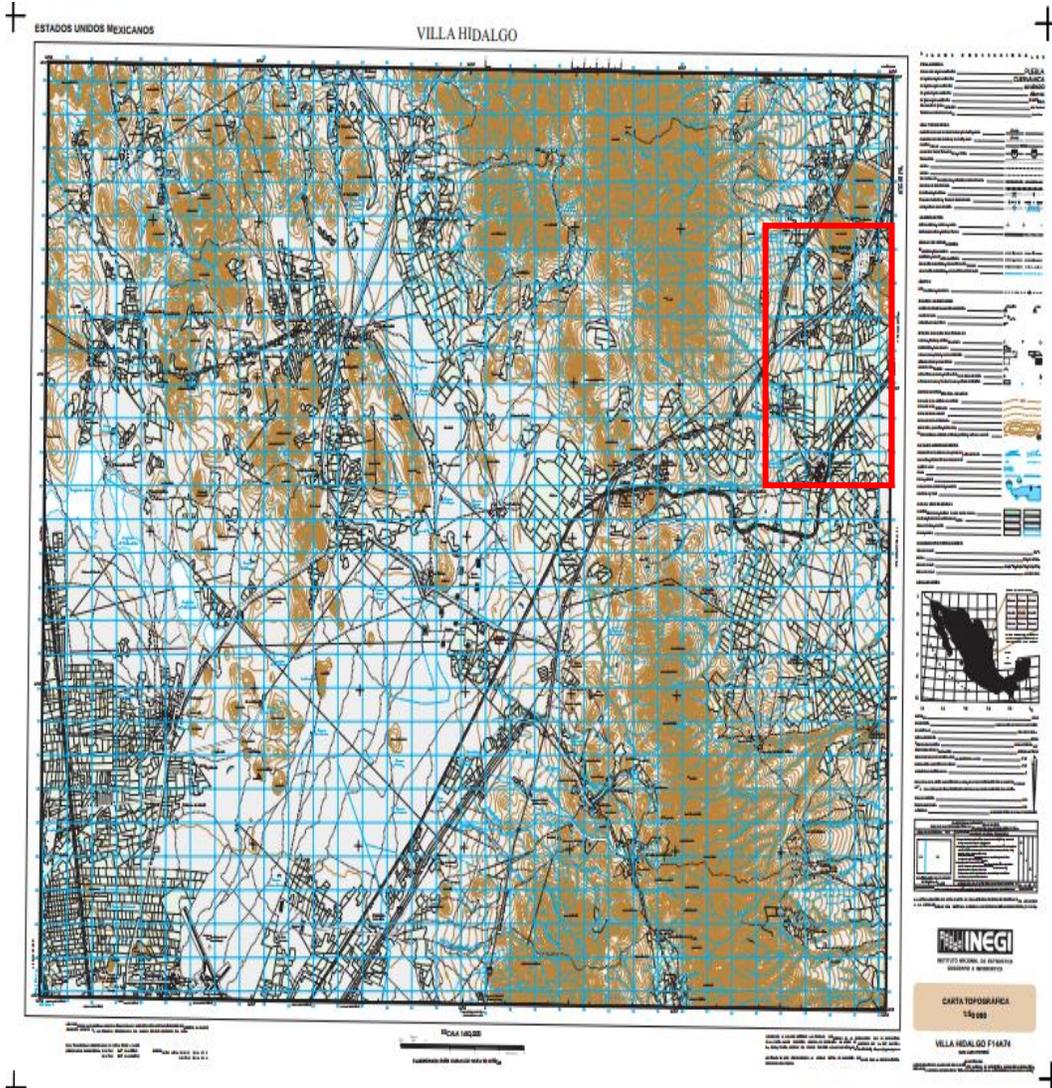
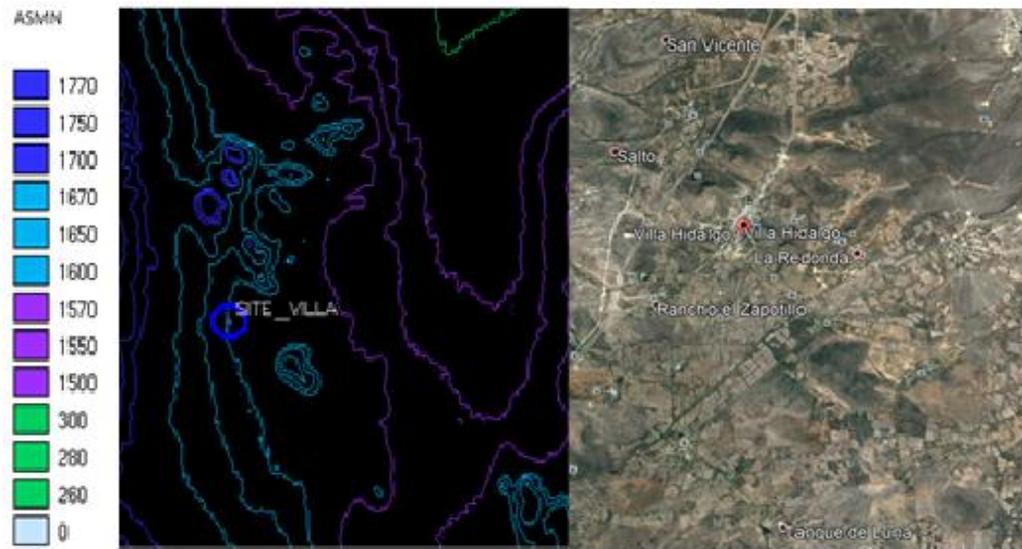


Figura. 2-3. Carta topográfica F14A74 donde la zona de estudio está marcada con rojo.



De acuerdo a las curvas de nivel como se muestra en la figura. 2-4 se determinó que el area a cubrir seria de dos sectores cubriendo a los poblados de Villa Hidalgo hacia el norte y a tanque de Luna hacia el sur ya que para el poblado Rancho el Zapotillo se neesitaria una torre gran altura.

Figura. 2-4. En la imagen se pueden apreciar las curvas de nivel y poblados involucrados.

2.5 Sectorización

La sectorización consiste en particionar la cobertura dependiendo las necesidades del terreno y la población previamente considerando de igual manera para realizar el cálculo correspondiente. Consiste en considerar las alturas y distancias máximas de cobertura; con ésto, se definen características de cada sector como el valor del azimuth y la potencia máxima sobre la distancia límite del terreno.

Sectorizar es la manera de definir individualmente la densidad de tráfico de cada zona. En realidad, dependiendo el terreno, sectorizar siempre depende de la lectura del mismo, ya

que en base a dicha información se ajustan los alcances de cobertura, tal como se muestra en la figura. 2-5.

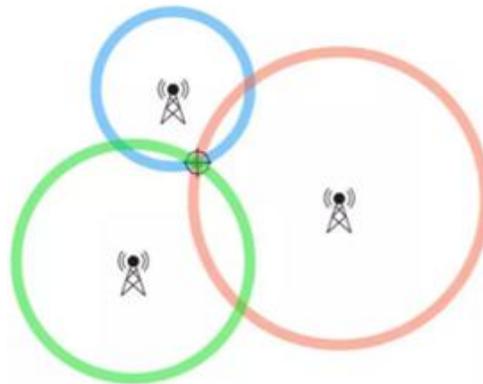


Figura. 2-5. Sectorización y alcance de cobertura en base a la lectura de terreno.

2.5.1 Ubicación de BTS

El resultado de todo un análisis de terreno tiene como objetivo proponer el punto exacto o referenciado en el cuál es posible colocar toda una infraestructura para montar una BTS o radiobase. Para el caso de la zona a cubrir en el municipio de Villa Hidalgo, en el estado de San Luis Potosí; se tiene la propuesta como se muestra en la figura. 2-6 de colocar una radiobase en las siguientes coordenadas:

Latitud: **22° 25' 35.68'' N**

Longitud: **100° 40' 49.4'' W**

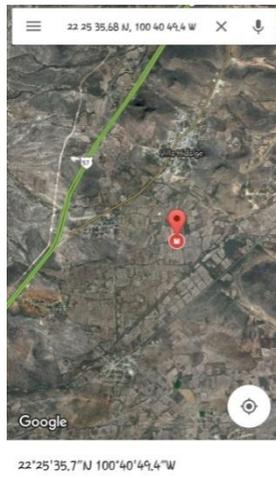
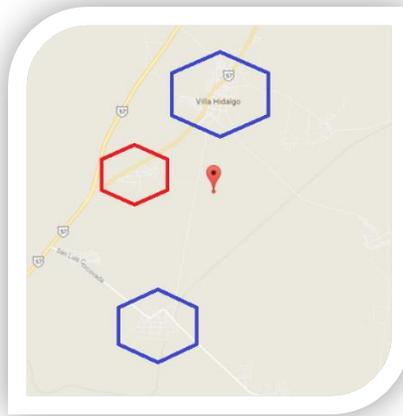


Figura. 2-6. Ubicación exacta de la BTS.

2.5.2 Características de un sector

Para conocer las zonas a cubrir e incluso calcular el alcance y la posibilidad de entregar radiocobertura en las mismas se realizó un análisis de terreno (*Apéndice A*) en dónde se enfatiza un terreno en particular en el cuál no será posible cubrir dado que se tiene una altura superior en el terreno a la altura de la torre.

En la figura. 2-7, se puede observar encerrando en dos hexágonos en color azul las zonas las cuáles es posible entregar cobertura tomando como punto de referencia las coordenadas y/o ubicación de la radio base.



Una vez mostrado lo anterior gráficamente, la propuesta de radiocobertura es para cubrir dos únicas zonas de la mejor manera posible colocando dos sectores, pero antes es indispensable de igual manera conocer algunas otras distintas especificaciones que conforman un sector.

- **Azimuth.** Una de las características importantes para conocer el alcance de la cobertura es el azimuth, en conceptos de operadoras telefónica se le llama tilt mecánico. Éste ajuste es el ángulo central dentro del plano bidimensional dónde se ajustará la antena y se propone instalar para aportar óptima cobertura amplia a nivel de radiación. Éstos ajustes son manuales y siempre se tiene la referencia del norte magnético con una brújula para ajustar el ángulo según se modifique o amplíe la población para optimizar la red.
- **Distancia máxima de cobertura.** En radio cobertura, así como la mayoría de sistemas implementados tienen límites de alcance. Si de distancia se refiere, generalmente depende de la altura de la torre y el comportamiento del relieve. Es importante todos los procesos como el análisis de perfil topográfico para poder identificar que alcances reales se cuentan dentro del relieve para determinar con una altura promedio de torre y colocación de antenas. La distancia también se puede modificar mediante ajuste de potencias y manipulación de tilts.
- **Ángulo de apertura de radiación.** El ángulo de apertura para cada sector es aquel en el cuál es posible modificar por medio de dispositivos dentro de las antenas el

llamado “lóbulo de radiación” por medio de software remotamente. En la operación, dentro de las empresas de telefonía móvil se le conoce como *tilt eléctrico* y se puede modificar por medio de dispositivos llamados RET que son motores que modifican los grados del ángulo de apertura dependiendo las especificaciones de las antenas para optimizar la red dentro de la demanda de los usuarios durante el día.

2.5.3 Especificaciones de cada sector

Dentro de las especificaciones de los poblados y el relieve se tiene únicamente la posibilidad de abastecer de radiocobertura óptima a dos poblados y a los usuarios ubicados dentro de los mismos, por lo cuál sólo serán considerados dos sectores. La zona con dirección este no es posible cubrir dada las condiciones de la altura sobre el nivel del mar que sobrepasa las alturas máximas permitidas para la propagación correcta de una señal. En la figura. 2-8 se muestra en un plano bidireccional la partición de las zonas y sectores a considerar para la propuesta de radiocobertura.

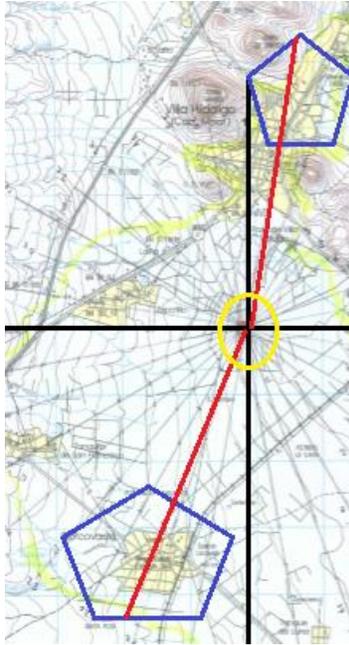
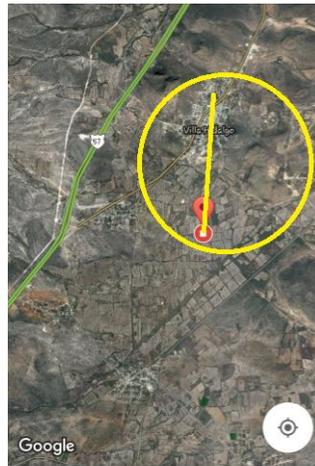


Figura. 2-8. Poblados propuestos para cobertura particionado en dos sectores.

A continuación, en las figuras 2-9 y 2-10 se muestran características de ambos sectores propuestos y los valores necesarios dentro de sus especificaciones.



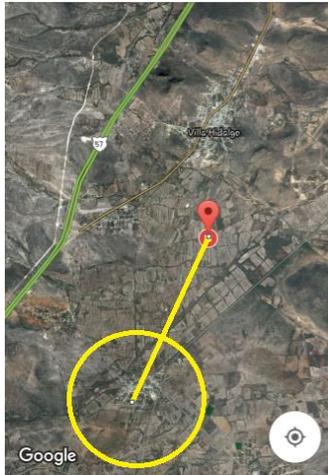
22°25'35,7"N 100°40'49,4"W

Figura. 2-9. Sector 1 (El más cercano al norte magnético).

El sector 1, está compuesto por las siguientes características:

- Azimuth: 12°
- Ángulo de apertura: 45°
- Distancia máxima de cobertura: 4.5 km
- Altura máxima de relieve: 1680, 1710 metros

Figura 2-10. Sector 2 al sur, misma distancia de cobertura.



22°25'35.7\"/>

El sector 2, está compuesto por las siguientes características:

- Azimuth: 205°
- Ángulo de apertura: 45° metros SNM
- Distancia máxima de cobertura: 5 km
- Altura máxima de relieve: 1690, 1710 metros SNM

2.6 Análisis de población

Los habitantes de un municipio o estado conforman una población, en cada población se hace un registro estadístico cada diez años en nuestro país referenciado a la organización INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), que son los encargados de actualizar dichas estadísticas. Para conocer el incremento o decremento de una población específica por medio de estadísticas se le da el nombre de censo de población. Todos éstos datos son primordiales para el análisis de usuarios ya que hay personas que no son propensas para tomarse en cuenta como un usuario potencial de un servicio como telefonía móvil.

