



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE COMUNICACIONES
INDOOR GSM PARA UN CORPORATIVO**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

QUE PRESENTA
PABLO RENTERÍA GARCÍA

ASESOR: M.I. LAURO SANTIAGO CRUZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis Padres.

A quienes me han heredado el tesoro mas valioso que puede dársele a un hijo, AMOR.

A quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme.

A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en una persona de provecho.

A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas mas grandes del mundo, por esto y mas... ¡GRACIAS!

AGRADECIMIENTOS

A mis Hermanos por haber estado conmigo en todo momento, por todo el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera, por haber creído y confiado siempre en mí.

A Ingrid por haberme ayudado y brindarme su apoyo incondicional, así como por haber estado siempre a mi lado y ayudarme a seguir adelante en todo momento.

A mis compañeros de tesis, Alejandro Flores Flores, Lizeth Nayeli Jiménez González, Jorge Alberto Mason López y Marcela Trejo Huerta, ya que sin la colaboración de ellos no hubiera sido posible el desarrollo de este trabajo.

Y a todos ellos, mis amigos, compañeros que estuvieron involucrados directa e indirectamente en este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PRÓLOGO	xi
INTRODUCCIÓN	xv
I. CONCEPTOS BÁSICOS	1
I.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL	1
I.1.1. Espectro electromagnético	2
I.1.2. Modos de transmisión	3
I.1.3. Modulación	4
I.1.4. Introducción a los sistemas celulares	5
I.1.5. Principios de telefonía celular	8
I.1.6. Reutilización de frecuencias	10
I.1.7. Interferencia de canal	12
I.1.7.1. Interferencia de canal adyacente	13
I.1.8. División de célula	13
I.1.9. Sectorización	16
I.2. RADIOFRECUENCIA	17
I.2.1. Propagación de ondas	18
I.2.1.1. Propagación de ondas de superficie	19
I.2.1.2. Propagación de las ondas espaciales	19
I.2.1.3. Propagación por ondas celestes	19
I.2.2. Propiedades ópticas de las ondas de radio	20
I.3. ANTENAS	25
I.3.1. Patrón de radiación	26
I.3.2. Polarización	28
I.3.3. Ganancia, directividad y eficiencia	28
I.3.4. Antenas para MS	29

I.3.4.1.	Dipolo helicoidal	30
I.3.4.2.	Antena de lazo de cuarto de onda	30
I.3.5.	Antenas en BTS	31
II.	TEORÍA DEL FUNCIONAMIENTO DE GSM	33
II.1.	PRINCIPIOS DE GSM	33
II.2.	ORGANIZACIÓN INTERNA DE GSM	34
II.2.1.	Subsistemas en GSM	34
II.3.	PROCESAMIENTO DE SEÑAL EN GSM	42
II.3.1.	Modulación digital en GSM	43
II.3.1.1.	Modulación MSK	43
II.3.1.2.	Modulación GMSK	45
II.3.2.	Acceso a la red GSM	46
II.3.2.1.	Códigos de canal	49
II.3.2.2.	Codificación de canal en GSM	50
II.3.3.	Proceso de llamada en GSM	51
II.4.	SERVICIOS QUE OFRECE GSM	52
II.4.1.	Servicios de mensajes cortos	54
II.4.2.	Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas	54
II.4.3.	Servicio General de Paquetes de Radio	56
III.	ANÁLISIS	57
III.1.	PERCEPCIÓN DEL USUARIO	57
III.1.1.	Necesidades de los usuarios del sistema de comunicación móvil	58
III.1.2.	Problemas de cobertura detectados por los usuarios	60
III.2.	PROBLEMÁTICA DE LA COBERTURA CELULAR	61
III.2.1.	Problemas de cobertura Indoor	62
III.2.2.	Problemas de calidad de servicio Indoor	65
III.3.	SELECCIÓN DE SEÑAL ENTRE DOS CÉLULAS	68
III.3.1.	Handover	68

III.4. POSIBLES SOLUCIONES	71
III.4.1. Solución por optimización de recursos	71
III.4.2. Solución por repetidor	75
III.4.3. Solución por microcélula Indoor	77
IV. DISEÑO Y DESARROLLO	80
IV.1. SITUACIÓN ACTUAL	80
IV.1.1. Descripción de la zona	80
IV.1.2. Descripción del inmueble	83
IV.1.3. Condiciones de cobertura Indoor	85
IV.1.4. Condiciones de calidad	94
IV.1.4.1. Condiciones de tráfico	94
IV.1.4.2. Condiciones de Interferencia	97
IV.2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	99
IV.3. DESARROLLO	101
IV.3.1. Cálculo de la cobertura	116
IV.3.2. Diagrama de diseño	127
IV.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA	131
V. IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA A PUNTO	134
V.1. IMPLEMENTACIÓN	134
V.1.1. Trayectoria del cableado	135
V.1.2. Ubicación de las Antenas	143
V.2. APROBACIÓN DE INSTALACIÓN	145
V.3. PUESTA A PUNTO	146
V.3.1. Revisión de posición física de equipo y antenas	147
V.3.2. Mediciones de potencia	147
V.3.3. Evaluación final de la cobertura	150
V.3.4. Evaluación final de la calidad	153
V.3.4.1. Evaluación de la calidad por tráfico	154

V.3.4.2. Evaluación de la calidad por Interferencia	155
VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	157
VI.1.RESULTADOS	157
VI.1.1. Retorno de inversión esperado	160
VI.2.CONCLUSIONES	161
VI.2.1. Ventajas de la solución implementada a nivel usuario	161
VI.2.2. Impactos y beneficios empresariales	163
VI.3.OTRAS ÁREAS DE APLICACIÓN	164
BIBLIOGRAFÍA	167
LIBROS	167
MANUALES	168
DIRECCIONES DE INTERNET	168
APÉNDICES	
A: GLOSARIO DE TÉRMINOS	A.1
B: DECIBEL	B.1
C: ERLANG	C.1
D: ZONAS DE FRESNEL	D.1
E: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PRECIOS DE EQUIPOS	E.1
Microcélula	E.2
MAIN HUB	E.3
EXPANSIÓN HUB	E.4
RAU	E.6
Antenas direccionales	E.7
Antenas omnidireccionales	E.8

ÍNDICE DE FIGURAS

I.1.	Espectro electromagnético de frecuencias	3
I.2.	Modo simplex	4
I.3.	Modo semidúplex	4
I.4.	Modo dúplex	4
I.5.	Diagrama básico de una red celular	8
I.6.	Diagrama general en bloques de una unidad móvil	10
I.7.	Concepto de reutilización celular de frecuencias	11
I.8.	La relación D/R	12
I.9.	Análisis gráfico para la forma hexagonal de las células	14
I.10.	Redimensionamiento de las zonas por cubrir	16
I.11.	Célula dividida en tres sectores de 120 grados	17
I.12.	Principales modos de propagación de ondas terrestres	18
I.13.	Refracción en una frontera plana entre dos medios	21
I.14.	Modelo para la ley de Snell de refracción	22
I.15.	Reflexión electromagnética en una interfaz plana dada entre dos medios	23
I.16.	Difracción de las ondas electromagnéticas	24
I.17.	Sistema de coordenadas esféricas	26
I.18.	Patrón de radiación representado en coordenadas polares	28
I.19.	Diagrama de una antena dipolo helicoidal para MS y su implementación física	30
I.20.	Diagrama de una antena de lazo de cuarto de onda para MS	31
I.21.	Arreglo de dipolos para una BTS	32
II.1.	Subsistemas en GSM	35
II.2.	Subsistemas de Operación y Mantenimiento	36
II.3.	Subsistema de Conmutación	39
II.4.	Subsistema de Estaciones Base	40
II.5.	Interfaces en GSM	41

II.6.	Señal FSK discontinua	44
II.7.	Señal MSK continua	44
II.8.	Gráfica Frecuencia - Densidad espectral	45
II.9.	FDMA y TDMA en GSM	49
II.10.	Llamada de un MS a un teléfono fijo	51
III.1.	Tipos de cobertura celular	62
III.2.	Sombra de señal	64
III.3.	Servidores interferentes	67
III.4.	Proceso de handover	70
III.5.	Optimización por inclinación de antena	72
III.6.	Cambio de patrón de radiación al cambiar físicamente una antena de la BTS	73
III.7.	Cambio de dirección de antena en una BTS	74
III.8.	Ángulos máximos permitidos para mover una antena en una BTS	74
III.9.	Inmueble con problemas de cobertura	76
III.10.	Solución por repetidora	76
III.11.	Solución por microcélula	78
IV.1.	Ubicación del corporativo y las BTSs cercanas	81
IV.2.	Distancias entre BTSs y el corporativo	82
IV.3.	Fachada y estructura principal del inmueble	84
IV.4.	Corte horizontal de un nivel dentro del corporativo	85
IV.5.	Equipos Nokia y Motorola	85
IV.6.	BTSs cercanas al inmueble	86
IV.7.	Puntos desde los cuales se tomaron las lecturas	88
IV.8.	Sectores de un Servidor	88
IV.9.	Gráfica de tráfico para el sector DF5330A	95
IV.10.	Gráfica de tráfico para los sectores DF0221A, DF0338A y DF5929B	96
IV.11.	Interferencia en el corporativo debida a múltiples servidores	98
IV.12.	Conexión de microcélula y antenas mediante cable coaxial	103

IV.13. Conexión de microcélula y antenas por un sistema de distribución integral	105
IV.14. Diagrama extendido de un sistema de distribución de antenas	106
IV.15. Arreglo de 4 antenas direccionales	111
IV.16. Cable coaxial	112
IV.17. Tipos de conectores BNC para cable coaxial	113
IV.18. Fibra óptica	114
IV.19. Tipos de conectores para fibra óptica	114
IV.20. Cable ScTP	115
IV.21. Conector RJ-49	116
IV.22. Trayectoria para determinar niveles de señal	117
IV.23. Diagrama de ubicación para 4 antenas	121
IV.24. Diagrama de ubicación para 2 antenas	124
IV.25. Diagrama de ubicación de antenas para los sótanos	126
IV.26. Diagrama a bloques para la implementación de la microcélula	129
V.1. Diagrama a Bloques de distribución del equipo	136
V.2. Conexión típica de antenas a los RAUs	136
V.3. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 1	137
V.4. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 2	138
V.5. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 3	138
V.6. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 4	139
V.7. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 5	139
V.8. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 6	140
V.9. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 7	140
V.10. Distribución de cableado para pisos de oficinas	141
V.11. Distribución de cableado para pisos tipo penthouse	142
V.12. Distribución de cableado para sótanos	143
V.13. Posición de 4 antenas para pisos de oficina	144
V.14. Posición de 2 antenas para pisos tipo penthouse	144
V.15. Posición de 2 antenas en sótanos	145

V.16. Puntos de medición de potencia	148
V.17. Medición de potencia a la salida de la microcélula	148
V.18. Medición de potencia a la salida de la RAU	149
V.19. Gráfica de tráfico para la microcélula	154

ÍNDICE DE TABLAS

II.1.	Tipos de canales de tráfico y de control en GSM	46
IV.1.	Servidores que proporcionan servicio al inmueble	87
IV.2.	Lecturas de intensidad de señal GSM dentro del inmueble	89
IV.3.	Sectores vecinos entre sí para las BTSs de la zona	95
IV.4.	Niveles de potencia y pisos en los que se perciben las BTSs DF0464 y DF4863	98
IV.5.	Comparación de costos de los sistemas de distribución de antenas	108
IV.6.	Modelos de microcélulas	109
IV.7.	Pérdidas por equipo y material	118
IV.8.	Pérdidas estimadas en interiores	119
IV.9.	Constantes estimadas para el primer término de la ecuación IV.2	120
IV.10.	Cotización resumida para el proyecto de microcélula indoor	131
IV.11.	Facturación mínima deseada al mes	132
V.1.	Agrupación de pisos	135
V.2.	Listado de posiciones finales de equipos dentro del inmueble	147
V.3.	Medición de potencia para cada RAU	149
V.4.	Lecturas de Intensidad de señal GSM dentro del inmueble	151
VI.1.	Facturación obtenida durante el primer mes de servicio de la microcélula	160
VI.2.	Comparativo de situación mínima deseada contra primer mes de servicio	161

PRÓLOGO

En la actualidad la comunicación celular ha acaparado gran parte del mercado de las telecomunicaciones, debido, principalmente, a las tecnologías actuales que existen; por un teléfono celular se pueden realizar desde una simple llamada local o de larga distancia hasta enviar faxes y revisar el correo electrónico.