2.6.1 Análisis de la población de Villa Hidalgo (San Luis Potosí)

Como se menciona en el punto 2.5, la población en dónde se propone la radiobase según sus coordenadas se puede observar en la figura. 2-11 y tiene el nombre de Villa

Hidalgo, que es un municipio del San Luis Potosí. Dicho municipio ha presentado diversos cambios a lo largo de los años como se muestra en la tabla (2-2).



Figura 2-11. Villa Hidalgo, San Luis Potosí.

Tasa de crecimiento intercesal		
Año	Población	Tasa de crecimiento
1950	16, 546	
1960	19, 663	1.72
1970	21, 798	1.03
1980	17, 454	-2.21
1990	15, 157	-1.41
1995	15, 724	0.73
2000	14, 989	-0.95
2005	13, 966	-1.24
2010	14, 876	-0.1

Tabla (2-2). Tabla de crecimiento poblacional en Villa Hidalgo.

De acuerdo al último censo y en base a la propuesta del proyecto, se ha calculado un promedio según las estadísticas de éste poblado de usuarios potencialmente activos en cuánto a utilización de la red móvil se refiere. Para ello, actualmente es necesario tomar referencias de la vida cotidiana en dónde un adulto en promedio de 65 años o 70 años no es

un usuario potencial de la red móvil debido a que hay adultos que no se acoplan a la tecnología de los móviles existentes u otros tienen enfermedades crónicas o problemas con el sentido de oído. De igual manera, en la actualidad hay niños de corta edad que usan los dispositivos a modo de diversión, pero no se consideran usuarios activos dentro de la red por lo cuál se descartan usuarios menores a los 15 años. En la figura. 2-12 se muestran las estadísticas visualizadas en gráfica también los posibles usuarios a considerar dentro del tráfico que se tendrá en la propuesta de cobertura.

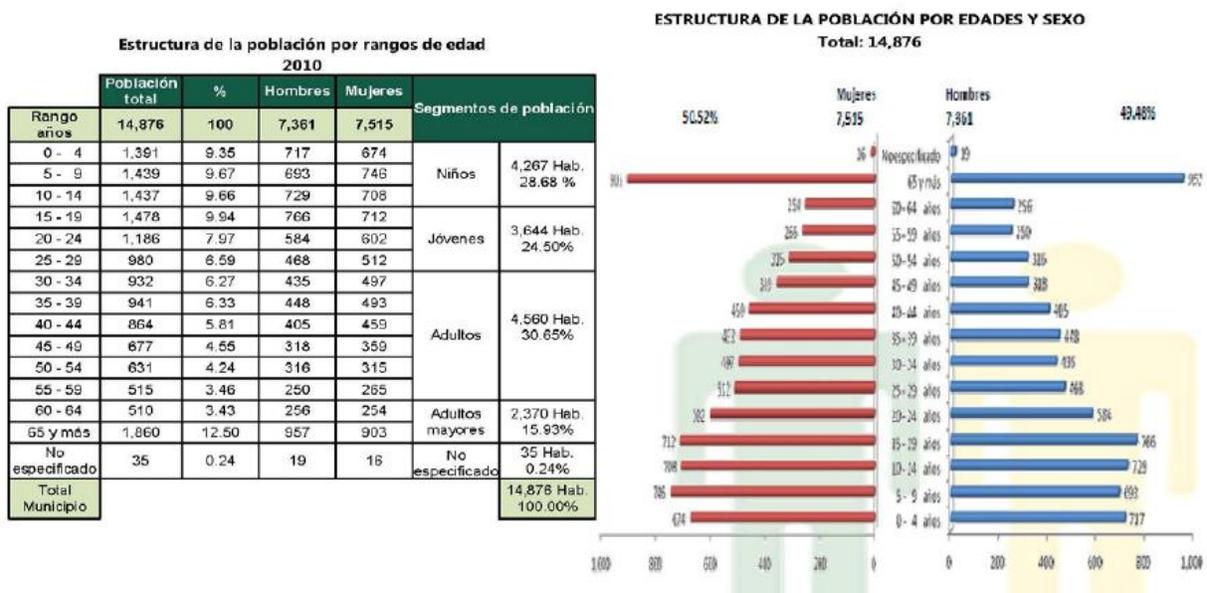


Figura. 2-12. Tabla comparativa de censo en Villa Hidalgo.

Una vez teniendo éstas estadísticas y evadiendo los usuarios no activos dentro de la red, hay un aproximado de 8,750 posibles usuarios a considerar dentro del flujo de tráfico para integrar a la red, sin embargo, dada las últimas estadísticas que son en 2010, se consideran los que son nuevos usuarios y al redondear da un resultado un tráfico de 11,960 usuarios potenciales, los cuáles será el número máximo de usuarios dentro de la red para el análisis de tráfico, a éste cálculo, en el mercado se conoce como *población objetivo* debido a que son los usuarios que están dentro del mercado de los operadores de la telefonía móvil y la red, interactuando en ella.

2.7 Asignación de frecuencias

La asignación de frecuencias consiste en considerar los canales que se usan para la transmisión y recepción de señales entre la comunicación de un usuario y la BTS mediante canales asignados. Todo ello consecuentemente conlleva a una satisfacción del usuario al considerar una propagación del espectro de propagación. Para ello, es necesario fijar distintas características y realizar algunos cálculos para la propagación de la señal en cuanto a frecuencias se refiere. En la actualidad existen ciertas normas para no interferir o traslapar la señal, una de ellas es que entre cada frecuencia asignada, como mínimo debe existir un intervalo de separación de 400 Khz. De igual manera en México, GSM actualmente trabaja en dos frecuencias específicas. Una es la frecuencia de 850 Mhz y la frecuencia en la que la propuesta se realizaron cálculos la frecuencia de 1900 Mhz, denominada también como banda 2, que están entre un intervalo de frecuencias de entre 1865 Mhz y 1945 Mhz.

- **Esquema de reuso de frecuencias.** El esquema de reuso de frecuencias para GSM utilizada para la propuesta es el esquema denominado (4/12). En éste canal se asignan dos canales por cada subgrupo. En la tabla (2-3) se puede observar el esquema que es utilizado para asignación de canales y en nuestro caso se tendrán los canales 589, 593, 597, 601, 605 y 609 ya que se utilizará el subgrupo C.

ESQUEMA DE REÚSO DE FRECUENCIAS GSM 1900 MHZ (1865 MHZ - 1945 MHZ)												
Canales	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
1	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598
2	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610

Tabla (2-3). Ejemplo de esquema de reuso de frecuencias para un operador.

- **Asignación fija.** La asignación de frecuencias fija tiene como objetivo asignar un grupo de frecuencias a una celda en específico, considerando así, no reasignar

dichos canales a otros usuarios, esto a su vez se considera como desventaja ya que al saturar la red de usuarios, ningún otro usuario podría integrarse en la celda por lo cual ocasionaría un bloqueo de la señal y pérdida o corte de una llamada en curso.

- **Asignación dinámica.** La asignación dinámica de frecuencias permite a un conjunto de celdas que ya contienen su propio intervalo de frecuencias asignado interactuar para compartir los canales y frecuencias, esto es una ventaja mayor dado que los se debe tener contemplado una tolerancia de saturación para que la BTS pueda brindar una señal óptima a los usuarios, así mismo reducir los bloqueos de la señal y su propagación creando mayor consistencia en la radio cobertura.

En el caso de la propuesta de radiofrecuencia se pretende utilizar los subgrupos C referenciada en el esquema de frecuencias 4/12 y tabla (2-3). En ello se tiene como base un ancho de banda de 5MHz.

Las frecuencias que se tienen son las siguientes:

$$frx = C1, \text{ Canal } 589 = 1865.4 \text{ Mhz}$$

$$ftx = C1, \text{ Canal } 589 = 1945.4 \text{ Mhz}$$

$$frx = C1, \text{ Canal } 601 = 1867.8 \text{ Mhz}$$

$$ftx = C1, \text{ Canal } 601 = 1947.8 \text{ Mhz}$$

$$frx = C2, \text{ Canal } 593 = 1866.2 \text{ Mhz}$$

$$ftx = C2, \text{ Canal } 593 = 1946.2 \text{ Mhz}$$

$$frx = C2, \text{ Canal } 605 = 1868.6 \text{ Mhz}$$

$$ftx = C2, \text{ Canal } 605 = 1986.6 \text{ Mhz}$$

$$frx = C3, \text{ Canal } 597 = 1867 \text{ Mhz}$$

$$ftx = C3, \text{ Canal } 597 = 1947 \text{ Mhz}$$

$$frx = C3, \text{ Canal } 609 = 1869.4 \text{ Mhz}$$

$$ftx = C3, \text{ Canal } 609 = 1949.4 \text{ Mhz}$$

Por lo cual, la asignación de frecuencias de transmisión y recepción para los dos sectores definidos los enlistamos de la siguiente forma y se muestran en la figura. 2-13.

Sector 1

$frx = C1$, Canal 589 = 1865.4 Mhz

$ftx = C1$, Canal 589= 1945.4 Mhz

$frx = C1$, Canal 601 = 1867.8 Mhz

$ftx = C1$, Canal 601= 1947.8 Mhz

$frx = C3$, Canal 597 = 1867 Mhz

$ftx = C3$, Canal 597= 1947 Mhz

Sector 2

$frx = C2$, Canal 593 = 1866.2 Mhz

$ftx = C2$, Canal 593= 1946.2 Mhz

$frx = C2$, Canal 605 = 1868.6 Mhz

$ftx = C2$, Canal 605= 1986.6 Mhz

$frx = C3$, Canal 609 = 1869.4 Mhz

$ftx = C3$, Canal 609= 1949.4 Mhz

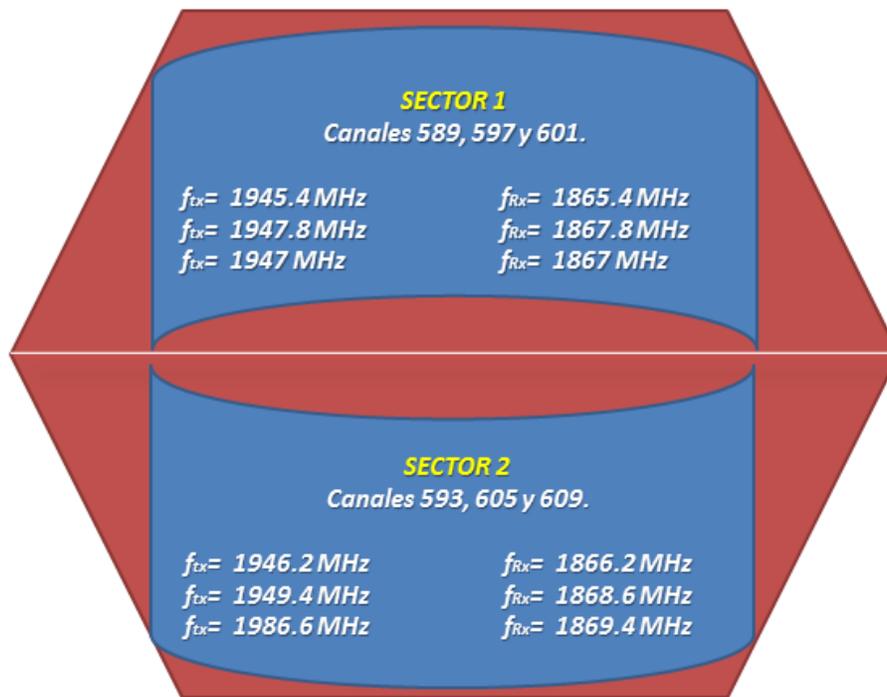


Figura. 2-13. Asignación de frecuencias para ambos sectores.

2.8 Visita de sitio

La visita de sitio consiste en como su nombre lo dice, asistir y evaluar mediante una visita técnica la zona específica en dónde se propone la radiobase y el poblado para determinar y corroborar los datos calculados para la propagación de la señal y alcance de la misma.

La radiobase que se propone para el proyecto está en una ubicación en el poblado de Villa Hidalgo en el estado de San Luis Potosí. Es importante saber que dentro de las coordenadas la radio base (BTS) se van a cubrir dos poblados con cobertura celular de la tecnología de GSM.

En la zona propuesta se visualiza una radiobase dentro del poblado, sin embargo, las mediciones en la ubicación exacta por medio de una aplicación del sistema operativo android llamada “*Network Cell Info*” que realiza mediciones en tiempo real de potencia de la señal en el móvil en la tecnología GSM operando, arrojan una señal débil en potencia

con un rango de entre -95 dBm hasta -115 dBm aproximadamente como se muestra en la figura. 2-14 y la figura. 2-15.



Figura. 2-14. Potencia de la señal de GSM en la ubicación de la RBS.



Figura. 2-15. Mediciones de la señal de EDGE en la ubicación de la RBS.

En base a dichas mediciones se sabe que colocar una radio base en la ubicación propuesta ya que la potencia de la señal es de baja calidad, por lo cual se considera que la ubicación

es correcta para colocar y proponer una radio base para mejorar la señal de voz en la tecnología de GSM en los poblados aledaños.

Capítulo 3. Selección del hardware

3.1 Introducción

Tomando en cuenta como una estación base a la infraestructura compuesta por las instalaciones y equipos necesarios para realizar la cobertura de un espacio debidamente seleccionado en base a las necesidades de la población (usuarios de telefonía móvil), lo anterior limitado por la naturaleza de los cálculos para cubrir un área geográfica.

El equipo adecuado puede ser la diferencia en un proyecto de implementación. El equipo adecuado que se mantiene bajo certificación garantiza un trabajo bien hecho y realizado según las especificaciones de los fabricantes.

3.2 Elementos generales de una torre de telecomunicaciones

Las torres de telecomunicaciones están integradas de muchos componentes, a continuación, describiremos los más importantes para visualizar la estructura de modo básico.

- Soporte de antenas.
- Marco de sector en torre.
- Protector contra caídas.
- Cable de cobre trenzado # 4 AWG.
- Escalera de peldaño.

3.2.1 Tipos de torres.

- **Torre autoportada.** Una torre autoportada proporciona una solución de espectro completo para instalaciones que requieren el equilibrio adecuado de costo-efectividad, resistencia y durabilidad. Es adecuado para una amplia variedad de necesidades de instalación, desde entornos rurales a entornos urbanos, regiones de vientos bajos a altos, aplicaciones de trabajo liviano a pesado.

La construcción de las patas es de tubo de acero y abrazaderas angulares con conexiones completamente atornilladas. Está diseñada específicamente para una instalación rápida, fácil y rentable. Establece el equilibrio correcto entre la fuerza y la estabilidad fundamental para maximizar la eficiencia económica. Todos los miembros estructurales están terminados con un recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente que previene la corrosión y garantiza la longevidad de la torre. Los diseños varían en altura desde 30m hasta 90m o más para satisfacer una amplia gama de aplicaciones exigentes.

Para cumplir con todas las especificaciones requeridas en el diseño del enlace, así como con todas las normas TIA / EIA y los códigos aplicables se puede elegir entre un diseño estándar o adaptar una torre de producción en serie, esto para cumplir necesidades específicas.