El mercado de la telefonía celular tiene actualmente un crecimiento exponencial, lo cual genera la necesidad de mayor infraestructura que soporte dicha demanda de servicio. Aunado a esto las grandes ciudades siempre están en constante crecimiento poblacional, provocando que se tengan que realizar nuevas construcciones todos los días.

Aunque la telefonía celular se encuentra en constante cambio tecnológico, gran parte de la infraestructura con la que trabaja fue desarrollada tiempo atrás. El crecimiento poblacional en muchos casos provoca que las instalaciones de equipo, realizadas con anterioridad, presenten problemáticas que antes no tenían, en especial debidas a nuevas construcciones. Gracias a las necesidades actuales, dichas construcciones son en beneficio de grandes corporativos que a su vez requieren de estar comunicados.

En el presente trabajo de tesis se profundizará en la problemática específica que presenta un nuevo edificio perteneciente a un gran corporativo, que gracias a sus dimensiones, no cuenta

con la calidad de servicio que requiere para cubrir sus necesidades de comunicación telefónica celular.

Sin dejar de utilizar la infraestructura actual de la zona donde se encuentran estas oficinas, proponemos una solución a la problemática de calidad de servicio dentro de dicho inmueble, que consistirá en la instalación de nuevo equipo en las oficinas, que tiene por objetivo no sólo solucionar la problemática de comunicación dentro del inmueble sino también cubrir las necesidades de calidad que el corporativo busca en un proveedor de telefonía celular.

El presente trabajo escrito consta de seis capítulos, de los cuales en el capítulo uno se exponen los conceptos básicos sobre las bases de la comunicación móvil y los elementos que están involucrados en nuestro caso de estudio, como radiofrecuencia y antenas.

En el capítulo dos se estudiarán los principales aspectos teóricos relacionados con la tecnología GSM, así como se hace mención de los inicios de esta tecnología y su impacto dentro de la sociedad. También se describe su estructura, su proceso de enrutamiento de llamada y finalmente se hace mención de los servicios que GSM puede ofrecer a los usuarios.

El capítulo tres tratará la problemática específica de la falta de cobertura en el interior de un inmueble, las necesidades que tienen los usuarios de telefonía celular en interiores, así como los problemas que éstos detectan y las soluciones propuestas para resolver el problema específico de la cobertura indoor.

Conociendo la problemática del corporativo, en el capítulo cuatro elegiremos la solución más conveniente para resolver los problemas de recepción de señal celular, incluyendo el diseño enfocado al inmueble con problemas de cobertura y haremos una evaluación de rentabilidad de la implementación de esta solución.

Posteriormente, en el capítulo cinco se describirá como es que se lleva a cabo la implementación de la solución propuesta con anterioridad, incluyendo pruebas de desempeño y verificación de la funcionalidad.

En el capítulo seis se incluyen los resultados generales de nuestra tesis, así como propuestas de futuras mejoras para el sistema de comunicación móvil, el análisis del impacto y los beneficios empresariales y las conclusiones propias de este trabajo.

Adicional a lo anterior, se incluyen las bibliografías que sirvieron de base para la confirmación y sustento de la información presentada.

Cabe comentar, como un aspecto muy importante, que en el presente trabajo se hace mención de una gran cantidad de siglas, ya que en el mundo de las comunicaciones, y específicamente en el de la telefonía celular de tecnología GSM, son usadas con mucha frecuencia; para no complicar la lectura del lector se hace mención a estas siglas incluyendo su traducción más cercana en el idioma español. Estas siglas son compiladas en el apéndice A, donde se encuentra un glosario de términos, teniendo como objetivo que puedan ser consultadas en cualquier momento como una referencia rápida.

En el apéndice B nos enfocamos a la unidad llamada decibel (relación entre dos potencias), ya que ésta es comúnmente usada en las telecomunicaciones para referirse a ganancias y atenuaciones de una señal de radiofrecuencia.

En el apéndice C explicamos la unidad erlang (horas de tráfico por hora), que es usada ampliamente en la telefonía celular para hablar del tráfico promedio que recibe una estación base de telefonía celular.

Debido a la presencia de obstáculos en el espacio libre que limitan y en ocasiones hasta impiden la comunicación entre dos puntos, en el apéndice D se hará mención a las zonas de

Fresnel, estas zonas definen matemáticamente como se realiza la comunicación entre dos puntos ante la presencia de algún obstáculo.

Incluimos también el apéndice E, dedicado a las especificaciones técnicas de los equipos y antenas que serán usados en la implementación del sistema propuesto en este trabajo de tesis.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas de comunicación móviles se han convertido en medios populares que utilizamos como herramienta en el desarrollo de nuestras actividades; estos sistemas, gracias al avance tecnológico actual, se encuentran al alcance de nuestras manos.

La tecnología de las comunicaciones móviles fue introducida comercialmente en Europa a principios de la década de los 80's. Dichos sistemas ofrecen largo alcance y la oportunidad de mantenerse comunicado casi en cualquier parte del mundo, cabe mencionar que las comunicaciones móviles operan bajo la tecnología denominada como celular. A principios de los años 80, los sistemas celulares estaban basados en tecnología analógica, pero a finales de esa misma década tuvo lugar el desarrollo de una nueva norma digital: Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM).

Inicialmente las comunicaciones celulares se iniciaron vía radio. Las redes de radio celular fueron proyectadas a fin de proporcionar un servicio para teléfonos móviles ubicados en vehículos. Estas redes se conectaban a la Red Pública Telefónica Conmutada (PSTN). Los sistemas de comunicaciones celulares utilizan el concepto de la división del área de cobertura en células propias de la radio celular, así como el de la reutilización de frecuencias entre células no adyacentes.

El rápido avance tecnológico, la creciente demanda del mercado, las nuevas propuestas de servicio y la liberalización del sector han dado lugar al concepto de servicios de comunicaciones celulares. Esto ha impulsado la rápida evolución tecnológica de los sistemas

de telefonía móvil y el apresurado crecimiento de las redes que brindan este servicio, para permitir una mayor capacidad de usuarios; esto ha dado pie a que la telefonía móvil se convierta en una aplicación de consumo, la cual es accesible no sólo a personas que necesitan específicamente este tipo de aplicación, también para el resto del mercado que considera este servicio una comodidad más de las proporcionadas por la tecnología actual. Como consecuencia, la exigencia de mayor cobertura, mejor calidad, mayor capacidad de respuesta, entre otras, son detalles importantes a resolver.

Para el caso en particular de comunicación dentro de un corporativo, como caso de estudio en esta tesis, nos enfocaremos en resolver los problemas que se presentan dentro de un espacio cerrado, sujeto a distintos tipos de interferencia y/o pérdida de señal; por ser éste el lugar de trabajo para un usuario promedio, también es el lugar donde es posible apreciar las cualidades de la red celular al ser utilizada como una parte esencial en el desarrollo de sus actividades económicas y sociales.

Los problemas presentados en una red celular van a variar según los factores que describan la zona geográfica, por ejemplo, si es una zona poco urbanizada, la señal viajará más libremente; a diferencia de una zona con desarrollos urbanos como edificios altos, ya que estos impedirán el libre paso de la señal causando sombras de cobertura; adicionalmente, la zona con mayor población y edificaciones exige al diseño de la red una distribución de células más reducidas, para garantizar mayor y mejor cobertura. No siendo esto último el único problema que presenta una red de sistema de comunicación móvil, nos daremos a la tarea de explicar con mayor detalle las causas consecuencias y soluciones a este tipo de situaciones.

Para resolver los problemas mencionados, es necesario conocer los conceptos y teoría básica que dan paso a la tecnología de comunicación móvil GSM, que será el caso de estudio de este trabajo en particular.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS BÁSICOS

En este capítulo se resumen los principios teóricos necesarios para el estudio de las comunicaciones móviles, estudiando las ondas electromagnéticas, su forma de transmisión, sus principales características y los tipos de modulación. También haremos una revisión general de la telefonía celular, historia y principios básicos. Además, presentaremos la propagación de las ondas de radio en el medio ambiente y los elementos necesarios para realizar esta propagación.

I.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL

El objetivo principal de los sistemas de comunicación es transferir información de un lugar a otro. En el caso que nos ocupa, dichos sistemas transmiten datos por medio de equipos de radio que por su naturaleza son capaces de ofrecer comunicación móvil de voz, sin tener que utilizar un medio físico entre el transmisor y el receptor. Para que esto sea posible, es necesaria la implementación de un conjunto de equipos de comunicaciones bastante complejos, pero que en sus fundamentos dependen de conceptos y leyes que, en una primera instancia, tienen que ser revisados.

I.1.1. Espectro electromagnético

Las cargas eléctricas en movimiento producen campos eléctricos y magnéticos. Dichos campos, que oscilan perpendicularmente, producen la denominada radiación electromagnética. Esta radiación transporta energía de un lugar a otro, a la velocidad de la luz, siendo denominadas las ondas que transportan esta energía ondas electromagnéticas. Una de las características de estas ondas es su longitud de onda, que se define como la distancia que ocupa un ciclo en el espacio, es decir, la distancia entre los puntos en una onda repetitiva. La longitud de onda es inversamente proporcional a su frecuencia y directamente proporcional a su velocidad de propagación. La relación entre frecuencia, velocidad y longitud de onda se expresa en forma matemática como sigue:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (I-1)$$

En donde:

λ = longitud de onda [m]

C = velocidad de la luz (3×10^8 [m/s])

F = frecuencia [Hz]

Ahora bien, si a las ondas electromagnéticas se les organiza de acuerdo a sus longitudes de onda, se obtiene el espectro electromagnético, en donde se presentan desde las ondas de menor longitud de onda, como son los rayos cósmicos, los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio.

El espectro total de radiofrecuencias útiles se divide en distintas bandas de acuerdo a su uso. Asimismo, estas bandas de frecuencia también se subdividen en distintos tipos de servicios.

Del espectro que se presenta en la figura I.1, las bandas de nuestro interés son aquellas referentes a la telefonía móvil, las cuales son: Frecuencias Muy Altas (VHF) de los 30 MHz a

los 300 MHz, las Frecuencias Ultra Altas (UHF) de los 300 MHz a los 3 GHz y las Frecuencias Súper Altas (SHF) de los 3 GHz a los 30 GHz.