Figura. 3-1. Torre autosoportada.

- **Torre Monopolo.** Las torres monopolo son fabricadas de acero cónico y escalonado están diseñadas con partes de fundición, los materiales son de alta pureza para cuidar la dureza. El acabado estándar es galvanizado en caliente. Sin embargo, el recubrimiento en polvo y otros acabados están disponibles en colores según los requisitos a implementar. La instalación es menos complicada comparada con las torres autosoportadas. Los diseños monopolo están hechos para tener alturas de 6m a 30m. Las torres monopolares de comunicaciones están diseñadas para su uso con aplicaciones de telefonía celular, PCS, microondas, transmisión y otras.



Figura. 3-2. Torre Monopolo.

- **Torre arriostrada o atirantada.** La solución ideal para aplicaciones extremas en zonas edificadas con difícil acceso. Las condiciones extremas incluyen velocidades de viento superiores a 160 km/h, 3 segundos de ráfaga y colocación múltiple de equipos. Además, esta estructura puede soportar cargas de hasta 30m de altura. Ya sea una gran carga de antena, una ubicación con mucho viento (huracán o Ártico) o cualquier otra aplicación que requiera una torre atirantada en zonas urbanas.

Una aplicación especialmente interesante para esta estructura particular es el viento intermedio y grande. El reducido costo de transporte y el costo de la grúa hacen de esta estructura una solución ideal desde un punto de vista económico lo que supone un importante ahorro de costos, sino también un gran ahorro de tiempo, lo anterior debido a que los tensores sustituyen cimentaciones.



Figura. 3-3. Torre Arriostrada o Atirantada.

3.2.1 Selección de proveedor y Ficha Técnica

El Proveedor seleccionado para la torre es *GlenMartin*.

Muchos fabricantes de torres ofrecen un producto de precio reducido; sin embargo, falta calidad. Como dice el viejo refrán, "obienes lo que pagas". Solo *GlenMartin* hace un esfuerzo adicional para fabricar una torre que no solo sea resistente sino también duradera.

- **Garantía.** *GlenMartin* garantiza la mayoría de los productos por un año completo. Si el producto no satisface completamente al comprador original en el plazo de un año a partir de la compra, devuélvalo a *GlenMartin* para su reparación o reemplazo sin cargo.
- **Envío.** La ubicación central de *GlenMartin* hace que los tiempos de envío sean mínimos. Una completa selección de opciones de envío está disponible a través de UPS, transporte de mercancías y el Servicio Postal de EE. UU. Los servicios de transporte en todo el mundo también se pueden coordinar.

- **Ficha Técnica de para una torre autoportada**



Figura. 3-4. Torre autoportada GlenMartin.

HS2 Tower and connection data

Especificaciones:	HS2-100	HS2-150	HS2-200
Altura de la torre	100'	150'	200'
Ancho superior de la cara	3.5'	3.5'	3.5'
Ancho base de la cara	9.5	14	17
Varilla de anclaje CANTIDAD y tamaño	(6)x1.5"	(6)x1.5"	(6)x1.5"
Longitud de la varilla de anclaje	48"	48"	48"
Círculo de barra de anclaje	12.5"	14"	14"
Placa base OD	18"	20"	20"
Espesor de la placa base	1.5"	1.5"	1.5"

Tabla (3-1). Características mecánicas de torre.

- **Tabla de carga recomendada para HS2-100**

Velocidad del viento (km/h)	145	160	177	210
Área neta de la antena (m ²)	39.5	27.7	16.9	8.5
QTY de portadoras de antena	4.22	2.64	1.81	0.92

Tabla (3-2). Especificaciones de sensibilidad.

- **Detalles de instalación:**

HS2-100. Dimensiones de componentes.

Tamaño del muelle	0.91 m
Altura del muelle	1.66 m
Ancho de la alfombra	5.18 m
Longitud de la alfombra	5.18 m
Grueso de la alfombra	0.76

Tabla (3-3). Características de dimensiones.

3.3 Antenas

Una antena es un dispositivo pasivo capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas a través del espacio libre, los electrones son generados a través de una guía de onda que atraviesa al dispositivo pasivo el cual genera los campos magnéticos y eléctricos transmitiendo de una forma horizontal o vertical.

Dentro de las características que tienen las antenas es la directividad que se le define como la capacidad de concentrar su potencia hacia un punto específico, la impedancia que es la

relación entre la tensión y la corriente. Sus diagramas ideales de radiación son: omnidireccional y direccional como se muestran en la figura. 3-5.

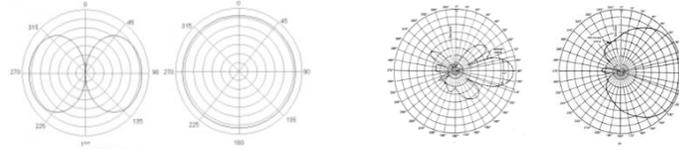


Figura. 3-5. Antena omnidireccional y direccional.

Isotrópica: Es la forma ideal red radiar hacia todas direcciones de forma esférica, es ideal ya que no hay antenna que trabaje de esa forma, se utiliza más bien para el estudio de propagación y maneja una ganancia lineal el cual es la unidad que representa el 100% ya que no hay pérdida.

Omnidireccional: su capacidad de radiación es de 360 grados hacia un plano.

Direccional o dipolo ideal. Tiene la capacidad de concentrar su energía radiada hacia un punto específico, entre más directiva sea una antenna su ángulo de abertura es menor y su ganancia es mayor.

Identificar los elementos principales que conforman a una antenna sirve para poder evaluar su comportamiento en el sistema, estas características son las siguientes:

3.3.1 Patrón de radiación y ganancia

El patrón de radiación la distribución de relativa de potencia en función de la dirección espacial, esto quiere decir que la forma en que se concentra la ganancia hacia una determinada dirección en forma gráfica vista en tres dimensiones (coordenadas esféricas) como puede observarse en la figura. 3-6.

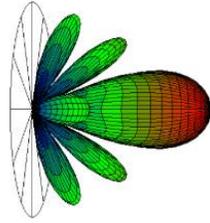
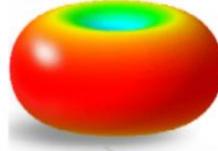


Figura. 3-6. Antena direccional



Antena omnidireccional

La ganancia en términos generales es la relación entre la potencia que entra y la potencia que sale de una antena concentrándola en determinada dirección, existen diferentes formas de ver la ganancia tanto directiva como de potencia, aunque estos dos términos van de la mano.

La ganancia directiva se refiere a la relación que tiene una antena de concentrar su potencia irradiada hacia una dirección en particular y la ganancia de potencia es, utilizar la potencia total que alimenta a la antena, tomando en cuenta la característica de la antena isotrópica debido a que no tiene pérdidas.

3.3.2 Impedancia

Las antenas como son dispositivos pasivos, presentan una impedancia, debido a que cuando en transmisor se conecta a la antena es por medio de una guía de onda generándose campos y corrientes que se pueden medir. La impedancia de entrada (Z_{ent}) se puede definir como la oposición al flujo de corriente alterna, es decir, la relación entre la tensión y la corriente.

$$Z_{ent} = \frac{V}{I} \text{ Ohms} \quad \text{Ec. (3.1) Impedancia de una antena}$$

- *up-down: Tilt*

El Azimuth es el ángulo que será medido respecto al norte geográfico el cual apunta al polo norte, se toma como origen en favor de las manecillas del reloj, como se muestra en la figura. 3-8.

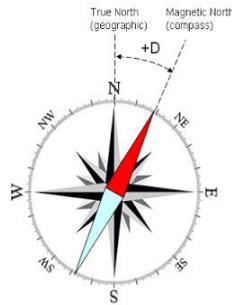


Figura. 3-8. Medición del ángulo de Azimuth.

El *tilt* se utiliza para reducir la interferencia o abarcar más distancia de acuerdo a la célula, modificando el patrón de radiación original, su principal función es delimitar la celda para evitar interferir en la celda vecina, se encuentran dos tipos de inclinación, el *tilt* mecánico y el *tilt* eléctrico.

Tilt mecánico: consiste básicamente en girar físicamente la antena hacia abajo respecto a su eje vertical, al realizar esta modificación es inevitable que su patrón de radiación cambie como se muestra en la siguiente figura. 3-9.

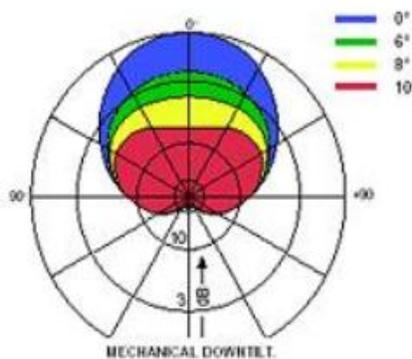


Figura. 3-9. Patrón de radiación con Tilt mecánico.

Tilt eléctrico: al girar físicamente hacia abajo respecto a su eje vertical sigue conservando su patrón de radiación, este cambio se puede realizar vía remota.

3.3.5 Polarización.

La abertura del haz puede ser horizontal o vertical de acuerdo a la especificación de la antena, será la forma en que viajará el campo electromagnético con respecto a la curvatura de la tierra. Por ejemplo, cuando una antena está polarizada verticalmente la forma en que viajará la onda electromagnética será perpendicularmente respecto a la corteza terrestre y cuando se encuentre polarizada horizontalmente la onda viajará paralelamente respecto a la corteza terrestre, como puede observarse en la figura. 3-10.

La polarización oblicua tiende a radiar en un ángulo de 45° respecto a la polarización horizontal, de este modo tiene la capacidad de trabajar en polarización vertical o con polarización horizontal debido a su amplitud y fase.



Figura. 3-10. Polarización vertical (V) y polarización horizontal (H).

3.3.6 Diversidad

Con el fin de reducir los desvanecimientos como desvanecimientos por propagación multitrayecto, dispersión del retardo e interferencia co-canal, se utiliza la diversidad para

incrementar la confiabilidad de la señal con el aumento de la disponibilidad cabe señalar que un sistema de diversidad de transmisión mejora la cobertura del enlace descendente, mediante dos métodos:

- **Diversidad del espacio:** En la salida del transmisor se alimenta a dos o más antenas, toma en cuenta que al menos una antena tendrá la mayor energía máxima de señal físicamente con una separación de λ veces una de otra para asegurar que si llegan muchas señales de la misma frecuencia se encuentren en fase, si las señales se reciben desfasadas se descartan, estos arreglos generan redundancia de ruta provocando un uso más eficiente del espectro.
- **Diversidad de polarización:** es un arreglo de antenas polarizadas de distinta forma por lo que una antena de encontrar polarizada verticalmente y otra de forma horizontal que incrementa su ganancia y genera un efecto similar a la diversidad de espacio más económica.

3.3.7 Propuesta de antena

De acuerdo a los rangos de frecuencias y ángulo de abertura obtenidos en el capítulo 2 se propone el modelo 742351 del proveedor Kathrein, que es de una empresa Alemana. La siguiente tabla (3-4) que indica las principales características de la antena que se utilizará y misma que se encuentra en el anexo A.

- **Anexo A.** hoja de especificaciones de antena sectorial.

Proveedor	Kathrein
Modelo de antena	742351 _{V01}
Rango de frecuencias	1850-1990 MHz, 1920-2170 MHz
Polarización	+45°, -45°
Angulo de abertura	7.4° - 36°
Tilt eléctrico	0° - 8°

Tabla (3-4). Características principales de una antena.

3.4 Elementos de una Radio Base

Una radio base o (*BTS*) tiene muchos elementos que interactúan con la estación controladora, los cuáles actúan como procesadores de la señal y a su vez la entrega de la misma ya que la estación controladora conectada a una radio base redirige la señal, pero los elementos en la radio base son los encargados de entregar correctamente la señal al receptor ya que la procesan, la modulan y la recuperan en una señal de voz.

En la actualidad, las compañías operadoras en nuestro país operan en la red con dos tipos de radio bases que comúnmente se conocen como *Indoor* y *Outdoor*.

- **Rbs Indoor.** Una radio base denominada *indoor* tiene la cualidad de ubicarse dentro de un “*shelter*” que significa refugio. Se conoce de esa manera porque precisamente los equipos están dentro de una cabina acondicionada con equipos industriales y ventiladores para mantener un clima estable dentro de la misma y evitar conflictos con la temperatura. Se conoce que existen distintos factores por los cuáles una operadora decide colocar una radio bases de éste tipo. Una de las principales es la temperatura en la zona como en las ciudades del norte que mantienen una temperatura de entre 30° grados y 45° grados Celsius y otra razón principal es la inseguridad en la zona o colonia, esto ya que se han registrado infinidad de vandalismos en los sitios celulares. En la figura. 3-11 se aprecia un ejemplo de sitio indoor.



Figura. 3-11. Radio Base Indoor.

- **Rbs Outdoor.** Una radio base de éste tipo se caracteriza por estar acoplada al medio ambiente de la zona y se encuentra en la intemperie. Para dichos sitios celulares se manejan distintos tipos y modelos de “gabinetes” que se adecúan internamente para mantener la temperatura estable dentro de los equipos internos que conectan con la torre y prevalezca una estabilidad en el servicio. Las radio bases “*outdoor*” son las más comunes dentro del ramo de las telecomunicaciones en todo el país debido a su bajo consumo y costo de operación dado que los equipos internos tienen rectificadores, distribuyen la energía y alimentan todo el sistema. En la figura. 3-12, se puede observar un ejemplo de éste tipo de radio bases.



Figura. 3-12. Radio Base Outdoor.

De igual manera existen tipos de radio bases llamadas móviles como se muestra en las

figuras 3-13 y 3-14 que son radio bases montadas generalmente en camiones pequeños, en pequeñas cabinas con ruedas para ser acarreados o incluso con su propio motor. Éstas son utilizadas generalmente para eventos especiales en los cuáles la densidad de tráfico puede crecer de manera exponencial y son utilizadas para evitar la congestión de la red, aumentando mayores recursos para los posibles usuarios concentrados dentro de un diámetro de zona pequeño en dónde se planea previamente para conciertos, carreras deportivas, eventos sociales, conferencias, exposiciones, etc.



Figura, 3-13. Radio Base móvil para ser trasladada/ acarreada.



Figura. 3-14. Radio Base móvil con su propio motor.

3.4.1 Definición de celda para radio cobertura en Villa Hidalgo.

La definición de celda es una parte muy importante para elegir el equipo que se propone en la radio cobertura de la zona. Las celdas se caracterizan por distintos aspectos naturales en los cuáles interviene el relieve, los fenómenos naturales, el viento a una determinada altura e incluso debido a si existe mar o río cercano. También se determinan por la densidad de población y tráfico, si existen vías de alta velocidad para el desplazamiento del móvil y usuario en un medio de transporte, e incluso a la posible obstrucción por infraestructuras.

Existen cuatro tipos de celdas las cuales se determinan por el factor de la distancia.