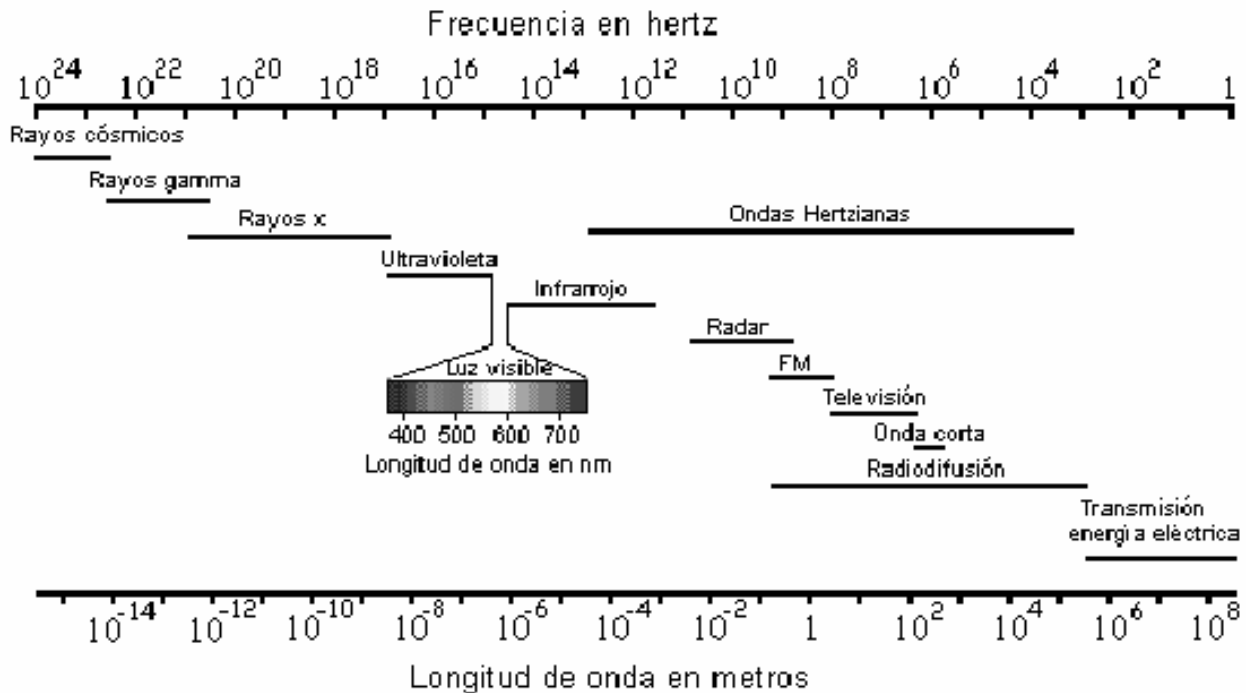


Figura I.1. Espectro electromagnético de frecuencias.

I.1.2. Modos de transmisión

Como modos de transmisión entendemos a las distintas formas en que la información viaja de un transmisor a un receptor y viceversa. Entre los modos básicos existen tres formas fundamentales:

- Simplex
- Semi-dúplex
- Dúplex

Modo simplex, figura I.2. En este modo la transmisión como la recepción se da de forma secuencial, en un sentido a la vez, y siempre desde una fuente hacia un receptor. Dado que sólo se usa una frecuencia, existen muchos problemas de interferencia y bloqueo. La radio y la televisión son ejemplos claros de este modo de transmisión.

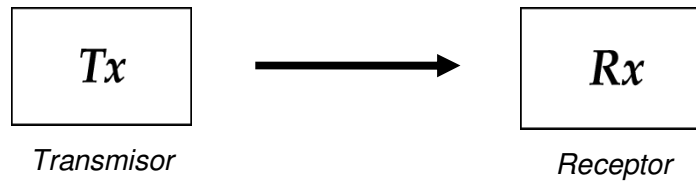


Figura I.2. Modo simplex.

Modo semidúplex, figura I.3. En este tipo de transmisión la información desde cada punto puede ser tanto transmitida como recibida, pero no de forma simultánea. Un ejemplo de ello sería una transmisión entre radioaficionados, en el cual uno espera que el otro termine de hablar para poder continuar la conversación.

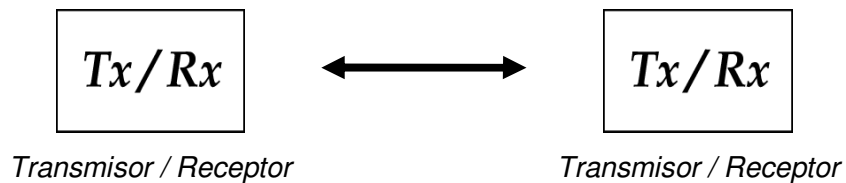


Figura I.3. Modo semidúplex.

Modo dúplex (full-dúplex), figura I.4. Para estos sistemas ambos puntos pueden transmitir y recibir información de manera simultánea, en ambas direcciones. Un ejemplo de ello lo son las conversaciones telefónicas.

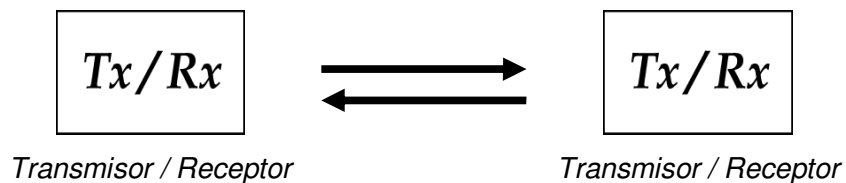


Figura I.4. Modo dúplex.

I.1.3. Modulación

La modulación es una técnica que consiste en la variación de alguno de los parámetros de una onda electromagnética (onda portadora) que son amplitud, fase y frecuencia, a través de una onda original (onda moduladora). Normalmente esta onda es una señal de radiofrecuencia y nace de la necesidad de transportar información a través de un canal de comunicación a grandes distancias y menor costo. Cabe aclarar que la modulación puede ser analógica o digital.

En los sistemas de comunicación actuales se utilizan métodos de modulación digital. De ellos el que nos interesa es el correspondiente a la Modulación por Desplazamiento Mínimo (MSK) y en particular la Modulación Gaussiana por Desplazamiento Mínimo (GMSK), la cual tiene las ventajas de poseer una envolvente constante, sencillez de generación, posibilidad de múltiples tipos de detección y una anchura de banda espectral pequeña.

I.1.4. Introducción a los sistemas celulares

Antes de la implementación del sistema celular como se conoce actualmente, existieron sistemas de comunicación móvil previos, los cuales intentaron cubrir la necesidad de la comunicación en movimiento. Por mencionar algunos de los sistemas de comunicación móvil que precedieron a la telefonía celular tenemos: la comunicación móvil de radio, que consistía en radios que se comunicaban entre sí, dependiendo de la potencia de salida de cada unidad individual; el Servicio de Telefonía Móvil (MTS), sistema telefónico operado manualmente que permitía a un usuario comunicarse a otra parte usando la red terrestre, y el Servicio de Telefonía Móvil Mejorado (IMTS) que proporcionó la selección automática de canal y operación simultánea full-dúplex.

Hoy día existen varios sistemas móviles que proveen acceso telefónico. El radio celular, como concepto, fue originalmente concebido para proveer comunicación móvil de alta densidad sin ocupar grandes anchos de banda del espectro radioeléctrico. La primera proposición de un sistema inicial de la telefonía celular, para sistemas móviles de alta densidad, fue hecha por AT&T en 1940. En 1968, presentó su propuesta de un sistema celular a la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), organismo regulador de las comunicaciones en los Estados Unidos. El concepto original involucraba el uso de un grupo de frecuencias dentro de una misma celda, reutilizando la frecuencia en la misma vecindad pero separándolas en espacio físico, para permitir la reutilización con un bajo nivel de interferencia. El equipo de transmisión y recepción necesario para implementar este tipo de sistemas no fue logrado hasta finales de los años setenta y para entonces, el concepto celular, que involucra la reutilización de frecuencias en celdas, fue aceptado como una herramienta para la optimización de recursos del espectro radioeléctrico.

En la primera generación de telefonía móvil celular se usó la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia / División de Frecuencia Dúplex (FDMA/FDD), la cual utilizaba el FDMA y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación en direcciones de transmisión y recepción.

En Norteamérica, a partir de 1981, comenzó a utilizarse el Sistema de Telefonía Móvil Avanzado (AMPS), el cual ofrecía 666 canales, 624 canales de voz y 42 canales de señalización de 30 kHz cada uno.

En Europa, en 1981, se introdujo el Sistema de Telefonía Móvil Nórdico (NMTS) y en particular el denominado el NMTS450, el cual empezó a operar en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega, en la banda de 450 MHz.

En 1985, Gran Bretaña, a partir de AMPS, adoptó el Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS) el cual contaba con 1000 canales de 25 kHz cada uno y operaba en la banda de 900 MHz.

En los años 80 también aparecen otros sistemas de primera generación como los impulsados por la Compañía de Teléfonos y Telégrafo Japonés (NTT) y French Radiocom 2000 de Francia, entre otros. Estos sistemas de comunicación sólo ofrecían servicio de voz.

Considerando los diferentes sistemas y estándares, los proveedores de servicios de comunicación móvil reconocieron en ello un problema, por lo que se impulsó el desarrollo de un nuevo estándar, con características tales que abarca a todos los anteriores, así surge el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM).

Como parte de la segunda generación, en 1982, aparecieron los primeros servicios celulares comerciales, la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) puso en marcha un grupo de trabajo encargado de especificar un sistema de comunicaciones móviles común para Europa, en la banda de 900 MHz. El GSM comenzó

como una norma europea para unificar sistemas móviles digitales y fue diseñado para sustituir a más de diez sistemas analógicos en uso y que en la mayoría de los casos eran incompatibles entre sí. Después de unas pruebas de campo en Francia de 1986 y de la selección del método de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) en 1987, 18 países firmaron en 1988 un acuerdo de intenciones (MOU: *Memorandum Of Understanding*). En este documento los países firmantes se comprometían a cumplir las especificaciones, a adoptar este estándar único y a poner en marcha un servicio comercial GSM, que ofrece seguimiento automático de los teléfonos móviles en su desplazamiento por todos los países.

En Norteamérica, el objetivo principal de un nuevo estándar digital fue aumentar la capacidad de los canales de comunicación dentro de la banda de 800 MHz existente. Un requisito fue que los teléfonos móviles debían funcionar con los canales de habla analógicos ya existentes y con los nuevos digitales (Modo Dual). A partir de esto se empleó el término Sistema Digital de Telefonía Móvil Avanzado (D-AMPS) que define una interfaz digital con componentes heredados de AMPS. A causa de estos requisitos, fue natural el elegir un estándar TDMA de 30 kHz, puesto que los sistemas analógicos existentes trabajan ya con este ancho de canales. En este sistema se transmiten tres canales por cada portadora de 30 kHz.

A principios de los años 90's, también apareció un nuevo estándar, el cual utiliza el método de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA). El estándar CDMAOne fue una tecnología desarrollada por Qualcomm y consiste en que todos usan la misma frecuencia al mismo tiempo separándose las conversaciones mediante códigos.

Estas tecnologías de segunda generación ofrecían:

- Mayor calidad de las transmisiones de voz
- Mayor capacidad de usuarios
- Mayor confiabilidad en las conversaciones
- La posibilidad de transmitir mensajes alfanuméricos. Permite enviar y recibir mensajes cortos desde un teléfono móvil, que puedan tener hasta 160 caracteres alfanuméricos.
- Navegar por Internet

De los diferentes sistemas mencionados anteriormente, para este caso de estudio en particular, se utilizara el sistema de comunicación móvil GSM. Cabe comentar que actualmente se pretende escalar a una tercera generación, que ofrece lograr transmisiones de datos a velocidades altas, calidad de voz mejorada o comparable a los sistemas alámbricos, transmisión con protocolos IP para Internet y video en tiempo real, mayor capacidad y mejor administración del espectro radioeléctrico, servicios multimedia, servicios interactivos; aunado a estas características, sus mejoras y ventajas, también existirán situaciones especiales que resolver.

I.1.5. Principios de telefonía celular

Un sistema celular opera en el intervalo de 800 a 900 MHz, reservados antes para los canales del 68 al 83 correspondientes a UHF de televisión, los cuales se emplearon en muy pocas ocasiones. Al principio hubo 666 canales full dúplex de 30 kHz de ancho de banda disponible para comunicaciones, hoy en día se usan 832 canales.

El término celular se debe a que la cobertura radioeléctrica, de una gran zona geográfica completa, se realiza cubriendo pequeñas regiones llamadas células. En cada una de estas células existe una estación radio base que controla el tráfico de las Estaciones Móviles (MS) que se desplazan en la zona correspondiente. A su vez, estas estaciones se enlazan con un centro de conmutación, que está conectado a la PSTN; dicha estructura básica se aprecia en la figura I.5.

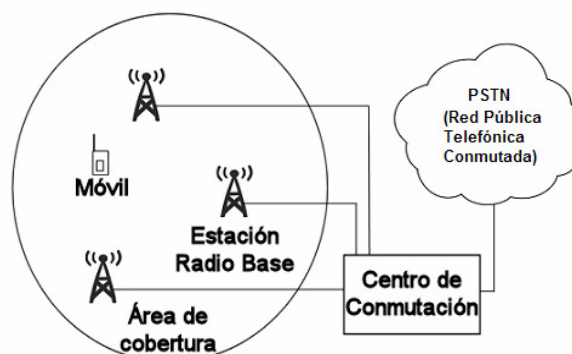


Figura I.5. Diagrama básico de una red celular.

Dependiendo del tipo de antena de transmisión empleada en la estación base, se puede cubrir una o más células por estación. Las células se clasifican por su tipo de cobertura en omnidireccionales y sectoriales.

La estación radio base está conectada al centro de conmutación por medio de circuitos de enlace punto a punto. También maneja la radiocomunicación con los móviles y supervisa la calidad de la radiotransmisión durante una llamada. Estas condiciones permiten atender a más usuarios en un número determinado de canales de radio.

El sistema celular también emplea lo que se denomina reutilización de frecuencias, el cual permite a las células dentro del sistema utilizar el mismo canal de frecuencias. Como las células son físicamente pequeñas, el funcionamiento es con transmisores de baja potencia, y los lugares de las células operan con antenas direccionales, donde la señal no se esparce más allá de los límites de la célula. Esto permite que otras células dentro del sistema compartan el mismo canal de frecuencias sin causar interferencia. La reutilización de frecuencias aumenta de manera considerable el número de canales disponibles, por lo tanto, para prevenir la interferencia, no se permite que los canales adyacentes usen la misma frecuencia.

Todas las MS pueden utilizar un canal dentro de la estación base, la cual detectará su desplazamiento en el área, asignándole una nueva frecuencia. Si el usuario del teléfono móvil cruza la frontera de la célula en que se encuentra y pasa a otra célula diferente, dicho cambio es imperceptible para él, debido a que la llamada continuará normalmente.

Asimismo, es importante mencionar que las MS son idénticas en su operación, sin importar si se trata de unidades grandes diseñadas para montarse en un vehículo, pequeñas portátiles o manuales. La figura I.6 ilustra un diagrama de bloques de una MS, en donde se precisan sus cinco secciones principales. Estas secciones son transmisor, receptor, sintetizador, unidad lógica y unidad de control. Cabe destacar que el transmisor y el receptor comparten una sola antena.

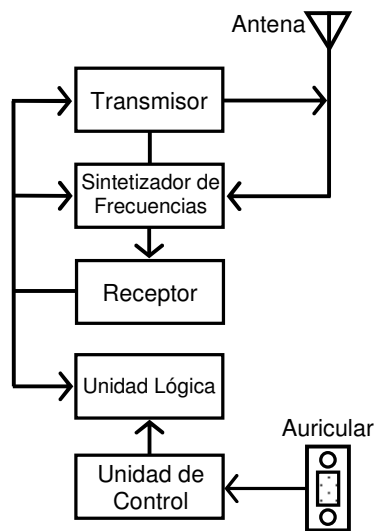


Figura I.6. Diagrama general en bloques de una unidad móvil.

I.1.6. Reutilización de frecuencias

La reutilización de frecuencias es el proceso en el cual se puede asignar el mismo conjunto de frecuencias (canales) a más de una célula, siempre y cuando las células estén alejadas a cierta distancia. Al reducir el área de cobertura de cada célula se invita a la reutilización de frecuencias. Las células que usan el mismo canal de radio pueden evitar la interferencia mutua, siempre que no sean adyacentes. A cada estación base de célula se le asigna un grupo de frecuencias de canal, distintas de los grupos de las células adyacentes, y se escogen las antenas de la estación base para lograr determinada distribución de coberturas (huella) dentro de su célula, sin embargo, mientras un área de cobertura esté limitada a las fronteras de la célula, se puede usar el mismo grupo de frecuencias de canal de una célula distinta siempre que las dos células estén separadas lo suficiente entre sí.

La figura I.7 ilustra el concepto de reutilización de frecuencias celular. Las células con la misma letra usan el mismo conjunto de frecuencias de canal.

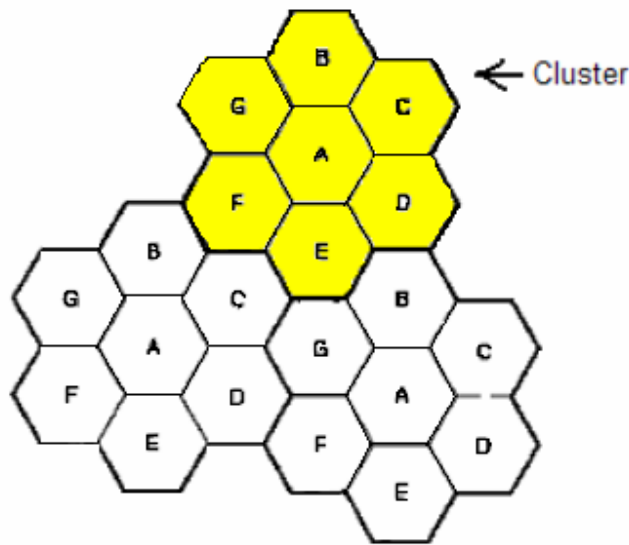


Figura 1.7. Concepto de reutilización celular de frecuencias.

El concepto de reutilización de frecuencias se puede ilustrar en forma matemática, considerando un sistema con cierta cantidad de canales dúplex disponibles. A cada área geográfica se le asigna un grupo de canales, que se divide entre N células agrupadas de manera única, en el que cada célula tiene la misma cantidad de canales. Entonces la cantidad total de canales de radio disponibles se puede expresar como sigue:

$$F = GN \quad (1-2)$$

En donde:

N = cantidad de células en un grupo

G = cantidad de canales en una célula

F = cantidad de canales dúplex disponibles en un grupo

En las células se usa una forma hexagonal, que tiene exactamente seis células equidistantes vecinas, y las líneas que unen a los centros de cualquier célula con los de sus vecinas forman ángulos de múltiplos de 60 grados. Por lo anterior es posible tener una cantidad limitada de tamaños de grupos y de distribución de células.

I.1.7. Interferencia de canal

La reutilización de frecuencias implica que en un área de cobertura dada haya varias celdas que usen el mismo conjunto de frecuencias. El concepto de re-uso de frecuencias se refiere al uso de las mismas frecuencias portadoras en distintas celdas, separadas físicamente por una distancia suficientemente grande para evitar interferencia co-canal. Estas celdas son llamadas celdas co-canales, y la interferencia entre las señales de estas celdas se le llama interferencia co-canal. Al contrario que el ruido térmico, que se puede superar incrementando la Relación Señal Ruido (SNR), la interferencia co-canal no se puede combatir simplemente incrementando la potencia de portadora de un transmisor.

Lo anterior es debido a que un incremento en la potencia de portadora de transmisión de una celda, incrementa la interferencia hacia las celdas co-canales vecinas. Para reducir la interferencia co-canal, las celdas co-canales deben estar físicamente separadas por una distancia mínima que proporcione el suficiente aislamiento debido a las pérdidas en la propagación. Por ejemplo, para un canal de radio en particular, f_1 , usado en una zona geográfica llamada celda, C_1 , con un radio de cobertura R , puede ser usado en otra celda C_2 con el mismo radio de cobertura y a una distancia D de separación, como lo podemos ver en la figura 1.8.

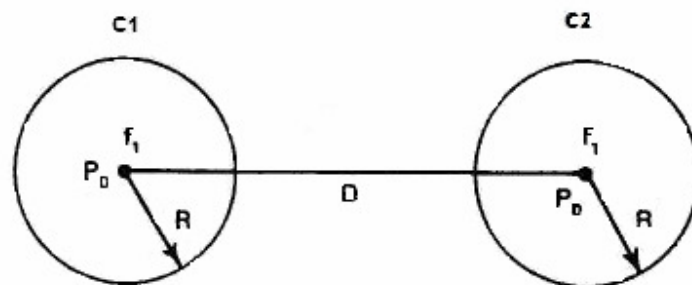


Figura 1.8. La relación D/R .

Dado que la misma frecuencia es usada en dos celdas diferentes al mismo tiempo, un filtro no puede aislar la interferencia co-canal. Sólo una separación geográfica puede reducir dicha interferencia.

El factor de reducción de interferencia co-canal o tasa de reuso co-canal (q) está definido por la siguiente relación:

$$q = \frac{D}{R} \quad (1-3)$$

En donde:

q = tasa de reuso co-canal.

D = distancia de separación entre células.

R = radio de cobertura.

La tasa de reuso co-canal tiene impacto en dos puntos importantes del sistema: la calidad de transmisión y la cantidad de usuarios que pueden ser atendidos por el sistema.

Cuanto más grande es la relación D/R menor será la interferencia co-canal, por ende habrá mejor calidad de transmisión. Mientras más pequeña sea la relación D/R más grande será la capacidad del sistema, ya que la cantidad de canales de una celda será mayor.

I.1.7.1. Interferencia de canal adyacente

La señal de radiofrecuencia se propaga a través de casi cualquier objeto sin mucha atenuación, lo cual produce interferencia en otras estaciones que están en la misma banda situadas en una habitación adyacente del mismo edificio o edificios vecinos. Este tipo de interferencia se conoce como interferencia de canal adyacente. Para reducir este tipo de interferencias se usan varias técnicas. Una consiste en dividir la banda de trabajo en varias sub-bandas de modo tal que las adyacentes utilicen frecuencias distintas, reduciéndose así la interferencia entre las diferentes unidades.