- **Picoceldas.** Éste tipo de celdas se caracterizan por cubrir una distancia total mínima o muy corta. Están definidas comúnmente en espacios muy pequeños para cobertura en interiores. Existen empresas, plazas comerciales, medios de transporte terrestres y aeropuertos en dónde se sabe se tiene instaladas repetidoras y en el caso de empresas un sector a una corta altura.
- **Microceldas.** Las celdas de esta denominación son las más conocidas dentro del ramo de las telecomunicaciones debido a que son las que generalmente otorgan cobertura a las zonas urbanas y con gran cantidad de densidad de tráfico. Las colonias populares como las colonias centro de todos los Estados de la República Mexicana tienen definidas este tipo de celdas, en algunas ocasiones se colocan sitios a una altura considerable en algunos edificios para cubrir sólo los interiores de las estructuras de alrededor con la cobertura y alcance que entrega éste tipo de celda. Las microceldas tienen la mayor densidad de tráfico a comparación de todas las otras y se sabe incluso que llega a haber saturación en horas pico en la red.
- **Miniceldas.** Las celdas que tienen el alcance de hasta uno y medio kilómetros, es decir, que es su valor máximo de cobertura se denominan miniceldas. En ellas se encuentran colonias no tan populares con muy pocas obstrucciones de edificaciones alrededor y cubren generalmente una zona con alta densidad de tráfico, pero no crítico para llegar a la saturación de la red.

- **Macroceldas.** Las macroceldas son las que tienen la característica de cubrir la mayor distancia para un usuario o usuarios. En ellas se tiene contemplado una cobertura y alcance de hasta 20 kilómetros, sin embargo, son las que tienen menor densidad de tráfico ya que se encuentran en zonas rurales o zonas carreteras en las cuáles los usuarios son muy pocos y por ello el tráfico también. De igual manera, muchos pobladores lamentablemente no cuentan con un teléfono móvil y comunicación por lo cual estas celdas se utilizan para GSM y cobertura muy amplia con un tráfico menor a comparación de las demás celdas a pesar del alcance de la red móvil.

En la tabla (3-5) se puede observar cómo se divide el tipo de celda por medio del factor de la distancia para cada una de ellas conforme a los datos recopilados en la actualidad.

Relación Celda - Distancia.	
Tipo de celda	Rango de alcance (metros)
Macrocelda	1, 500 - 25,000
Minicelda	700 - 1,500
Microcelda	300 - 700
Picocelda	20 - 200

Tabla (3-5). Tipos de celdas con relación a la distancia.

Teniendo en cuenta todo el análisis de la población de Villa Hidalgo para realizar un cálculo profundo del tráfico y de los usuarios potenciales es necesario tener en cuenta la zona a cubrir total para los poblados, ésta es una distancia total de 4.5 kilómetros y basándonos en la tabla (3-5) el alcance para la propuesta de radio cobertura en esta zona estará determinada utilizando los rangos de distancia de una macrocelda.

3.4.2 Elementos de una Radio Base para tecnología GSM

La selección del equipamiento para una tecnología de segunda generación tiene como objetivo señalar todos los elementos necesarios para operar la radio base. En la actualidad, los equipos de segunda generación trabajan en la frecuencia de 1900 MHz y 850 MHz; con esto, se conoce que los equipos para cada tecnología tienen distintas características. Sin embargo, estando enfocados en la frecuencia de 1900 MHz, se tiene una radio base y de selección de equipo esencial para la operatividad en dicha frecuencia, dado que en base a la investigación realizada los equipos para GSM en la mayoría operan en una radio base 2106 del proveedor Ericsson como se muestra en la figura. 3-15.

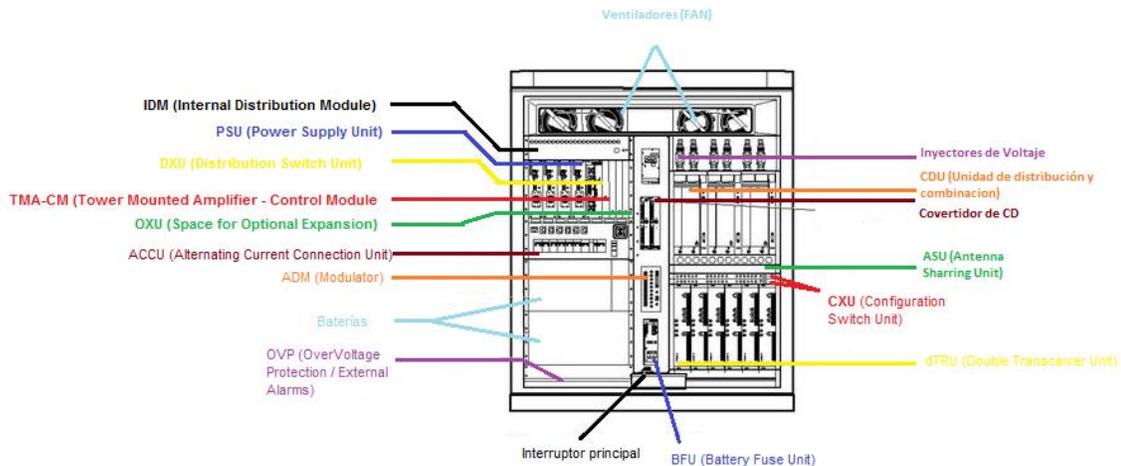


Figura. 3-15. Elementos de una RBS 2106.

- **Radio base o BTS 2106.**

Una radio base 2106, denominada así debido a que se manejan distintos tipos de familias y modelos dentro de las mismas, para este caso se encuentra ubicada dentro de las radio bases de la familia 2000. Ésta es la radio base que mayormente opera en nuestro país con un 95% sobre la red de GSM. Hay que señalar que dicha radio base es de tipo “outdoor”, que se instala en la intemperie y es catalogada como una de las radio bases más efectivas con alta

capacidad para el procesamiento de señales para la tecnología GSM. Los principales elementos de una RBS 2106 son:

- 6 dTRU, equivalente a doce unidades transceptoras dado que cada elemento es doble.
- En el mismo gabinete existe un filtro híbrido con la función de operar con uno, dos o tres sectores.
- Soporta distintas frecuencias en banda base, 800, 900, 1800 y 1900 MHz.
- La potencia de salida es de 33 W / 45.2 dBm para frecuencias de 800 y 900 Mhz y la potencia de 25 W / 44 dBm para frecuencias de 1800 y 1900 Mhz.
- La sensibilidad de recepción es de -110.5 dBm sin involucrar ganancias.
- El rendimiento en términos de radiofrecuencia ha sido probado y garantizado.
- Tiene 12 transceptores *EDGE* en todos los intervalos de tiempo.
- Tiene un alcance amplio de hasta 121 kilómetros.
- Los equipos aceptan todo tipos de configuraciones para *TMA* y dúplex.
- Cuatro puertos de transmisión que admiten hasta 8 Mbps.
- Contiene tecnología de localización para equipos de asistidos por GPS.
- Tiene respaldo de baterías interna y expandible con baterías externas en caso de tener falla eléctrica para soportar hasta 8 horas en total.
- El hardware es independiente de la interface de transmisión.
- Preparado para el aire libre y acondicionamiento interno para ambientes extremos.

Las características que tienen los componentes de la radio base 2106, visibles en (*Anexo E*) son cualidades muy importantes para la propuesta, los elementos internos más manipulados son algunos específicos que procesan la señal y en dónde se realiza la conexión de comunicación entre las antenas y los sectores a operar los cuales son:

DTRU. Por sus siglas en inglés (*Double Transceiver Unit*) es la unidad encargada del procesamiento de la señal y de la recepción y transmisión de la misma. Cada DTRU es de función doble, por lo que en total existen doce transceptores para la transmisión y recepción de la señal como se muestra en la figura. 3-16.



Figura 3-16. 6 dTRU's en una RBS 2106.

DXU. Por sus siglas en inglés (*Distribution Switch Unit*) es la unidad que actúa como CPU e interfaz entre la red de transmisión y los transceptores o DTRU'S. En esta unidad se registran todos los tiempos de la radio base y se manipulan todo tipo de configuraciones para la operación en los puertos como se muestra en la figura 3-17 y la figura 3-18.

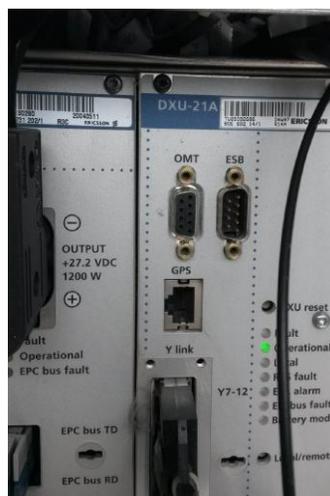
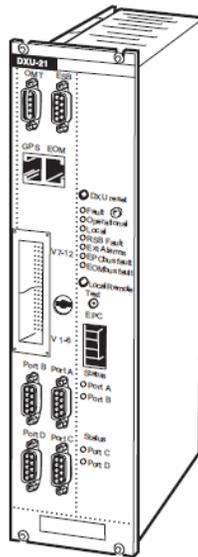


Figura 3-17. DXU (*Distribution Switch Unit*).

La radio base propuesta cuenta con todas las características esenciales para la propuesta de radio cobertura de la localidad en Villa Hidalgo debido a que también se sabe, el clima en la zona es aleatorio y el terreno ubicado es una zona rural es el equipo adecuado.

3.4.3 Ficha Técnica

Figura 3-18. DXU operacional instalada en una BTS 2106.



Para la propuesta, se ha decidido utilizar el proveedor Ericsson, debido a que son los equipos más conocidos e instalados dentro de toda la red de GSM en México. Ericsson provee toda la tecnología, instalación e implementación de una radio base. Para la propuesta de radio cobertura se ha investigado con manuales del proveedor Ericsson y hoja de especificaciones las cuáles se manejarán de la siguiente forma.

- **Anexo B.** Hoja de especificaciones de la radio base 2106 “*outdoor*” de Ericsson.
- **Anexo C.** Hoja de especificaciones de todos los elementos internos dentro de la radio base 2106.

3.5 Selección de medio de transmisión (Feeder).

La selección del medio guiado como interfaz o medio de transmisión entre los multiplexores conectados a las antenas con “jumpers” y los *dTRU's* es indispensable de igual manera para conocer la viabilidad de las pérdidas que éstos implican y definir anticipadamente con todos los cálculos cuál es el proveedor que entrega mejor calidad con respecto a los beneficios en material y las pérdidas de potencia en una cierta distancia de cobertura entregada para evaluar la fidelidad de la señal a los usuarios de Villa Hidalgo.

El medio de transmisión tiene como características principales el diámetro del cable, la rigidez y las pérdidas que se generan a cierta distancia dependiendo el tipo de feeder y la frecuencia de operación. Éstas características son las que se toman en consideración para la elección óptima del proveedor del medio de transmisión.

Se tienen considerados 4 tipos comunes de feeders que se diferencian esencialmente por sus características mecánicas y/o su rigidez, los cuales son:

- *Feeder de pocas pérdidas o rígido.*
- *Feeder flexible.*
- *Feeder super flexible.*
- *Feeder de aluminio.*

Las ventajas y desventajas varían conforme al tamaño del diámetro y la frecuencia de operación, sin embargo, se ha realizado una comparación detectando que el feeder entre mayor rigidez posea, menor pérdidas a largas distancias existen. Para el alcance del proyecto se ha tomado como referencia el diámetro común utilizado en la mayoría de las radio bases instaladas en nuestro país, el cuál es de 7/8 de pulgada. Esto debido a que se encuentra estandarizado de igual manera con base a las distancias como se muestra en la tabla (3-6).

Relación de feeder Diámetro - Distancia.		
Tipo de cable	Diámetro (Pulgadas / centímetros)	Rango de altura de antenas (Metros)
Coaxial	(1/2") / (1.27 cm)	0 - 29.9
Coaxial	(7/8") / (2.2225 cm)	30 - 60
Coaxial	(1 5/8") / (4.1275 cm)	60.1 - 120

Tabla (3-6). Diámetro de cable coaxial conforme a distancia de antenas.

Dado que la referencia en la frecuencia de operación es conocida se considerará el proveedor que mejor se adecúe a los cálculos de operación. El proveedor del medio de transmisión para la propuesta de cobertura dentro del proyecto es la compañía LS Cable & System quién provee cable coaxial de distintas características.

El cable coaxial feeder que se utilizará tiene las óptimas características para la propuesta del medio de transmisión, contiene las siguientes características como se muestra en las tablas (3-7) y (3-8), en dónde se aprecian las características mecánicas y eléctricas del mismo, así como su atenuación en una distancia y frecuencia específica.

Características eléctricas de feeder (Proveedor LS Cable & System)		Características mecánicas de feeder (Proveedor LS Cable & System)	
Características	Descripción	Características	Descripción
Máxima frecuencia de operación	5.0 GHz	Código de feeder	LHF 22D / LHF-FR 22D
Resistencia en CD	Conductor Interno / 2.0 Ω /km (0.6 Ω /1,000ft) Conductor Externo / 1.9 Ω /km (0.6 Ω /1,000ft)	Peso estándar	0.42 kg /m
Velocidad de propagación	90%	Temperatura de operación	(- 40 °C ~ + 80 °C)
Pico máximo de potencia	90 KWatts	Resistencia de aplastamiento o fractura	1.4 kg/mm
Impedancia	50 Ω	Máxima fuerza de tensión	147 kg
Pérdida de retorno	23 dB	Radio mínimo de curvatura	250 milímetros

Imagen (3-7). Características mecánicas y eléctricas de feeder del proveedor.

Atenuación de feeder de proveedor		
Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100m dB/100ft)	Potencia nominal promedio (kW)
30	0.60 0.18	11.73
100	1.11 0.34	6.36
150	1.37 0.42	5.61
450	2.44 0.74	2.92
700	3.07 0.94	2.39
824	3.38 1.03	2.12
894	3.53 1.08	2.03
960	3.67 1.12	1.95
1000	3.76 1.15	1.91
1700	5.04 1.54	1.44
1800	5.21 1.59	1.39
2000	5.52 1.68	1.31
2300	5.98 1.82	1.22
2400	6.13 1.87	1.19
2700	6.55 2.00	1.11
3000	6.96 2.12	1.05
3500	7.63 2.33	0.96

Tabla (3-8). Atenuación de feeder en relación a la frecuencia y distancia.

De igual manera, se anexa la ficha técnica en (*Anexo F*), para más detalles de las características del feeder a utilizar en la propuesta.

3.6 Selección de duplexor

La selección del duplexor para combinar las frecuencias de Rx y Tx hacia una salida única es indispensable de igual manera para conocer las pérdidas que se tienen al pasar por éste tipo de filtros de radiofrecuencia, esto con la intención de tener una calidad en la señal. El proveedor que se va a utilizar para éste componente no menos importante dentro de la

infraestructura de GSM es *M/A – Com Cooperation*. La cuál ofrece un producto en el que la pérdida de inserción a la salida del filtro de frecuencias es de 0.5 dB como se muestra en las características principales del componente en la tabla (3-9). De igual manera, se pueden encontrar todas las especificaciones en el (*Anexo D*).

Características generales de duplexor				
Parámetros	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
Frecuencia de operación	1850	1900	1990	MHz
Pérdida de filtro al retorno	15	16.5	18	dB
Pérdida de filtro por inserción	0.5	0.65	0.8	dB
Temperatura de operación	(-25)	30°	70°	°Centígrados
Potencia de transmisión en operación	50	200	800	Watts
Húmedad	70	80	90	%
Impedancia	50			Ohms

Tabla (3-9). Características generales de duplexor.

Capítulo 4. Análisis y cálculo de cobertura

4.1 Tráfico

Adicional a la infraestructura que se debe tener en cuenta para colocar una BTS, se tiene que planificar la forma de solventar las llamadas en tiempo real de modo que no se pierda la calidad de las mismas mediante un dimensionamiento de tráfico, paralelamente mediante un balance en el sistema y en base al modelo de propagación Cost-231, se tiene que determinar la potencia mínima requerida se necesita el equipo para tener un nivel de señal y cobertura deseada.

De acuerdo a la Recomendación UIT-T E.600 el tráfico es el proceso de llegadas y liberaciones de las demandas de los órganos de una red, esto se refiere a los intentos y las llamadas exitosas que pueden llegar a tener una BTS en un momento dado.

El tráfico lo utilizamos para referirnos al momento crítico en el que los usuarios pueden realizar o intentar una llamada al mismo tiempo, ya que esta comunicación se basa en

utilizar un canal bidireccional y depende de la secuencia de eventos ocurridos en el establecimiento de una llamada.

Hay dos tipos de tráfico:

Tráfico a nivel de llamadas: es la relación de eventos ocurridos cuando se establece una llamada y duración de la misma.

Tráfico a nivel de paquetes: se refiere al intercambio de información (paquetes) que ocurre durante dicha llamada.

De igual forma el tráfico se explica mediante:

Tráfico ofrecido: tráfico que podría cursar un conjunto de órganos infinitamente grande, es decir la capacidad que una BTS tiene para solventar un determinado número de llamadas.

Tráfico cursado: tráfico atendido por un grupo de órganos, es decir, aquellas llamadas exitosas que en el momento en el que usuario marco, se enlazo su llamada al usuario de destino.

Tráfico perdido: es aquel que no ha sido cursado por el sistema debido a la congestión que hay en un determinado momento, es decir, las llamadas que no fueron enlazadas con el usuario de destino.

4.1.1 Intensidad de tráfico

Cuando se realizan los intentos de llamada, se utilizan recursos, ya que en el momento de mayor tráfico los usuarios llegan a esperar hasta que los recursos estén disponibles, debido a que las estaciones base cuentan con un determinado número de canales, la encargada de realizar esta operación es la intensidad de tráfico.

Dicha intensidad de tráfico tiene como unidad de medida el Erlang, que de acuerdo con la Recomendación IUT-T E.600 define como los órganos ocupados o esperados en un sistema, es una medida adimensional. Su fórmula se muestra en la ecuación (4.1).

$$C = \frac{A}{T} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

Dónde:

$A = \text{Tráfico ofrecido}$

$C = \text{número de llamadas}$

$T = \text{Tiempo promedio de llamadas}$

Erlang se utiliza como indicador de una trayectoria por unidad de tiempo, que es una serie temporal de intervalos distribuidos exponencialmente, se basa en el proceso de Poisson donde trata de un caso de capacidad infinita que da lugar a un número de canales ocupados, es decir el número esperado de canales ocupados en determinado tiempo, para este caso 1 Erlang ocupa un canal por 3600 segundos que equivale a una hora.

Otra forma de medir el tráfico es *Centi Call Seconds (CCS)* donde el uso de un canal es de 100 segundos, por lo tanto $1 \text{ Erlang} = 36 \text{ CCS}$.

4.1.2 Teoría de Erlang B

Cuando se habla de Erlang como una unidad adimensional también se habla de una probabilidad de bloqueo ya que el sistema tiene un número limitado de canales por lo que hay llamadas que no son conectadas con el usuario destino, debido a que los canales disponibles de una BTS se encuentran ocupados y esas llamadas se pierden.

La ecuación (4.2) de Erlang B tiene en cuenta factores como tráfico ofrecido y el número de canales disponibles, ya que toma en cuenta la probabilidad que no habrá conexión por no tener recursos disponibles.

$$P_b = \frac{E^m}{\sum_{i=0}^m \frac{E^i}{i!}} \quad \text{Ecuacion (4.2)}$$

Dónde:

P_b = Probabilidad de bloqueo

E = Cantidad total de tráfico en Erlangs Tráfico ofrecido

m = número de canales

Con la ecuación (4.2) se puede realizar el cálculo de la cantidad mínima recursos que se requiere para solventar el servicio en la hora de mayor tráfico, una forma práctica de verificar el número de canales que se necesitan para tener una probabilidad de bloqueo menor al esperado es mediante la tabla de Erlang como se muestra en la tabla (4-1) donde la columna (N) son los números de canales y la fila (B) es la probabilidad de bloqueo.

Erlang B Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N
B is in %

N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44
26	11.54	12.97	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89	26.43	28.94	34.39	41.10
27	12.21	13.69	14.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94	27.57	30.16	35.80	42.76
28	12.88	14.41	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00	28.71	31.39	37.21	44.41
29	13.56	15.13	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05	29.85	32.61	38.63	46.07
30	14.25	15.86	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11	31.00	33.84	40.05	47.74
31	14.94	16.60	17.44	19.85	21.19	22.83	25.77	29.17	32.14	35.07	41.46	49.40
32	15.63	17.34	18.21	20.68	22.05	23.73	26.75	30.24	33.28	36.30	42.88	51.06
33	16.34	18.09	18.97	21.51	22.91	24.63	27.72	31.30	34.43	37.52	44.30	52.72
34	17.04	18.84	19.74	22.34	23.77	25.53	28.70	32.37	35.58	38.75	45.72	54.38
35	17.75	19.59	20.52	23.17	24.64	26.44	29.68	33.43	36.72	39.99	47.14	56.04
36	18.47	20.35	21.30	24.01	25.51	27.34	30.66	34.50	37.87	41.22	48.56	57.70
37	19.19	21.11	22.08	24.85	26.38	28.25	31.64	35.57	39.02	42.45	49.98	59.37
38	19.91	21.87	22.86	25.69	27.25	29.17	32.62	36.64	40.17	43.68	51.40	61.03
39	20.64	22.64	23.65	26.53	28.13	30.08	33.61	37.72	41.32	44.91	52.82	62.69
40	21.37	23.41	24.44	27.38	29.01	31.00	34.60	38.79	42.48	46.15	54.24	64.35
41	22.11	24.19	25.24	28.23	29.89	31.92	35.58	39.86	43.63	47.38	55.66	66.02
42	22.85	24.97	26.04	29.09	30.77	32.84	36.57	40.94	44.78	48.62	57.08	67.68
43	23.59	25.75	26.84	29.94	31.66	33.76	37.57	42.01	45.94	49.85	58.50	69.34
44	24.33	26.53	27.64	30.80	32.54	34.68	38.56	43.09	47.09	51.09	59.92	71.01
45	25.08	27.32	28.45	31.66	33.43	35.61	39.55	44.17	48.25	52.32	61.35	72.67

Tabla (4-1) Tabla Erlang B

4.1.3 Grado de Servicio (GoS)

La recomendación IUT-T E.600 lo define como el conjunto de variables de ingeniería de tráfico utilizadas para tener una medida de la aptitud de un grupo de órganos en condiciones específicas; estas variables pueden expresarse como la probabilidad de pérdida, la demora del tono de invitación a marcar etc., es decir la probabilidad de que una llamada llegue a fallar.

Indica si los equipos son adecuados en determinada situación como la capacidad para cursar el tráfico durante la hora más cargada, tomando en cuenta los parámetros subjetivos que deriva de la precepción que tiene el usuario sobre el servicio ofrecido por el proveedor y los parámetros objetivos que se basa en la observación y medición real.

4.2 Dimensionamiento de canales

Para realizar el cálculo de tráfico, el factor que se tomará en cuenta es la densidad de población en base a los datos proporcionados por INEGI, se tomó como referencia la edad probable en la que una persona es un posible usuario de telefonía móvil por lo que se tomaron en cuenta a partir de 12 años.

- Cantidad de posibles usuarios: 11,590 personas, por lo que será el 10% donde se asume que intentaran realizar una llamada.
- Se toma una calidad de servicio del 2% ya que es una estadística utilizada en la práctica donde esa cantidad de congestión está permitida.
- Procederemos a realizar el cálculo en configuración *Full Rate* para *GSM*, Por lo que necesitaremos 3 portadoras para tener el recurso necesario para atender un sector.
- Se consulta la tabla de Erlang B y se consulta la columna (N) el número de canales, con una probabilidad de bloqueo del 2% y se obtiene que el tráfico ofrecido será de 14.90 Erlangs como se muestra en la tabla (4-2).

Erlang B Traffic Table												
Maximum Offered Load Versus B and N												
N/B	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46

Tabla (4-2) Cálculo de canales Full Rate

- Se toma T con el valor de 110 segundos, debido a que en la telefonía móvil el promedio de la duración de una llamada es de 90-110 segundos.
- Sustituimos en la ecuación (4.1), para determinar el número de llamadas por sector.

$$C = \frac{14.90}{\frac{110}{3600}} = 487 \text{ llamadas por sector}$$

- Las 487 llamadas por sector, solo dará servicio a un sector, pero dentro de la propuesta se utilizarán 2 sectores por lo tanto se realiza el producto.

$$C = 487.636 \cdot 2 = 974 \text{ llamadas por radiobase}$$

- Se procede a realizar el cálculo en configuración *Half Rate* para GSM, de acuerdo a la configuración *Half Rate* si requerimos tres portadoras se ubican los 44 canales en la tabla Erlang B con una probabilidad de bloqueo del 2% y se obtiene que el tráfico ofrecido será de 34.68 Erlangs como se muestra en la tabla (4-2).

Erlang B Traffic Table												
Maximum Offered Load Versus B and N												
N/B	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
44	24.33	26.53	27.64	30.80	32.54	34.68	38.56	43.09	47.09	51.09	59.92	71.01

Tabla (4.3) Cálculo de canales Half Rate

- y se sustituye en la ecuación (4.1) para determinar el número de llamadas por sector.

$$C = \frac{34.68}{110 \cdot 3600} = 1135 \text{ llamadas por sector}$$

- Las 1135 llamadas por sector, solo cubriría a solo un sector, pero dentro de la propuesta se utilizarán 2 sectores por lo tanto se realiza el producto.

$$C = 1135 \cdot 2 = 2270 \text{ llamadas por radiobase}$$

Del resultado anterior se concluye que la BTS operando en configuración *Half Rate* cubre al 10% de la población, ya que puede atender el 10.31% en la hora de mayor tráfico.

4.3 Modelos de Espacio Libre

Se define a un modelo de propagación como un conjunto de expresiones matemáticas y algoritmos usados para representar las características del comportamiento y atenuación de la señal en un ambiente específico. Los modelos de propagación tienen su descendencia en Japón con Okumura. Los primeros modelos de propagación contaban con ciertos datos que con el tiempo fueron modificados dadas las complicaciones y ajustes en un sistema de telecomunicaciones móviles. Éste modelo fue utilizado como pilar para predecir la potencia de la señal atenuada cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista, los primeros análisis matemáticos por parte de Okumura fueron mejorados por unas distintas mediciones con antenas directivas y omnidireccionales en distintos terrenos con limitaciones.

El modelo de Hata es aquél modelo en considerar todos estos datos importantes de las limitaciones en una zona y terreno dado que consideró una serie de relaciones numéricas para complementar el valor promedio de la pérdida básica de propagación. Las aproximaciones hechas por Hata involucran dividir las áreas de predicción categorizadas por el tipo de terreno, la primera a considerar fueron las zonas abiertas y/o sin limitaciones

de terreno en dónde no existe relieve y/o estructuras críticas para considerarlo en la atenuación de la señal. Urbana o con bastantes limitaciones debido a las infraestructuras alrededor con gran concentración de viviendas, edificaciones, plazas comerciales o monumentos. Suburbana, que considera ciudades medianas en dónde las infraestructuras están presentes, sin embargo, son más escasas. Hata considera el factor de variación en el terreno en las siguientes fórmulas descritas:

Cálculo de pérdidas y atenuación en la trayectoria de transmisión:

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

(Ecuación 4.3)

En dónde:

- f = Frecuencia de operación. (1500 MHz - 2000 MHz)
- d = Distancia entre el transmisor y el receptor. (1 Km – 20 Km)
- $h_{te} = h_{Tx}$ = Altura efectiva de la antena transmisora (30 metros – 200 metros)
- $h_{re} = h_{Rx}$ = Altura efectiva de la antena receptora (1 metro – 10 metros)
- $a(h_{re})$ = Factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil. (dB).

Hata, varía el factor del terreno en el parámetro de correlación para la altura efectiva del móvil para las zonas urbanas y suburbanas, para el caso de las zonas rurales o abiertas, desarrolló una fórmula específica, sin embargo, en este proyecto no es funcional debido a que la zona a cubrir en Villa Hidalgo, San Luis Potosí, es una zona suburbana.

Factor de correlación en factor a la altura efectiva para ciudades pequeñas o medianas (Zona suburbana).

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ [dB]} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Factor de correlación en factor a la altura efectiva para ciudades grandes o inmensas con gran cantidad de infraestructuras y obstrucciones. ($f_c \geq 300 \text{ MHz}$). (Zona urbana).

$$a(hre) = 3.2 (\log 11.75 hre)^2 - 4.97 [dB] \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Para el cálculo de la pérdida de atenuación por trayectoria en áreas suburbanas:

$$L_p = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 [dB] \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Para el cálculo de la pérdida de atenuación por trayectoria en áreas rurales:

$$L_{50} (dB) = L_{50}(\text{urbano}) - 4.78 (\log fc)^2 - 18.33 \log(fc) - 40.98 \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

4.3.1 Modelo COST 231 (Extensión del modelo Hata).

La cooperativa Europea para la investigación científica y técnica (EURO-COST) desarrolló el modelo COST 231, en el cual extiende el modelo de Hata hasta el rango de los 2 GHz cubriendo la banda de VHF y UHF.

El modelo se expresa como:

$$L_{50}(\text{Urbano}) dB = 46.3 + 33.9 \log fc - 13.82 \log h_{te} - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d + C_M \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

En dónde C_M es el parámetro añadido en el modelo extendido:

- $C_M = 0$ para ciudades medianas y suburbanas, 3 para zonas urbanas.

Una de las aportaciones de este modelo es considerar pérdidas por dispersión en distintas zonas considerando la probabilidad en que el terreno influya en la trayectoria.