I.1.8. División de célula

Para nuestro caso de estudio aplicaremos el concepto de célula enfocado a nuestros intereses, por lo que se mencionará cual es su concepto y como funciona. Esto sin entrar en términos de diseño de red, ya que éste trabajo implica conocer las ventajas del diseño, como

está estructurada la cobertura, las complicaciones y las anomalías en una red de comunicación móvil celular ya operativa; así se entenderá por que se generan los problemas de cobertura *indoor* en un inmueble.

Con este concepto de célula, un área geográfica determinada se divide en celdas o secciones hexagonales (células), con la finalidad de cubrir esa área en su mayoría; la forma hexagonal permite que cada área embone perfectamente con las células vecinas, eliminando espacios entre ambas, de esta manera se logra conservar lo más aproximado el patrón circular que tienen las antenas.

En la figura I.9 se muestra la forma ideal de la división celular, porque a pesar de que geográficamente los hexágonos se acoplan perfectamente entre sí por sus lados planos, en la práctica encontramos que una red operativa tiene huecos de cobertura. Un probable causante de esos huecos de cobertura, por mencionar un ejemplo, es la obstrucción de paso de señal por obstáculos, ya sean cerros, desniveles, edificios, etc. Pero considerando un terreno ideal sin obstáculos y donde cada estación radio base puede ser instalada en el sitio geográficamente ideal, se lograría una división celular tal como la que se muestra en la figura I.9. Se pretende mostrar como en la figura "a", al tratar de acoplar los patrones de radiación circular que presentan las antenas, se formarían huecos entre un círculo y otro, mientras que en la figura "b" se muestra que al permitir un pequeño traslape entre formas circulares, se pueden eliminar los huecos entre ellos y finalmente como se muestra en la figura "c", la cual sería la forma ideal teóricamente de las células.

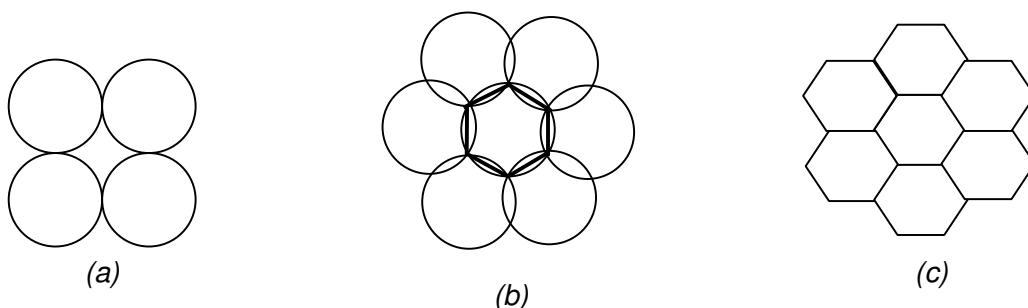


Figura I.9. Análisis gráfico para la forma hexagonal de las células.

Cada célula tiene características o elementos independientes que la definen, como lo son: tamaño o área en la que se brinda la cobertura, dimensión de la población a la que se le suministra el servicio y patrones de tráfico. Estos parámetros hacen única a cada célula, por lo que más adelante se explicará como estos elementos se analizarán para definir soluciones a los problemas presentados en el análisis que nos involucra.

Además de las características antes mencionadas, cabe comentar que cada célula tiene también sus propios recursos de radio. Sumando la división de células con los canales de frecuencia que serán re-usados, se persigue proporcionar el servicio al mayor número de usuarios y aislar frecuencias para evitar interferencia entre ellas.

El tamaño de la célula es variable, incluso dentro de la misma red, ya que el área a dar cobertura, además de limitarse por la misma naturaleza de alcance de la RF, también depende de otros factores, como son: el número de usuarios, la cantidad de tráfico en la zona y la distribución morfológica de la zona. Adicionalmente se encuentran los trámites legales necesarios para las obras civiles y de instalación. El tamaño de la célula representa ventajas y desventajas, que para fines de este trabajo se mencionan sólo los puntos que influyen en el análisis; por ejemplo, entre mayor tamaño tenga la célula, la ventaja es que se usan menos radio-bases para cubrir determinado territorio, la desventaja es que se tendrían menos canales por zona y por lo tanto menos recursos, lo que se reflejaría finalmente en un menor número de usuarios. Por ello es importante que la división de la célula sea planeada y diseñada, equilibrando sus características, zona de cobertura, tamaño de la población y patrón de tráfico.

Dado que las necesidades de comunicación en cualquier zona cambian, encontramos que en las zonas urbanas la demanda de servicio de comunicación es donde mayor crecimiento tiene; entonces se tiene por consecuencia que el tamaño y configuración de las células debe ser replanteado. En la figura I.10 mostramos como una célula con un tamaño establecido, puede ser seccionada en células de menor tamaño, así se obtendrán clusters de menor

tamaño y por lo tanto obtener un mayor número de combinaciones de re-uso de frecuencias, para alcanzar finalmente más canales disponibles para los usuarios.

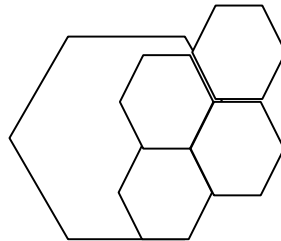


Figura I.10. Redimensionamiento de las zonas por cubrir.

Existen diferentes tipos de equipo que brindan la cobertura en una célula, entre ellos tenemos solo por mencionar algunos, los de mayor capacidad son llamados macrocélula y los de menor capacidad microcélula; la macrocélula son equipos capaces de brindar cobertura y servicio en áreas abiertas donde el límite de la señal será la propia propagación de radiofrecuencia RF y la morfología de la zona; por el contrario, las microcélulas brindan cobertura y servicio en zonas de menor dimensión tanto abiertas, calles, túneles, tramos de carretera, etc., como en el interior de los inmuebles.

La combinación de diferentes tipos de células incrementa la complejidad del diseño. Con todo esto el objetivo que se persigue es distribuir las estaciones base de acuerdo al terreno, buscando un mínimo de zonas de sombra (zonas donde no hay cobertura), idealmente se pensará que una estación base emite cobertura en todas direcciones y con la misma potencia de señal, pero en realidad para optimizar recursos se aplica que solo emita mayor potencia en una dirección dada, para evitar desperdiciar potencia emitiéndola donde nadie va a recibirla y además se optimiza la recepción en zonas de alta densidad de equipos móviles.

I.1.9. Sectorización

La sectorización consiste en dividir una célula en sectores de 60 grados o 120 grados, consideraremos a lo largo de este trabajo sectores de 120 grados, por ser éste el tipo de sector que se estila en las redes celulares en México. En cada uno de estos sectores se

utilizan antenas direccionales para radiar la señal, con las cuales es posible controlar la dimensión de la zona a cubrir y la dirección en la que será dirigida la señal. La forma en que la célula queda dividida se ilustra en la figura I.11.

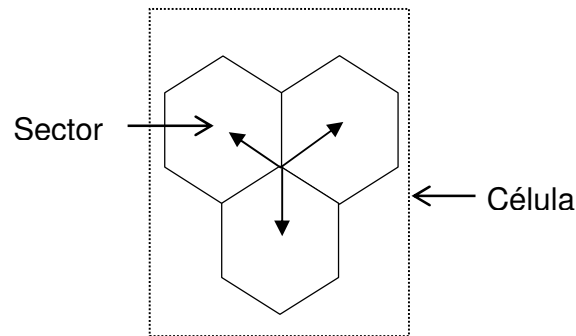


Figura I.11. Célula dividida en tres sectores de 120 grados.

Además del tipo de antena que se utilizará en cada sector, los sectores se configuran con parámetros técnicos, tales como: frecuencia de los canales a usar, identificador de sector, identificador de canal y sectores cercanos, los cuales definiremos como “servidores vecinos”.

Además del concepto de servidores vecinos, existe el de “servidores interferentes”, que así le llamaremos a aquellos servidores que no se encuentran configurados como servidores vecinos en un sector, y a pesar de ello su señal llega reflejada a él. Más adelante explicaremos cómo estos servidores pueden provocar problemas de comunicación.

La sectorización es un complemento de la división celular, ambos son conceptos importantes para la planeación y diseño de la red celular.

Con la estandarización en la configuración de los sectores, se pretende un crecimiento ordenado de la red y reducir el riesgo de problemas por interferencia.

I.2. RADIOFRECUENCIA

Se suelen llamar radiofrecuencias a aquellas frecuencias que son lo suficientemente altas para irradiarse en forma eficiente de una antena y propagarse por el espacio libre.

Las radiofrecuencias son ondas electromagnéticas y de la misma forma que la luz, se propagan a través del espacio libre en línea recta y con una velocidad aproximada a la velocidad de la luz. Para propagar las ondas de radio por la atmósfera terrestre se necesita que la energía se irradie desde una fuente y sea recibida en algún otro punto por un receptor.

I.2.1. Propagación de ondas

En las radiocomunicaciones terrestres existen diversas formas de propagar las ondas, las cuales van a depender del tipo de sistema de que se trate y del ambiente que predomine en el sitio. Existen tres formas de propagación de ondas terrestres:

- Onda de superficie
- Onda espacial (ondas directas y reflejadas en el suelo)
- Ondas celestes o ionosféricas

En todo sistema de radiocomunicación se presentan los tres modos de propagación, aunque en ciertos casos algunos de ellos son despreciables en determinados intervalos de frecuencias o para áreas geográficas específicas. La figura I.12 ilustra los modos normales de propagación entre dos antenas de radio.

Dada su importancia, es muy conveniente conocer las formas de propagación de las ondas terrestres.

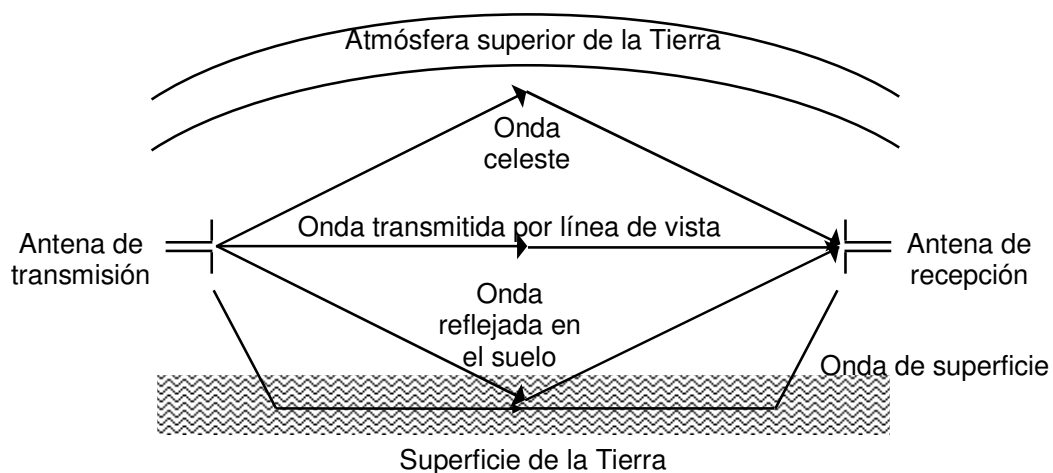


Figura I.12. Principales modos de propagación de ondas terrestres.

1.2.1.1. Propagación de ondas de superficie

Las ondas de superficie son aquellas que se propagan en la superficie de la Tierra, es por esta razón que en algunos casos también se les suele llamar ondas terrestres. Las ondas terrestres al propagarse deben estar polarizadas verticalmente, debido a que de esta manera la componente de campo eléctrico sería perpendicular a la superficie de la Tierra, evitando con ello ponerse en corto por la influencia de la conductividad del suelo.

La atmósfera terrestre presenta un gradiente de densidad, es decir, su densidad disminuye de forma gradual conforme aumenta su distancia con la superficie de la Tierra; esta propiedad provoca que el frente de la onda que se propaga se vaya inclinando paulatinamente hacia enfrente. De esta manera la onda terrestre logra propagarse en torno a la Tierra consiguiendo así acercarse a su superficie.

1.2.1.2. Propagación de las ondas espaciales

Las ondas espaciales contemplan a las ondas reflejadas en el suelo y a las ondas directas. Las ondas reflejadas en el suelo son aquellas que para poder ser propagadas entre las antenas transmisora y receptora son reflejadas en la superficie de la Tierra; las ondas directas, como su nombre lo indica, se trasladan en línea recta entre las antenas emisora y receptora, a este tipo de transmisión se le conoce como transmisión por línea de vista.

Para la propagación por ondas espaciales es importante considerar la fase existente entre las ondas directas y las reflejadas en el suelo para evitar la interferencia entre ellas; así como la distancia entre las antenas emisora y receptora, ya que de ellas dependerá la intensidad de campo de la antena de recepción.

1.2.1.3. Propagación por ondas celestes

Las ondas celestes son aquellas ondas electromagnéticas que se dirigen sobre el nivel del horizonte, las cuales se irradian formando un ángulo muy grande con la superficie de la tierra.

En ocasiones a este tipo de propagación se le suele llamar propagación ionosférica, esto es debido a que las ondas se irradian hacia el cielo, y en la ionosfera es donde son reflejadas o refractadas hacia la superficie terrestre. El efecto que provoca la ionosfera sobre la onda irradiada es incrementar su velocidad de propagación y por consecuencia las ondas electromagnéticas se desvían y se alejan de esta región de alta densidad de electrones hacia regiones inferiores con menor densidad aumentando de esta manera la refracción.

I.2.2. Propiedades ópticas de las ondas de radio

Debido a las características de la atmósfera terrestre, la propagación de ondas electromagnéticas presenta efectos ópticos tales como refracción, reflexión, difracción e interferencia. Se dice que éstas son propiedades ópticas porque primero fueron observadas y estudiadas en la ciencia de la óptica. Debido a que las ondas luminosas son ondas electromagnéticas de muy altas frecuencias, resulta lógico considerar estas propiedades para las ondas electromagnéticas.

La refracción electromagnética es el cambio de dirección que se presenta cuando un rayo pasa de un medio a otro de mayor densidad en dirección oblicua, con diferente velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga; lo que provoca el fenómeno de refracción cada vez que una onda electromagnética pasa de un medio a otro con diferente densidad.

La figura I.13 ilustra la refracción de un frente de onda que se presenta en una frontera plana entre dos medios con distintas densidades. Podemos observar que el rayo B entra antes que el rayo A al medio más denso (v_2), de tal manera el rayo B se propaga con mayor rapidez que el rayo A, y al mismo tiempo recorre las distancias AA' y BB' teniendo por consecuencia el nuevo frente de onda A'B'. El ángulo incidente es el formado por la onda incidente y la normal, así el ángulo de refracción es el que forman la onda refractada y la normal.

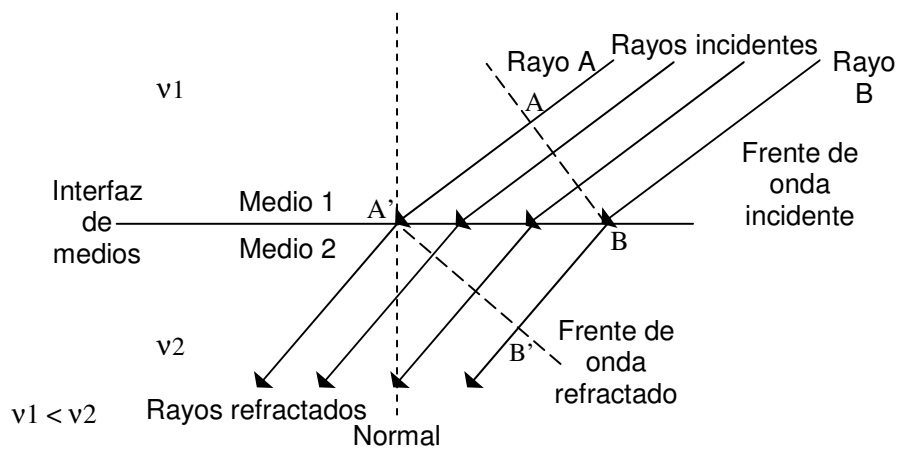


Figura I.13. Refracción en una frontera plana entre dos medios.

Es posible predecir el grado de refracción que existe entre dos materiales de distintas densidades, mismo que depende del índice de refracción de cada uno de los materiales. El índice de refracción es la relación existente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío y la velocidad de propagación de la luz en dicho material, y su ecuación es:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-4)$$

En donde:

n = índice de refracción

c = velocidad de la luz en el espacio libre (3×10^8 [m/s])

v = velocidad de la luz en determinado material [m/s]

La ley de Snell describe la forma en que reacciona una onda electromagnética cuando llega a la interfaz entre dos materiales de distintas densidades, la cual establece lo siguiente:

$$n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2 \quad (1-5)$$

En donde:

$n_{1,2}$ = índices de refracción de materiales 1 y 2

$\theta_{1,2}$ = ángulos de incidencia 1 y 2 [°]

En la figura I.14 se presenta un modelo de la ley de Snell, en ella se muestra cómo se refracta una onda al pasar de un material más denso (con mayor índice de refracción) a uno menos denso (menor índice de refracción). Podemos apreciar que la onda incidente cambia de dirección en la interfaz, y que el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia. En consecuencia, cuando una onda electromagnética entra a un material menos denso, se dobla alejándose de la normal.

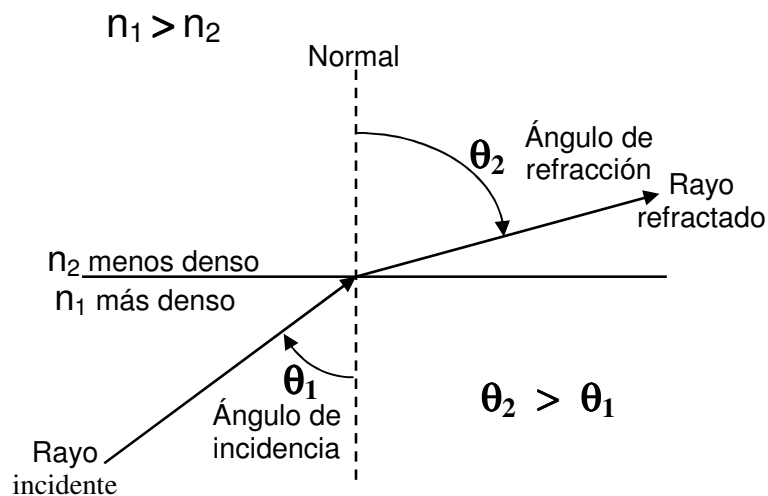


Figura I.14. Modelo para la ley de Snell de refracción.

Cuando tenemos el caso de que una onda incidente se refleje en la frontera que existe entre dos medios, a este comportamiento se le llama reflexión electromagnética. Debido a que tanto las ondas incidentes como las reflejadas se encuentran dentro del mismo medio, las velocidades de las ondas incidentes y reflejadas son exactamente iguales, por ende el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia $\theta_i = \theta_r$.

Cabe comentar que a la relación de la intensidad del campo del voltaje reflejado e incidente se le llama coeficiente de reflexión (Γ), y está expresada por la siguiente ecuación:

$$\Gamma = \frac{E_r \cdot e^{j\theta_r}}{E_i \cdot e^{j\theta_i}} = \frac{E_r}{E_i} = e^{j(\theta_r - \theta_i)} \quad (1-6)$$

En donde:

Γ = coeficiente de reflexión

E_i = intensidad de voltaje incidente [V]

E_r = intensidad de voltaje reflejado [V]

θ_i = fase incidente [°]

θ_r = fase reflejada [°]

En el caso de un conductor perfecto el valor del coeficiente de reflexión Γ es igual a 1.

Cuando la superficie reflectora no es plana, sino curva, la curvatura de la onda reflejada es diferente de la onda incidente. En cambio, cuando el frente de onda de la onda incidente es curvo y la superficie reflectora es plana la curva del frente de onda reflejada es igual al frente de onda incidente, como se muestra en la figura I.15.

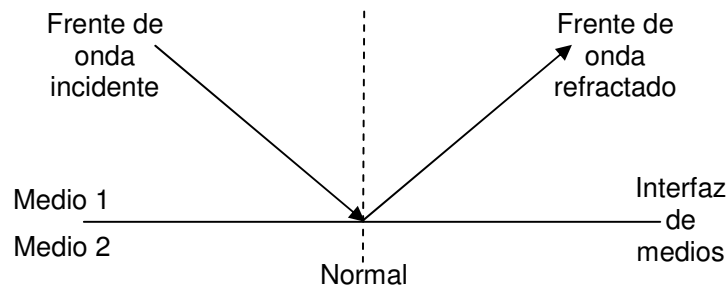


Figura I.15. Reflexión electromagnética en una interfaz plana dada entre dos medios.

Otro aspecto importante del comportamiento de las ondas es la difracción. La difracción es la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un frente de onda opaco. Este fenómeno permite que las ondas de radio o luminosas se propaguen en torno a esquinas.

Cuando un frente de onda pasa muy cerca de una discontinuidad o de un obstáculo que tengan dimensiones muy semejantes a la longitud de onda de la onda mencionada, no resulta factible realizar un análisis geométrico simple, por lo que resulta necesario utilizar el principio de Huygens, mismo que establece que todo punto sobre un determinado frente de onda esférico puede considerarse como una fuente puntual secundaria de ondas electromagnéticas.

El principio de Huygens se ilustra en la figura I.16. Tomando en consideración un frente de onda plano y finito, como en la figura I.16(a), es incompleta la anulación en direcciones aleatorias, teniendo así que el frente de onda se reparta hacia afuera, o bien se dispersa. A este efecto de dispersión se le conoce como difracción. La figura I.16(b) muestra la difracción en torno a la orilla de la superficie, misma en que podemos apreciar que la anulación presentada en las ondulaciones sólo es parcial, permitiendo de este modo que las ondas secundarias se deslicen en torno a las aristas de la superficie aproximándose a lo que se nombra zona de sombra.