4.4 Cálculo de enlace

Dentro del proyecto, los cálculos matemáticos para conocer el alcance real y fidelidad del servicio de radio cobertura, son importantes para reconocer al proyecto como viable en base a los datos de las potencias operativas que actualmente los sitios celulares brindan. Para ello, se deben considerar todos los aspectos importantes como la asignación de

frecuencias de transmisión y recepción para los dos sectores definidos, la pérdida de propagación de la señal en base a la distancia, el relieve con sus limitaciones, ganancias de los dispositivos y el hardware utilizado y por último, la potencia de recepción real que se va a entregar al usuario. A continuación, se enlistan nuevamente los datos de las frecuencias de transmisión y recepción que se utilizarán para los cálculos.

4.4.1 Cálculo de potencias en enlace de bajada

El cálculo de bajada es la mínima potencia que el móvil recibirá para su correcta interacción de comunicación con la radio base dada la propagación de la señal a una distancia máxima de cobertura. Para el respectivo cálculo se cuentan con los siguientes datos:

Datos para cálculo del enlace		
Parámetros	Sector 1	Sector 2
Altura máxima de torre	60 metros (1650 m SNM)	
Altura real de antena	60 metros	60 metros
Altura máxima de cobertura	40 metros (1690 m SNM)	40 metros (1690 m SNM)
Diferencia de altura entre Tx y Rx	20 metros	20 metros
Distancia máxima de cobertura	4.5 kilómetros	4.5 kilómetros
Trayectoria por feeder de DTRUs a Antena	63 metros	63 metros

Tabla 4-4. Datos generales para cálculos de potencias UL y DL.

Es indispensable calcular la potencia en decibeles en base al modelo de cost-231 el cuál se representa con las siguientes fórmulas mencionadas anteriormente:

- **Cálculo de potencias con fórmulas del modelo COST-231 :**

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

(Ecuación 4.8)

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ [dB]} \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

$$L_p = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 \text{ [dB]} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Por lo cual calcularíamos con la frecuencia de transmisión la potencia de recepción que se propaga hasta el móvil con la siguiente fórmula:

$$P_{RX \text{ Móvil}} = P_{Out \text{ BTS}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} - L_p \quad \text{Ecuación (4.8)}$$

$$PIRE = P_{Out \text{ BTS}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} \quad \text{Ecuación (4.9)}$$

$$P_{RX \text{ MOVIL}} = PIRE - L_p \text{ Suburbano} \quad \text{Ecuación (4.10)}$$

Dónde:

- $P_{RX \text{ Móvil}}$ = Potencia de recepción en el móvil.
- $P_{Out \text{ BTS}}$ = Potencia de salida de la RBS. (44 dBm)
- L_C = Pérdidas por combinador.(0)
- L_F = Pérdidas por medio guiado o feeder.(5.52 dB cada 100 metros de trayectoria)
- L_D = Pérdidas por duplexor (0.8 dB, máximo).
- G_{TX} = Ganancia de antena. (20.5 dBi)
- $L_p(\text{Suburbano})$ = Pérdidas por propagación de la señal en una zona suburbana.
- $PIRE$ = Potencia isotrópica efectiva radiada.

Antes de iniciar con los cálculos tenemos que ajustar la atenuación del feeder. Dado que la torre tiene una altura máxima de 60 metros, tenemos el dato de que existe una pérdida de 5.52 cada 100 metros, consideraremos 63 metros de trayectoria de feeder dado que el transmisor está a 60 metros de altura exactamente y tendríamos por consiguiente la atenuación de la siguiente forma:

$$\text{Atenuación de feeder a 63 metros de trayectoria} = \frac{63 \cdot 5.52}{100} = \underline{\underline{3.4776 \text{ [dB]}}}$$

Para cada frecuencia de transmisión, se procede a realizar el cálculo de la potencia de bajada para cada sector considerando que la propuesta del sistema maneja dos sectores y tres frecuencias de transmisión por cada uno. El procedimiento es el siguiente:

- **Sector 1**

A) Determinar la frecuencia de transmisión: $f_{c \text{ tx}} = 1945.4 \text{ MHz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1945.4 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1945.4 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339 [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano}) \text{ dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d \\ = 46.3 + 33.9 \log 1945.4 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 \\ = 46.3 + 111.49 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = \underline{\underline{163.231 [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.231 - 6.78 - 5.4 = \underline{\underline{151.05 [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivo por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.9):

$$PIRE = P_{Out \text{ BTS}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} = 44 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 = \underline{\underline{60.222 [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de bajada considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.10):

$$P_{RX \text{ Móvil}} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 60.222 - 151.051 = \underline{\underline{-90.829 [dBm]}}$$

A) Determinar la frecuencia de transmisión: $f_c \text{ tx} = 1947.8 \text{ MHz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) [dB] = (1.1 \log 1947.8 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1947.8 - 0.8) [dB] = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339 [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano}) \text{ dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d \\ = 46.3 + 33.9 \log 1947.8 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = \\ 46.3 + 111.51 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = \underline{\underline{163.251 [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.251 - 6.78 - 5.4 =$$

$$\underline{151.071 [dBm]}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivo por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.9):

$$PIRE = P_{Out\ BTS} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} = 44 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 =$$

$$\underline{60.222 [dBm]}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de bajada considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.10):

$$P_{RX\ Móvil} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 60.222 - 151.071 = \underline{-90.848 [dBm]}$$

A) Determinar la frecuencia de transmisión: $f_c\ tx = 1947\ MHz$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1947 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1947 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{0.339 [dB]}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\ dB = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1947 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.49 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.50 + 5.44 = \underline{163.24 [dB]}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.24 - 6.78 - 5.4 =$$

$$\underline{151.06 [dBm]}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivo por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.9):

$$PIRE = P_{Out\ BTS} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} = 44 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 =$$

$$\underline{\underline{60.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de bajada considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.10):

$$P_{RX\ Móvil} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 60.222 - 151.06 = \underline{\underline{-90.837\ dBm}}$$

• **Sector 2**

A) Determinar la frecuencia de transmisión: $f_c\ tx = 1946.2\ MHz$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1946.2 - 0.7) 1.6 -$$

$$(1.56 \log 1946.2 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{s0}(\text{Urbano})\ dB = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte)$$

$$\log d = 46.3 + 33.9 \log 1946.2 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 =$$

$$46.3 + 111.5 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.50 + 5.44 = \underline{\underline{163.24\ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{s0}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.24 - 6.78 - 5.4 =$$

$$\underline{\underline{151.06\ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivo por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.9):

$$PIRE = P_{Out\ BTS} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} = 44 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 =$$

$$\underline{\underline{60.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de bajada considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.10):

$$P_{RX\text{ Móvil}} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 60.222 - 151.06 = \underline{\underline{-90.837\text{ dBm}}}$$

A) Determinar la frecuencia de transmisión: $f_c\text{ tx} = 1986.6\text{ Mhz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1986.6 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1986.6 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\text{ [dB]}}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\text{ dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1986.6 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.49 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.80 + 5.44 = \underline{\underline{163.54\text{ [dB]}}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 = 163.54 - 6.78 - 5.4 = \underline{\underline{151.36\text{ [dBm]}}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivo por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.9):

$$PIRE = P_{Out\text{ BTS}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} = 44 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 = \underline{\underline{60.222\text{ [dBm]}}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de bajada considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.10):

$$P_{RX\text{ Móvil}} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 60.222 - 151.36 = \underline{\underline{-91.138\text{ dBm}}}$$

A) Determinar la frecuencia de transmisión: $f_c tx = 1949.4 \text{ Mhz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1949.4 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1949.4 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{0.339 \text{ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano}) \text{ dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1949.4 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.52 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.52 + 5.44 = \underline{163.26 \text{ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.26 - 6.78 - 5.4 = \underline{151.08 \text{ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivo por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.9):

$$PIRE = P_{Out \text{ BTS}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} = 44 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 = \underline{60.222 \text{ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de bajada considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.10):

$$P_{RX \text{ MOVIL}} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 60.222 - 151.08 = \underline{-90.858 \text{ dBm}}$$

4.4.2 Cálculo de potencias en enlace de subida.

El cálculo de subida es la mínima potencia que la radio base recibirá para su correcta interacción de comunicación con los usuarios móviles dada la propagación de la señal a una distancia máxima de cobertura. Para la potencia de subida, nos basamos en los datos que nos proporciona la radio base como la sensibilidad de recepción en dBm, la cual, extrayendo la información de la hoja de especificaciones de la BTS 2106 del proveedor

Ericsson se tiene que la sensibilidad de recepción que es la mínima potencia para la comunicación es:

$$P_{Rx} (BTS) \text{ dB} \geq - 110.5 \text{ dBm}$$

Para calcular la potencia desde el móvil que recibirá la RBS se realiza el proceso inverso y es necesario utilizar las siguientes fórmulas:

$$P_{Rx RBS} = P_{Out \text{ Móvil}} - L_P + G_{RX} + G_{DIV} - L_D - L_F \quad \text{Ecuación (4.11)}$$

$$PIRE = P_{Out \text{ Móvil}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} \quad \text{Ecuación (4.12)}$$

$$P_{Rx RBS} = PIRE_{Móvil} - L_P \quad \text{Ecuación (4.13)}$$

Dónde tenemos como datos adicionales:

- $P_{RX RBS}$ = Potencia de recepción hasta la RBS.
- $P_{Out \text{ Móvil}}$ = Potencia de salida del móvil. (30 dBm, 27 dBm, 21 dBm)
- G_{DIV} = Ganancia por diversidad. (3 dBi)

Para estos cálculos es necesario tomar la frecuencia de transmisión de igual manera para ambos sectores, sin embargo, también existen 3 clases de móviles con potencias de salida o de transmisión como se muestra en la tabla (4-5).

Clases de móviles	
Clase 1	33 dBm = 2W
Clase 2	30 dBm = 1W
Clase 3	27 dBm = 500 mW
Clase 4	21 dBm = 125 mW

Tabla 4-5. Clases de móviles y potencias.

Para los cálculos del proyecto se tomarán en cuenta las clases más comunes que son las clases 2, 3 y 4. Por lo cual, describiremos a continuación el procedimiento para el cálculo de la potencia de subida considerando las pérdidas y ganancias dentro del sistema.

- **Sector 1**

A) Determinar las frecuencias de transmisión: $f_c tx = 1945.4 \text{ MHz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1945.4 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1945.4 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{0.339 \text{ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano}) \text{ dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1945.4 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.49 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = \underline{163.231 \text{ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.231 - 6.78 - 5.4 = \underline{151.051 \text{ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando la información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivos como las clases de móviles por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.12):

$$\text{PIRE Móvil Clase 2} = P_{Out \text{ Móvil}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 30 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{49.222 \text{ [dBm]}}$$

$$\text{PIRE Móvil Clase 3} = P_{Out \text{ Móvil}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 27 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{46.222 \text{ [dBm]}}$$

$$\text{PIRE Móvil Clase 4} = P_{Out \text{ Móvil}} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 21 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{40.222 \text{ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de subida considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.13):

$$P_{Rx\ RBS\ Class\ 2} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 49.222 - 151.051 = \underline{\underline{-101.829\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Class\ 3} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 46.222 - 151.051 = \underline{\underline{-104.829\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Class\ 4} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 40.222 - 151.051 = \underline{\underline{-110.829\ [dBm]}}$$

A) Determinar las frecuencias de transmisión: $f_{c\ tx} = 1947.8\ MHz$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1947.8 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1947.8 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\ [dB] = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1947.8 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.51 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = \underline{\underline{163.251\ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.251 - 6.78 - 5.4 = \underline{\underline{151.071\ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando la información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivos como las clases de móviles por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.12):

$$PIRE\ Móvil\ Class\ 2 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 30 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{49.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ Móvil\ Class\ 3 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 27 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{46.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ Móvil\ Class\ 4 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 21 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{40.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de subida considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.13):

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 2} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 49.222 - 151.071 = \underline{\underline{-101.849\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 3} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 46.222 - 151.071 = \underline{\underline{-104.849\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 4} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 40.222 - 151.071 = \underline{\underline{-110.849\ [dBm]}}$$

A) Determinar las frecuencias de transmisión: $f_{c\ tx} = 1947\ \text{MHz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1947 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1947 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\ \text{dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1947 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.49 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.50 + 5.44 = \underline{\underline{163.24\ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.24 - 6.78 - 5.4 = \underline{\underline{151.06\ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando la información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivos como las clases de móviles por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.12):

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase}\ 2 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 30 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{49.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase}\ 3 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 27 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{46.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase}\ 4 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 21 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{40.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de subida considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.13):

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 2} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 49.222 - 151.06 = \underline{\underline{-101.838\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 3} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 46.222 - 151.06 = \underline{\underline{-104.838\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 4} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 40.222 - 151.06 = \underline{\underline{-110.838\ [dBm]}}$$

• **Sector 2**

A) Determinar las frecuencias de transmisión: $f_{c\ tx} = 1946.2\ \text{MHz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1946.2 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1946.2 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\ \text{dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1946.2 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.5 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.50 + 5.44 = \underline{\underline{163.24\ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.24 - 6.78 - 5.4 =$$

$$\underline{\underline{151.06\ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando la información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivos como las clases de móviles por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.12):

$$PIRE\ Móvil\ Clase\ 2 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 30 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{49.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ Móvil\ Clase\ 3 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 27 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{46.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ Móvil\ Clase\ 4 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 21 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{40.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de subida considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.13):

$$P_{Rx\ RBS\ \text{Clase 2}} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 49.222 - 151.06 = \underline{\underline{-101.838\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ \text{Clase 3}} = PIRE - L_p\ \text{Suburbano} = 46.222 - 151.06 = \underline{\underline{-104.838\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ \text{Clase 4}} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 40.222 - 151.06 = \underline{\underline{-110.838\ [dBm]}}$$

A) Determinar las frecuencias de transmisión: $f_c\ tx = 1986.6\ \text{Mhz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1986.6 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1986.6 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\ \text{dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1986.6 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.49 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.80 + 5.44 = \underline{\underline{163.54\ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.54 - 6.78 - 5.4 = \underline{\underline{151.36\ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando la información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivos como las clases de móviles por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.12):

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase 2} = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 30 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{49.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase 3} = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 27 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{46.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase 4} = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 21 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{40.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de subida considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.13):

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 2} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 49.222 - 151.36 = \underline{\underline{-102.138\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 3} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 46.222 - 151.36 = \underline{\underline{-105.138\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 4} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 40.222 - 151.36 = \underline{\underline{-111.138\ [dBm]}}$$

A) Determinar las frecuencias de transmisión: $f_c\ tx = 1949.4\ \text{Mhz}$

B) Calcular el factor de correlación con la ecuación (4.4):

$$a(hre) = (1.1 \log f_c - 0.7) hre - (1.56 \log f_c - 0.8) = (1.1 \log 1949.4 - 0.7) 1.6 - (1.56 \log 1949.4 - 0.8) = 4.67 - 4.33 = \underline{\underline{0.339\ [dB]}}$$

C) Calcular la atenuación por trayectoria en la transmisión con la ecuación (4.8):

$$L_{50}(\text{Urbano})\ \text{dB} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log hte - a(hre) + (44.9 - 6.55 \log hte) \log d = 46.3 + 33.9 \log 1949.4 - 13.82 \log 20 - 0.339 + (44.9 - 6.55 \log 20) \log 4.5 = 46.3 + 111.52 - 17.98 - 0.339 + 23.76 = 46.3 + 111.52 + 5.44 = \underline{\underline{163.26\ [dB]}}$$

D) Definir la pérdida de propagación en la zona suburbana del poblado de Villa Hidalgo con la ecuación (4.6):

$$L_p(\text{Suburbano}) = L_{50}(\text{urbano}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5.4 = 163.26 - 6.78 - 5.4 = \underline{\underline{151.08\ [dBm]}}$$

E) Calcular la potencia isotrópica radiada efectiva considerando la información de las fichas técnicas de cada elemento o dispositivos como las clases de móviles por la cual la señal se propaga con la ecuación (4.12):

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase}\ 2 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 30 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{49.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase}\ 3 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 27 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{46.222\ [dBm]}}$$

$$PIRE\ \text{Móvil}\ \text{Clase}\ 4 = P_{Out\ Móvil} - L_C - L_F - L_D + G_{TX} + G_{DIV} = 21 - 0 - 3.4776 - 0.8 + 20.5 + 3 = \underline{\underline{40.222\ [dBm]}}$$

F) Resultado final de la potencia efectiva de subida considerando todas las pérdidas por trayectoria y atenuaciones por dispositivos que componen la red con la ecuación (4.13):

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 2} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 49.222 - 151.08 = \underline{\underline{-101.858\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 3} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 46.222 - 151.08 = \underline{\underline{-104.858\ [dBm]}}$$

$$P_{Rx\ RBS\ Clase\ 4} = PIRE - L_p(\text{Suburbano}) = 40.222 - 151.08 = \underline{\underline{-110.858\ [dBm]}}$$

4.4.3 Resultados de los cálculos del enlace

Los cálculos del enlace son esenciales para conocer si realmente con los datos que obtuvimos y la selección del hardware se puede obtener un estimado de la operación de nuestro sistema con los cálculos realizados.