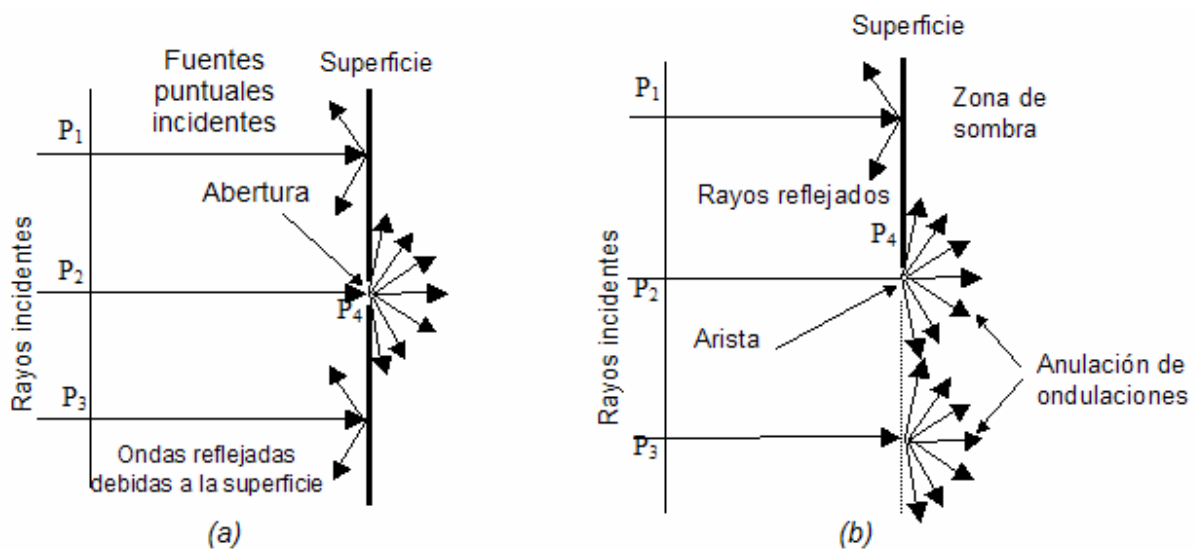


Figura I.16. Difracción de las ondas electromagnéticas: (a) frente de una onda finita a través de una abertura; (b) frente de onda rodeando una arista.

I.3. ANTENAS

Los sistemas de comunicaciones utilizan antenas para realizar enlaces punto a punto, difundir señales de televisión o radio o bien transmitir y recibir señales en equipos portátiles, siendo precisamente este último el caso particular de nuestro estudio.

Refiriéndonos a la telefonía celular, las antenas se localizan tanto en el teléfono como en las estaciones base, estas últimas actúan como ruteadores de información para dirigir de manera apropiada las señales de las llamadas tanto entrantes como salientes; del mismo modo actúan como repetidoras para hacer posible la conexión entre celulares a grandes distancias.

Una antena es aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas, de este modo convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

En general, una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y esta es radiada por el espacio libre. Una antena es un dispositivo recíproco pasivo; pasivo en cuanto a que en realidad no puede amplificar una señal, por lo menos no en el sentido real de la palabra (sin embargo, una antena puede tener ganancia), y recíproco en cuanto a que las características de transmisión y recepción son idénticas, excepto donde las corrientes de alimentación al elemento de la antena se limitan a la modificación del patrón de transmisión.

Para un análisis básico de antenas es necesario tener una referencia absoluta sobre la cual apoyarse, para ello se creó un dispositivo imaginario llamado antena isotrópica. Esta es una antena puntual, perfectamente omnidireccional, con ganancia de cero decibeles, que irradia una señal de forma esférica perfectamente uniforme, de igual intensidad en todas direcciones.

Por otro lado, una guía de onda es un tubo metálico conductor por medio del cual se propaga energía electromagnética de alta frecuencia, por lo general entre una antena y un transmisor, un receptor, o ambos. Una guía de onda, así como una línea de transmisión, se utilizan sólo para interconectar eficientemente una antena con el transceptor. Una antena acopla energía de la salida de un transmisor a la atmósfera de la Tierra o de la atmósfera de la Tierra a un receptor.

Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para todas las ondas, esa figura es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de interés los cuales se dan cuando la figura trazada es un segmento, denominándose linealmente polarizada, y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente polarizada.

I.3.1. Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena se define como la representación gráfica de las características de radiación en función de la dirección angular. Se utilizará habitualmente un sistema de coordenadas esférico. Las tres variables de un sistema esférico son: radio (r), inclinación (θ) y dirección (ϕ), mostrado en la figura I.17.

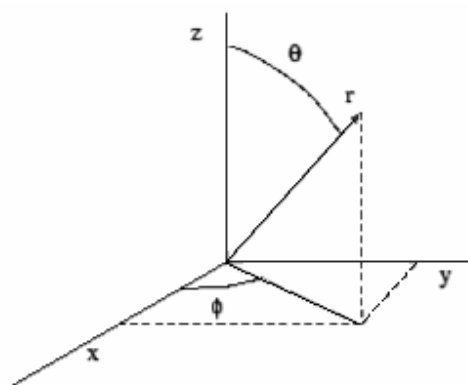


Figura I.17. Sistema de coordenadas esféricas.

Al considerar el radio (r) constante, aunque θ y ϕ tomen cualquier valor, se forma una esfera, con la cual nos indica el alcance de la potencia radiada.

Ahora si la inclinación (θ) es constante, no importando la dirección y la magnitud del radio, se forma un cono, dependiendo de la abertura de θ conoceremos gráficamente la directividad de una antena, esta última se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada; mientras menor sea θ , más directiva será la antena, ya que el cono que forma será muy cerrado.

Haciendo constante a la dirección (ϕ), tomando en cuenta valores distintos para r y para θ , lo que se forma es un plano, éste sólo muestra la dirección a la cual estará orientada una antena.

Mediante el sistema de coordenadas esférico se pueden representar el campo eléctrico, el campo magnético o la densidad de potencia radiada. Dado que los campos son magnitudes vectoriales se pueden representar el módulo o la fase de sus componentes. Las formas de representación pueden ser tridimensionales o bidimensionales, en escala lineal o logarítmica. Dada la dificultad de representar gráficamente el diagrama tridimensional, se opta por representar cortes del diagrama en coordenadas polares o cartesianas. Los cortes corresponden a la intersección del diagrama esférico con planos. Esta representación gráfica se hace mediante un diagrama de coordenadas polares donde sólo medimos la fase θ y potencia radiada r .

La representación polar del patrón de radiación se muestra en la figura I.18. Del centro de la circunferencia hacia fuera se representa la potencia radiada r , y en el contorno de esta circunferencia la fase θ , con la que podemos ver con más facilidad que tan directiva es la antena.

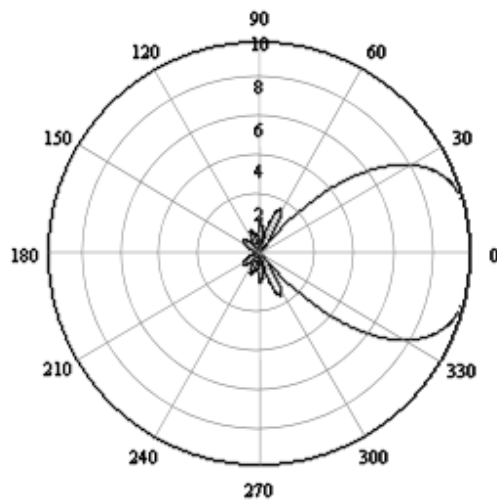


Figura I.18. Patrón de radiación representado en coordenadas polares.

I.3.2. Polarización

En una antena la polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse.

El sentido de giro del campo eléctrico, para una onda que se aleja del observador, determina si la onda está polarizada circularmente a derecha o a izquierda. Si el sentido de giro coincide con las agujas del reloj, la polarización es circular a derechas. Si el sentido de giro es contrario a las agujas del reloj, la polarización es circular a izquierdas. El mismo convenio aplica a las ondas con polarización elíptica.

I.3.3. Ganancia, directividad y eficiencia

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena. Así, una antena con alta ganancia es altamente direccional y una con baja ganancia es omnidireccional.

También se encuentra el concepto de directividad, siendo esta la potencia radiada por la antena en una dirección dada, mientras que en la definición de ganancia se habla de potencia entregada a la antena. La diferencia entre ambas potencias es la potencia disipada por la antena, debida a pérdidas óhmicas. En el caso de que una antena no tenga pérdidas óhmicas, la directividad y la ganancia son iguales.

Por otro lado, la eficiencia se puede definir como la relación entre la potencia radiada por una antena y la potencia entregada a la misma. La eficiencia es un número comprendido entre 0 y 1.

Estos tres conceptos son básicos para el diseño e implementación de una antena de telefonía móvil.

1.3.4. Antenas para MS

Los requerimientos de una antena para unidades móviles son, básicamente, desarrollar la mayor ganancia posible sobre el ancho de banda requerido. Al reducir el tamaño y el peso de las unidades telefónicas, se logra mejorar la ganancia efectiva de la antena.

La tendencia actual mantiene una reducción paulatina en el tamaño y el peso de una unidad móvil. Estos cambios tan dramáticos en el volumen y en el peso han ido acompañados de una rápida evolución de las antenas usadas para estos teléfonos. Los esfuerzos de diseño han sido el mantener aproximadamente el mismo desempeño de la antena en términos de ganancia, cobertura, y ancho de banda a la par de los rápidos requerimientos de reducción del tamaño.

Las principales características de diseño que deben cumplir las antenas para móviles son: facilidad de montaje, dimensiones reducidas y un patrón de radiación omnidireccional. Es claro que con los dos primeros puntos se busca llegar a un dispositivo que sea ergonómico y de fácil uso para el usuario; en tanto que el tercer punto tiene que ver con un aspecto técnico; durante el uso del móvil, el usuario lo apuntará aleatoriamente hacia cualquier

dirección, esto quiere decir que la dirección de la polarización y el patrón de radiación no deben ser fijos, de ahí que es necesario que la antena del móvil radie en todas direcciones posibles. Para lograr esto se manejan distintos tipos de antenas para MS, como lo son el dipolo helicoidal y la antena de lazo de cuarto de onda.

I.3.4.1. Dipolo helicoidal

Las antenas de dipolo helicoidal usan dos hélices: una hélice primaria fija de aproximadamente 2 cm de largo (longitud eléctrica de un cuarto de onda) y una hélice resonante secundaria de unos 10 cm (longitud eléctrica de media onda) que pueden ser comprimidas en el encapsulado del radio. Una vez que son extendidas, la hélice secundaria se convierte en el radiador dominante, debido a que es libre de pérdidas causadas por la mano del usuario que sostiene el aparato. La hélice secundaria es alimentada por la antena primaria y presenta un excelente desempeño en el espacio libre, dependiendo de su propia longitud y de las pérdidas debidas a la resistencia en el alambre de metal de que está hecha la hélice. En el extremo de la antena secundaria hay una barra dieléctrica de 2 cm de largo para desacoplar las dos hélices, cuando la antena secundaria se encuentra retractada, logrando de esta manera que la inducción de RF sea mínima en el encapsulado a través de esa trayectoria. Figura I.19.



Figura I.19. Diagrama de una antena dipolo helicoidal para MS y su implementación física.

I.3.4.2. Antena de lazo de cuarto de onda

Cuando el encapsulado es más largo que un cuarto de longitud de onda, parte de las corrientes del encapsulado estarán en oposición con las corrientes de la antena dando como

resultado pérdida de ganancia en el horizonte. Los primeros modelos de celulares portátiles tienen un encapsulado de unos 20 cm de largo. En lo que se refiere a mediciones en el patrón de radiación de la antena helicoidal de un teléfono portátil cerca de la cabeza de un humano, muestra una pérdida de ganancia promedio de unos 12 dB con respecto a un dipolo en el espacio libre de media onda. La mayoría de los problemas que existen para las antenas helicoidales se presentan en las antenas de lazo de un cuarto de onda, aunque su patrón de radiación es ligeramente más eficiente.