Para éste proyecto es muy importante contemplar éstos resultados ya que con ellos se muestra si es viable la implementación posterior o propuesta del mismo. A continuación en la tabla (4-6) y la tabla (4-7) se muestran los resultados de los cálculos realizados:

Resultados del cálculo del enlace						
Cálculo de bajada						
Parámetros	Sector 1			Sector 2		
Canal asignado	589	597	601	593	605	609
f = Frecuencia asignada (MHz)	1945.4	1947	1947.8	1946.2	1986.6	1949.4
d = Distancia máxima de cobertura (Kms)	4.5			4.5		
$h_{te} = h_{Tx}$ = Altura efectiva entre Tx y Rx (mts)	20			20		
$h_{re} = h_{Rx}$ = Altura promedio del receptor (mts)	1.6			1.6		
$a(fre)$ = Pérdidas en área suburbana o rural	0.339	0.339	0.339	0.339	0.339	0.339
$L_m = 0$	0			0		
$P_{Out\ BTS}$ = Potencia de salida de BTS (dBm)	44			44		
L_c = Pérdidas por combinador [dB]	0			0		
L_f = Pérdidas por feeder o medio guiado [dB]	3.4776			3.4776		
L_d = Pérdidas por duplexor [dB]	0.8 máximo			0.8 máximo		
G_{TX} = Ganancia de la antena transmisora [dBi]	20.5			20.5		
PIRE [dBm]	60.222	60.222	60.222	60.222	60.222	60.222
L_p = Pérdidas por propagación [dB]	151.051	151.071	151.06	151.06	151.36	151.08
$P_{rx\ Móvil}$ = Potencia de recepción en el móvil [dBm]	(-90.829)	(-90.848)	(-90.837)	(-90.837)	(-91.138)	-90.858

Tabla 4-6. Resultados del cálculo de bajada.

Resultados del cálculo del enlace						
Cálculo de subida						
Parámetros	Sector 1			Sector 2		
Canal asignado	589	597	601	593	605	609
f = Frecuencia asignada (MHz)	1945.4	1947	1947.8	1946.2	1986.6	1949.4
d = Distancia máxima de cobertura (Kms)	4.5			4.5		
$h_{te} = h_{Tx}$ = Altura efectiva entre T_x y R_x (mts)	20			20		
$h_{re} = h_{Rx}$ = Altura promedio del receptor (mts)	1.6			1.6		
$a(f_{re})$ = Pérdidas en área suburbana o rural	0.339	0.339	0.339	0.339	0.339	0.339
$L_m = 0$	0			0		
$P_{Out\ Móvil}$ = Potencia de salida del móvil (dBm)	30	27	21	30	27	21
L_c = Pérdidas por combinador [dB]	0			0		
L_f = Pérdidas por feeder o medio guiado [dB]	3.4776			3.4776		
L_d = Pérdidas por duplexor [dB]	0.8 máximo			0.8 máximo		
G Div = Ganancia por diversidad [dB]	3			3		
G_{TX} = Ganancia de la antena transmisora (dBi)	20.5			20.5		
PIRE 1 [dBm] [P Móvil 30]	49.222	49.222	49.222	49.222	49.222	49.222
PIRE 2 [dBm] [P Móvil 27]	46.222	46.222	46.222	46.222	46.222	46.222
PIRE 3 [dBm] [P Móvil 21]	40.222	40.222	40.222	40.222	40.222	40.222
L_p = Pérdidas por propagación [dB]	151.051	151.06	151.071	151.06	151.36	151.08
$P_{RX\ BTS}$ = Potencia de recepción en la BTS [dBm] [P Móvil 30]	(-101.829)	(-101.838)	(-101.849)	(-101.838)	(-102.138)	(-101.858)
$P_{RX\ BTS}$ = Potencia de recepción en la BTS [dBm] [P Móvil 27]	(-104.823)	(-104.838)	(-104.849)	(-104.838)	(-105.138)	(-104.858)
$P_{RX\ BTS}$ = Potencia de recepción en la BTS [dBm] [P Móvil 21]	(-110.823)	(-110.838)	(-110.849)	(-110.838)	(-111.138)	(-110.858)
$P_{RX\ BTS}$ = Potencia desensibilidad de recepción en la BTS [dBm]	(P_{Rx} (BTS) dB _z - 110.5 dBm)					

Tabla 4-7. Resultados del cálculo de subida.

4.5 Conclusiones

Los cálculos obtenidos nos demuestran que la propuesta del diseño de radio base, la selección de equipo, la lectura de terreno efectiva y el alcance de cobertura son óptimos para implementar la propuesta dado que todos los dispositivos que componen el sistema han sido seleccionados de tal manera que la radio cobertura en el poblado de Villa Hidalgo provea de una señal óptima y aceptable en los alrededores de la zona considerando el punto cardinal propuesto para la ubicación del sistema.

En la visita de sitio de igual manera se corroboró con todos los resultados obtenidos realizando pruebas escasez de cobertura de la tecnología GSM por lo cual la propuesta de radio cobertura abastecerá una mayor calidad de comunicación con los usuarios.

En la tabla (4-5), se observa la celda marcada en azul que sólo para el cálculo de subida con los móviles de muy baja potencia de salida (21 dBm), se tienen problemas para la recepción de la señal en base al cálculo de pérdidas y ganancias de la propagación de la misma. Sin embargo, hoy en día se sabe que con el avance de la tecnología y variedad de clases de móviles están en el rango de la potencia de salida de entre 27 y 30 dBm, por lo cual se considera un proyecto viable para mejorar la radio cobertura en el poblado.

La propuesta del proyecto ha sido considerada para la mejora de comunicación en el servicio de telefonía móvil dada la demanda que se ha considerado en la actualidad y en base a los resultados obtenidos de la investigación se considera un proyecto confiable con alcance para su implementación.

ANEXOS.

Anexo A. Especificaciones técnicas de antena propuesta KATHREIN

2-Port Antenna B1
 Frequency Range 1710-2170
 HPBW 30°

KATHREIN

2 Ports

2-Port Antenna 1710-2170 30° 21dBi 0°-8°T



Type No.	742351v01		
	B1		
	1710-2170		
Frequency range	1710 – 1880 MHz	1850 – 1990 MHz	1920 – 2170 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 20.2 dBi	2 x 20.5 dBi	2 x 20.7
Horizontal Pattern:			
Half-power beam width	36°	35°	33°
Front-to-back ratio, copolar	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Cross polar ratio			
Main direction	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB	Typically: 20 dB
Sector	> 10 dB	> 10 dB	> 10 dB
Sidelobe suppression	> 14 dB	> 14 dB	> 14 dB
Tracking, Avg.		0.5 dB	
Squint		±1.0°	
Vertical Pattern:			
Half-power beam width	7.4°	7.0°	6.7°
Electrical tilt	0°-8°, continuously adjustable		
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam	0° ... 4° ... 8° T 18 ... 17 ... 16 dB	0° ... 4° ... 8° T 18 ... 18 ... 17 dB	0° ... 4° ... 8° T 18 ... 17 ... 16 dB
Impedance	50 Ω		
VSWR	< 1.5		
Isolation, between ports	> 30 dB		
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. effective power per port	250 W (at 50 °C ambient temperature)		
Max. effective power for the antenna	500 W (at 50 °C ambient temperature)		



Mechanical specifications	
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom
Adjustment mechanism	1x, Position bottom continuously adjustable
Wind load (N) [lbf]	Frontal: 540 [121] Lateral: 135 [30] Rearside: 640 [144]
(at Rated Wind Speed: 150 km/h)	
Max. wind velocity (km/h) [mph]	200 [124]
Height/width/depth (mm) [inches]	1304 / 299 / 69 [51.3 / 11.8 / 2.7]
Category of mounting hardware	M (Medium)
Weight (kg) [lb]	14 / 16 (clamps incl.) [30.7 / 35.3 (clamps incl.)]
Packing size (mm) [inches]	1589 x 322 x 108 [62.6 x 12.7 x 4.6]
Scope of supply	Panel and 2 units of clamps for 42-115 mm [1.7-4.5 inches] diameter

RBS 2106

The GSM Macro Outdoor Base Station



RBS 2106 is a high capacity, compact outdoor macro radio base station supporting up to twelve transceivers per cabinet. It is possible to build one, two and three sector configurations including dual band configurations in one cabinet.

Being the latest member in the RBS 2000 family, RBS 2106 is to date the most powerful outdoor RBS in the world. Keeping the successful characteristics of the existing RBS 2000 portfolio and improving functionality as well as operation and maintenance makes the RBS 2106 a very cost-effective solution for growing GSM operators.

The RBS 2000 family supports a wide range of applications ranging from extreme coverage to extreme capacity. Being a RBS 2000 member guarantees coexistence with the installed base of RBS 200 and RBS 2000 products. Ericsson's synchronization based RBS features ensure that transceivers from different generations of radio base stations can easily form common cells. Operators can therefore bridge the past with the future. By making existing sites futureproof, investments are protected while migrating to 3G.

Part of the grow-on-site concept

Since it is becoming increasingly difficult to find new base station sites, it is of great interest to remain on the existing sites as long as possible. Site space is often a limiting factor for capacity growth. The powerful RBS 2106, included in Ericsson's grow-on-site toolbox, addresses this problem. On many sites, two or more existing cabinets can be replaced by one RBS 2106. This is of major importance, since it makes it possible to reuse the space to roll out WCDMA equipment. The RBS 2106 will pave the way for WCDMA.

Also interesting for new locations, the RBS 2106 offers a complete solution in stand-alone cabinets which rapidly can be implemented outdoors. All the units to run the RBS are included in this single cabinet, there is no need for an extra product.



Doubled capacity – superior performance – same footprint

The 12-transceiver RBS 2106 cabinet has the same footprint as RBS 2102, but has doubled the capacity, thanks to the new double-capacity transceivers and combiners. The RBS 2106 has better output power than the current RBS 2000 products, which are the best on the market today. The improved radio performance means increased site-to-site distance, and therefore, fewer sites. Another example of a cost saving feature is 121 km Extended Range. The RBS 2106 comes with a configuration switch unit, the CXU, and two extremely flexible combiners. Examples of configurations supported by the Filter Combiner (CDU-F) are 3x4, 2x6, 1x12 and dual band 8+4 in one cabinet. CDU-F supports up to 12 transceivers on one dual-polarized antenna. The other combiner (CDU-G) can be configured in two modes: capacity mode and coverage mode, making it very flexible. In coverage mode, the output power from the CDU-G is increased, making it perfect for rural sites or when fast rollout is required at a minimum cost.

Prepared for the future

The RBS 2000 family is prepared for GSM data services, including General Packet Radio Service (GPRS) and High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) including 14.4 kbit/s timeslots. To meet the operators' need for faster datacom solutions, RBS 2106 supports EDGE.

A powerful Distribution Switch Unit (DXU) and fast internal buses guarantee full EDGE support. With the optional BSS feature RBS 2000 synchronization, it is possible to have up to 32 transceivers in one cell. With the optional BSS feature RBS 200 and RBS 2000 in the same cell, it is possible to expand an existing RBS 200 cell with RBS 2106, and thereby introduce EDGE through plug-in units.

Key features

- Six double transceiver units (dTRU); that is, 12 transceivers
- Filter and hybrid combining one, two, or three sectors in one cabinet
- Excellent RF performance
- Synthesized and baseband frequency hopping
- Supports 12 transceiver EDGE on all timeslots
- Supports GSM 800, 900, 1800 and 1900 MHz
- Extended Range 121 km
- Duplexer and TMA support for all configurations
- Four transmission ports supporting up to 8 Mbit/s
- Optional built-in transmission equipment transmission
- Prepared for GPS assisted positioning services
- Internal or external battery backup
- Simple co-siting with WCDMA equipment
- Supports most common power systems
- Hardware independent of transmission interface
- Prepared for outdoor environment (wide range of temperatures / humidity)

Technical specification for RBS 2106

Frequency band:	GSM 800, E-GSM 900, P-GSM 900, GSM 1800, GSM 1900
Tx:	869–894, 925–960, 1805–1880, 1930–1990 MHz
Rx:	824–849, 880–915, 1710–1785, 1850–1910 MHz
Number of transceivers (per cabinet):	2–12
Number of sectors:	1–3
Transmission interface:	1.5 Mbit/s (T1), 2 Mbit/s (E1), 75, 100, 120 Ohm
Dimension (H x W x D):	1614 x 1300 x 940 mm (631/2 x 511/8 x 37 in.) including installation frame
Weight without batteries:	560 kg (1235 lbs.)
Power into antenna feeder:	33 W / 45.2 dBm (GSM 800 / GSM 900) 25 W / 44.0 dBm (GSM 1800 / GSM 1900) With TCC activated, add 2.5 dBm to above values
Receiver sensitivity:	-110.5 dBm (dynamic, without TMA and diversity gain)
Power supply:	200–250V AC, 50/60 Hz
Integrated battery backup:	30, 90 or 130 minutes when TM space is used
External battery backup:	Up to 6 hours (optional)
Operating temperature:	-33°C – +40°C (-27°F – +104°F) Eco cooling -33°C – +45°C (-27°F – +113°F) Combo cooling
Weatherproofing:	Min level IP55 according to IEC/EN 60529 Min level 3R according to UL 50 and CSA C22.2 No. 94

Telefonaktiebolaget LM Ericsson
SE-126 25 Stockholm
Sweden
Telephone +46 8 719 0000
Fax +46 8 18 40 83
www.ericsson.com

ADLET 123 6493 R2
©Telefonaktiebolaget LM Ericsson 2003

Anexo C. Especificaciones técnicas del medio de transmisión guía de onda (Feeder).

Product Spec Sheet

Low Loss Flexible Foam Dielectric Feeder

Model : LHF 22D / LHF-FR 22D (7/8")



Features



- **Low Attenuation**
The low attenuation of LHF coaxial cable series provides efficient transmission line for your RF system.
- **Low VSWR**
The low VSWR of LHF coaxial cable series should guarantee your RF system without noise.
- **Complete Protection**
The outer conductor of LHF coaxial cable series makes important contribution to minimize system interferences.
- **Easy connecting**
Full line of high-quality connector and cable preparation tools to minimize installation time and cost

Specification

Construction	
Inner Conductor	Smooth copper tube Nominal 9.45 mm
Dielectric	Foamed polyethylene Nominal 23.0 mm
Outer Conductor	Corrugated copper tube Nominal 25.2 mm
Jacket	Standard black PE or Flame-Retardant/Halogen-Free black PE Nominal 28.2 mm

Mechanical Characteristics		
Weight	Standard Jacket	Nominal 0.42 kg/m
	F-R Jacket	Nominal 0.47 kg/m
Minimum Bending Radius		250 mm
Flat Plate Crush Resistance		1.4 kg/mm
Operating Temperature	Standard Jacket	-40°C~+80°C
	F-R Jacket	-30°C~+80°C
Max. Pulling Force		147 kg

Electrical Characteristics		
Max. Operating Frequency		5.0 GHz
DC Resistance	Inner Conductor	2.0 Ω /km (0.6 Ω /1,000ft)
	Outer Conductor	1.9 Ω /km (0.6 Ω /1,000ft)
Dielectric Strength		DC 6,000V For 1 Min
Min. Insulation Resistance		10,000 M Ω .km
Velocity of Propagation		90%
Peak Power Rating		90 kW
Characteristic Impedance		50 Ω
Return Loss (Typical Value) (dB)		23

Frequency (MHz)	Attenuation dB/100m(dB/100ft)	Average Power Rating (kW)
30	0.60 (0.18)	11.73
100	1.11 (0.34)	6.36
150	1.37 (0.42)	5.61
450	2.44 (0.74)	2.92
700	3.07 (0.94)	2.39
824	3.38 (1.03)	2.12
894	3.53 (1.08)	2.03
960	3.67 (1.12)	1.95
1,000	3.76 (1.15)	1.91
1,700	5.04 (1.54)	1.44
1,800	5.21 (1.59)	1.39
2,000	5.52 (1.68)	1.31
2,300	5.98 (1.82)	1.22
2,400	6.13 (1.87)	1.19
2,700	6.55 (2.00)	1.11
3,000	6.96 (2.12)	1.05
3,500	7.63 (2.33)	0.96

* Contact LS Cable & System for your return loss specification of your required frequency band.

* Attenuation values are given at 20°C with a tolerance of +5%.

* Attenuation may rise by 0.2%/°C with temperature rising.

* Specifications are subject to change without notice.

Anexo D. Especificaciones técnicas del duplexor o combinador de señales.



M/A-COM

DP52-0002

Low Cost SMT Dual Band Duplexer 824 – 960 / 1850 – 1990 MHz (AMPS/PCS) 880 – 960 / 1700 – 1900 MHz (GSM/DCS)



Features

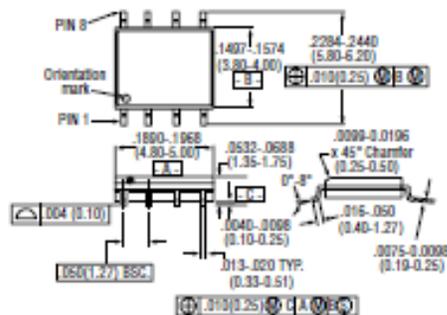
- Small Size and Low Profile
- Industry Standard SOIC-8 SMT Plastic Package
- Superior Repeatability
- Passbands 824 - 960 MHz and 1850 - 1990 MHz
- Passbands 880 - 960 MHz and 1700 - 1900 MHz
- Typical Passband Insertion Loss: 0.5 dB
- 2 Watt Power Handling
- Low Cost

Description

M/A-COM's DP52-0002 is an IC-based monolithic duplexer in a low cost SOIC-8 SMT plastic package. This duplexer is ideally suited for applications where small size, low insertion loss, superior repeatability and low cost are required. Typical applications include AMPS/PCS and GSM/DCS dual mode portable devices.

The DP52-0002 is fabricated using a passive-integrated circuit process. The process features full-chip passivation for increased performance and reliability.

SO-8



8-Lead SOP outline dimensions
Narrow body: 150
(All dimensions per JEDEC No. MS-012-AA, Issue C)
Dimensions in () are in mm.
Unless Otherwise Noted: .xxx = ± 0.010 (.xx = ± 0.25)
.xx = ± 0.02 (.x = ± 0.5)

Ordering Information

Part Number	Package
DP52-0002	SOIC-8-Lead Plastic Package
DP52-0002-TR	Forward Tape and Reel ¹

1. If specific reel size is required, consult factory for part number assignment.

824 - 960 / 1850 - 1990 MHz Typical Electrical Specifications¹, T_A = +25°C

Parameters	Units	Min.	Typ.	Max.
Passband Insertion Loss	dB	—	0.5	0.8
Stopband Isolation	dB	12	18	—
Passband VSWR	—	—	1.4:1	1.7:1

1. All specifications apply with a 50-ohm source and load impedance.

880 - 960 / 1700 - 1900 MHz Typical Electrical Specifications¹, T_A = +25°C

Parameters	Units	Min.	Typ.	Max.
Passband Insertion Loss	dB	—	0.5	0.9
Stopband Isolation	dB	12	18	—
Passband VSWR	—	—	1.5:1	1.8:1

1. All specifications apply with a 50-ohm source and load impedance.

M/A-COM Division of AMP Incorporated ■ North America: Tel. (800) 396-2266, Fax (800) 616-6683 ■ Asia/Pacific: Tel. +85 2 2111 0088, Fax +85 2 2111 0087 ■ Europe: Tel. +44 (1344) 899 292, Fax +44 (1344) 300 020
www.macom.com
AMP and Connecting at a Higher Level are trademarks.
Specifications subject to change without notice.



INDICE DE FIGURAS

FIGURA. 1-1. CÉLULAS Y REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIA EN EL SISTEMA.	6
FIGURA. 1-2. ROAMING.	7
FIGURA. 1-3. CONJUNTO DE LAS CELDAS DISTRIBUIDAS POR DENSIDAD DE TRÁFICO.	10
FIGURA. 1-4. (PCI)LTE VISTO EN UN MÓVIL.	15
FIGURA. 1-5. CELL ID DE GSM VISTO EN UN MÓVIL.	15
FIGURA. 1-6. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y APLICACIONES.	16
FIGURA. 1-7. FORMA DE OPERACIÓN FULL DÚPLEX AMPS.	20
FIGURA. 1-8. DIAGRAMA DE LAS BANDAS A Y B DE AMPS.	20
FIGURA. 1-9. EVOLUCIÓN DE VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA EN SEGUNDA GENERACIÓN.	24
FIGURA. 2-1. VILLA HIDALGO.	33
FIGURA. 2-2. SE PUEDEN APRECIAR LAS CURVAS DE NIVEL (ASMN) DE VILLA HIDALGO.	35
FIGURA. 2-3. CARTA TOPOGRÁFICA F14A74 DONDE LA ZONA DE ESTUDIO ESTÁ MARCADA CON ROJO.	37
FIGURA. 2-4. EN LA IMAGEN SE PUEDEN APRECIAR LAS CURVAS DE NIVEL Y POBLADOS INVOLUCRADOS.	38
FIGURA. 2-5. SECTORIZACIÓN Y ALCANCE DE COBERTURA EN BASE A LA LECTURA DE TERRENO.	39
FIGURA. 2-6. UBICACIÓN EXACTA DE LA BTS.	40
FIGURA. 2-7. POBLADOS PROPUESTOS PARA COBERTURA.	40
FIGURA. 2-8. POBLADOS PROPUESTOS PARA COBERTURA PARTICIONADO EN DOS SECTORES.	43
FIGURA. 2-9. SECTOR 1 (EL MÁS CERCANO AL NORTE MAGNÉTICO).	44
FIGURA 2-10. SECTOR 2 AL SUR, MISMA DISTANCIA DE COBERTURA.	44
FIGURA 2-11. VILLA HIDALGO, SAN LUIS POTOSÍ.	46
FIGURA. 2-12. TABLA COMPARATIVA DE CENSO EN VILLA HIDALGO.	47
FIGURA. 2-13. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS PARA AMBOS SECTORES.	51
FIGURA. 2-14. POTENCIA DE LA SEÑAL DE GSM EN LA UBICACIÓN DE LA RBS.	52
FIGURA. 2-15. MEDICIONES DE LA SEÑAL DE EDGE EN LA UBICACIÓN DE LA RBS.	52
FIGURA. 3-1. TORRE AUTOSOPORTADA.	55
FIGURA. 3-2. TORRE MONOPOLO.	56
FIGURA. 3-3. TORRE ARRIOSTRADA O ATIRANTADA.	57
FIGURA. 3-4. TORRE AUTOSOPORTADA GLENMARTIN.	58
FIGURA. 3-5. ANTENA OMNIDIRECCIONAL Y DIRECCIONAL.	60
FIGURA. 3-6. ANTENA DIRECCIONAL ANTENA OMNIDIRECCIONAL.	61
FIGURA 3-7. SE MUESTRA EL DECREMENTO DE 3DB.	62
FIGURA. 3-8. MEDICIÓN DEL ÁNGULO DE AZIMUTH.	63
FIGURA. 3-9. PATRÓN DE RADIACIÓN CON TILT MECÁNICO.	63
FIGURA. 3-10. POLARIZACIÓN VERTICAL (V) Y POLARIZACIÓN HORIZONTAL (H).	64
FIGURA. 3-11. RADIO BASE INDOOR.	67
FIGURA. 3-12. RADIO BASE OUTDOOR.	67
FIGURA, 3-13. RADIO BASE MÓVIL PARA SER TRASLADADA/ ACARREADA.	68
FIGURA. 3-14. RADIO BASE MÓVIL CON SU PROPIO MOTOR.	68
FIGURA. 3-15. ELEMENTOS DE UNA RBS 2106.	71
FIGURA 3-16. 6 dTRU'S EN UNA RBS 2106.	73
FIGURA 3-17. DXU (DISTRIBUTION SWITCH UNIT).	73
FIGURA 3-18. DXU OPERACIONAL INSTALADA EN UNA BTS 2106.	74

BIBLIOGRAFIA

- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1999). Metodología para el cálculo de las necesidades de espectro terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales. De ITU Sitio web: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1390/es>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1993-03-01). Términos y definiciones de ingeniería de tráfico. De ITU Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.600-199303-I/es>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1998-11-01). Principios de medida de la intensidad de tráfico. De UTI Sitio web: <https://www.itu.int/rec/T-REC-E.500-199811-I/es>
- José Manuel Huidobro Moya, Rafael Conesa Pastor. (2006). Sistemas de Telefonía. Madrid España: Editorial Paraninfo.
- Saleh Faruque. (1996). Cellular Mobile Systems Engineering. Estados Unidos: Artech House Publishers.
- Wayne Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México: Prince Hall.
- Claudio M. Giunta. (2008). La evolución de las telecomunicaciones. De Negocios de seguridad Sitio web: http://www.rnds.com.ar/anteriores.asp?id_rev=62
- AlaaAlDin AlRadhi. ITU Regional Forum for ARAB Region: IMT Systems Technology, Evolution and Implementation, Tunisia, 7-9 May 2013. Sitio web: https://www.itu.int/en/ITU/Technology/Documents/Events2013/RegionalForumIMT_ARB_Tunis_May2013/Presentations/RegForumIMT_2013_ARB_Tunis_May_13_Presentation_AAlRadhi_2.pdf
- Andrew S. Tanenbaum y David J. Wetherall. (2012). Redes de computadoras. México: Pearson.
- José Herrero. (2013). La Telefonía cumple 40 años, repasamos su historia. De ideal.es Sitio web: <http://www.ideal.es/jaen/20130406/masactualidad/tecnologia/telefonía-movil-cumple-anos-201304060134.html>

- Oriol Sallent Roig, Jordi Pérez Romero. (2014). Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Francisco Ramos Pascual. (2007). Radiocomunicaciones. Marcombo S.A.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (27 de febrero). Niveles de potencia de la telefonía móvil. IEEE Sitio web: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7879218/>
- GSMA. (2013). Documentos actualizados de la tecnología GSM y sus aplicaciones. De GSMA Sitio web: <https://www.gsma.com/newsroom/gsmadocuments/>
- WordPress.com. (2013). Modelos y leyes de propagación. De WordPress.com es la bomba Sitio web: <https://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2013/07/10/modelos-empiricos-modelo-de-okumura-es-uno-de-los-modelos/>
- evelio@eveliux.com. (2004). El ABC de la telefonía celular (parte 1). de Revista RED Sitio web: <http://www.eveliux.com/mx/El-ABC-de-la-telefonía-celular-parte-1.html>
- evelio@eveliux.com. (2004). El ABC de la telefonía celular (parte 2). De Revista RED Sitio web: <http://www.eveliux.com/mx/El-ABC-de-la-telefonía-celular-parte-2.html>
- Sendin A. (2004). Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles Evolución y Tecnologías. España, UNV. País Vasco: MC, GRAW HILL.
- Pachón de la Cruz A. (2008) Evolución de los Sistemas Móviles Celulares GSM. (Calí, Colombia: Universidad ICESI.)
- Halonen T., Romero J., Melerom J. GSM, GPRS, AND EDGE Performances Evolution Towards 3G/UMTS . 2era Edición, Inglaterra: Editorial Wiley, 2003. 656pp.
- Juha Coronen. Introduction to 3G Mobile Communications. 2a Edición, Estados Unidos: Artech House, 2003. 568pp.
- Nortel Networks. GSM NSS Overview. Francia: 2000, 200pp.
- Ericsson. EDGE Introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks. 2003. Obtenido de <http://www.ericsson.com>

- Glen Martin. Asset and Site Management. Sitio Web: <http://glenmartin.com/asset-and-site-management/>
- Glen Martin. Asset and Site Management. Tower Owners. Sitio Web: <http://glenmartin.com/tower-owners/>