Debido a que no existe una verdadera ventaja en usar antenas de lazo de un cuarto de onda sobre las antenas helicoidales, las antenas de lazo han gozado de aceptación en el mercado de los teléfonos portátiles. En la figura I.20 se muestra el diagrama de una antena de lazo de cuarto de onda.

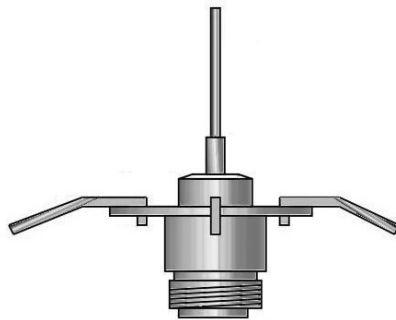


Figura I.20. Diagrama de una antena de lazo de cuarto de onda para MS.

I.3.5. Antenas en BTS

En las estaciones base, las antenas están compuestas de arreglos de dipolos. Este tipo de antena es esencialmente un dipolo de media onda alimentado en un extremo por una línea coaxial. La estructura tiene una simetría cilíndrica, por lo que en el espacio libre posee una excelente uniformidad en el patrón de radiación. La estructura de radiación es un dipolo asimétrico hecho de conductores de diferentes diámetros y de, ligeramente, distintas longitudes. El radiador es más delgado y es, por lo general, el conductor interno de la línea coaxial que alimenta a la antena.

Los arreglos de dipolos utilizan elementos que usualmente no pasan de los 10 cm de longitud. La mayoría de las células están agrupadas en tres sectores, por lo que cada grupo de antenas tendrá una forma triangular. Usualmente cada uno de estos grupos se integra de tres antenas direccionales, siendo una de ellas para transmisión y dos para recepción; con una separación de 120° entre sí, dando una cobertura total de 360° . En el lado receptor las dos antenas sirven para comparar las señales transmitidas y seleccionar la mejor antena para cada usuario dentro de la célula en uso.

En la figura I.21 se muestra una antena de arreglos de dipolos de una BTS para GSM. Esta antena está compuesta de 6 dipolos, polarizados verticalmente, con un escudo conductivo en la parte trasera. Este arreglo tiene una longitud de alrededor de 2 m, operando en la banda de los 870 – 960 MHz.

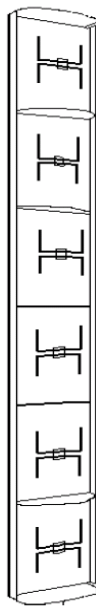


Figura I.21. Arreglo de dipolos para una BTS.

Una vez estudiadas las bases de la telefonía celular, en el siguiente capítulo se estudiará a fondo la tecnología GSM en base a la cual se desarrolla la solución a implementar en este trabajo de tesis.

CAPÍTULO II

TEORÍA DEL FUNCIONAMIENTO DE

GSM

II.1. PRINCIPIOS DE GSM

GSM nació de la necesidad compartida por varios países europeos que deseaban introducir un sistema de comunicación móvil común, que les permitiera resolver el problema de crecimiento de la demanda de servicio de comunicación móvil y que adicionalmente fuera flexible para incluir servicios de valor agregado. Por ello, en 1982 la Confederación Europea Postal de Telecomunicaciones (CEPT) formó un comité conocido como GSM, el objetivo de este comité fue el definir un estándar para un nuevo sistema de comunicaciones móviles; posteriormente, en 1989 se transfirió la responsabilidad al Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones Europeo (ETSI). Así, en 1991, mientras GSM se introdujo en Europa, también fue adquirido por otros países en todo el mundo, por lo que los retos para GSM seguían surgiendo, ya no sólo debía permitir el uso de la red entre países, ahora debía ofrecer las facilidades para ser conectada a otras redes como son: redes públicas de voz y redes privadas. Es así como GSM ha ido evolucionando constantemente y se pueden distinguir tres fases de evolución: la fase 1, en la que se produjeron sus especificaciones técnicas y sólo ofrecía servicio de voz; la fase 2, en la que se incluyeron servicios de datos y

fax, y finalmente la fase 2+, en la que se realizaron mejoras en la codificación y calidad de la transmisión de voz y se implementaron servicios de transmisión de datos como GPRS.

II.2. ORGANIZACIÓN INTERNA DE GSM

Para presentar una breve descripción de la estructura de GSM, mencionaremos los distintos subsistemas que conforman la red y describiremos sus funciones específicas, las cuales deben gestionar las comunicaciones y conectar el MS a otro tipo de redes, como puede ser la PSTN, redes de cobertura amplia (WAN) y también a otras MS.

II.2.1. Subsistemas en GSM

En general, la arquitectura de la red GSM está dividida en tres subsistemas: el Subsistema de Conmutación, el Subsistema de Estaciones Base y el Subsistema de Operación y Mantenimiento, figura II.1. Cada uno de estos subsistemas contiene una serie de unidades en donde se realizan las funciones que la red GSM es capaz de proporcionar. Las funciones relacionadas con el proceso de llamadas y abonados están implementadas en el Subsistema de Conmutación, mientras que las funciones relacionadas con la comunicación vía radio se encuentran en el Subsistema de Estación Base, todo ello esta supervisado por el Subsistema de Operación y Mantenimiento.

Para mostrar la relación entre los diferentes subsistemas de la red GSM, indicaremos una configuración general de la red, pero al mismo tiempo es una configuración básica, ya que sólo contiene de forma descriptiva los elementos que la conforman. Figura II.1.

De los subsistemas que conforman la red GSM, podemos comentar que el Subsistema de Operación y Mantenimiento proporciona los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente administración, tanto de la parte del Subsistema de Conmutación como en el Subsistema de Estación Base.

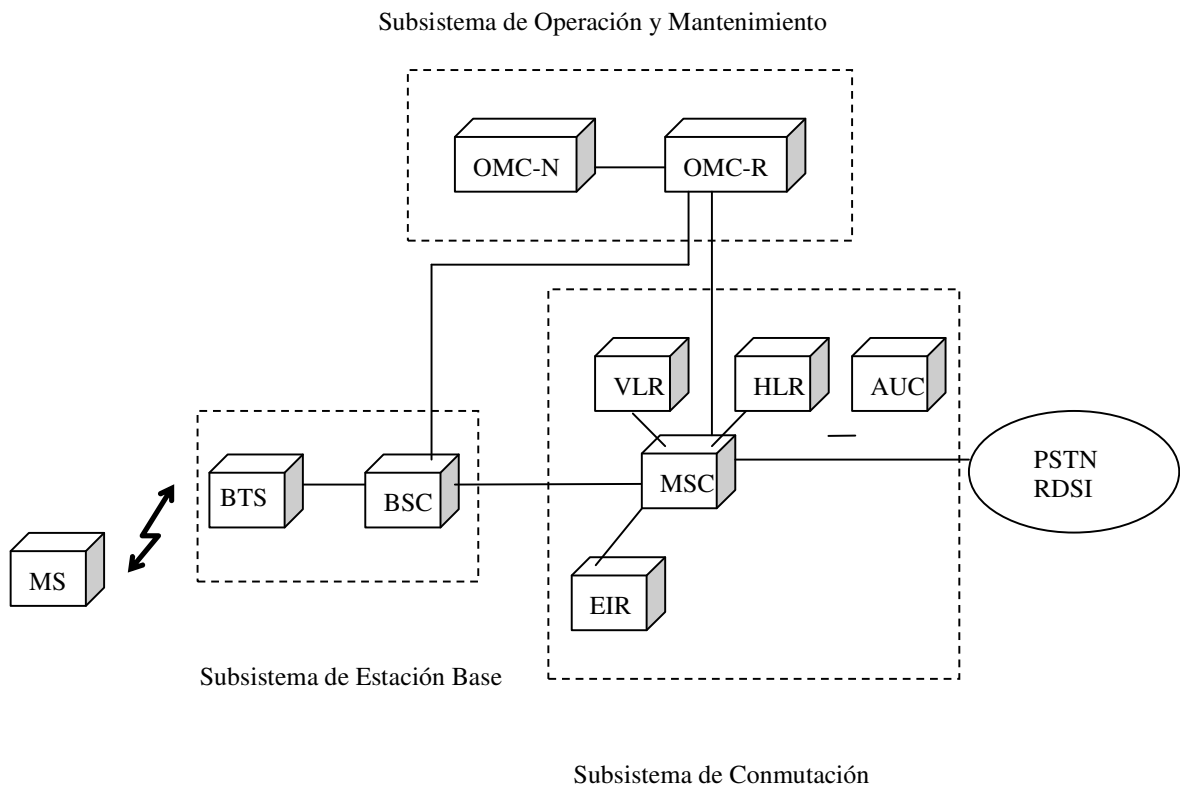


Figura II.1. Subsistemas en GSM.

El subsistema de operación y mantenimiento tiene acceso remoto a todos los elementos que componen la red GSM, esta característica le permite ejecutar funciones como: gestión de las alarmas y verificación del estado del sistema, efectuar pruebas para confirmar el correcto funcionamiento de sistema, recolección de los datos necesarios de tráfico y de los usuarios para la facturación de los servicios, supervisión del flujo de tráfico a través de las MSC, acceso a los datos de configuración de la red con posibilidad de realizar cambios vía control remoto, etc. El Subsistema de Operación y Mantenimiento está formado por los siguientes elementos:

- Centro de Operación y Mantenimiento Nacional o General (OMC-N)
- Centro de Operación y Mantenimiento Regional (OMC-R)

En algunas redes GSM, debido a su gran tamaño, puede existir más de un OMC-N. En otros casos, sólo un OMC-N es necesario para controlar todos los OMC-R, figura II.2. Cada OMC-R, como su mismo nombre lo indica, está limitado a controlar una zona determinada.

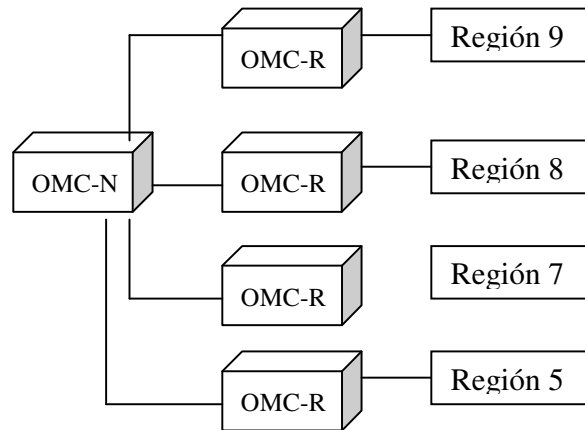


Figura II.2. Subsistemas de Operación y Mantenimiento.

El Subsistema de Conmutación realiza todas las funciones que se llevan a cabo en la telefonía celular, como son la administración de llamadas, el control de tráfico, el análisis de la numeración, la tarificación y las estadísticas de llamadas. El Subsistema de Conmutación está conformado por los siguientes elementos, figura II.1:

- Central de conmutación de móviles (MSC)
- Registro de posiciones base (HLR)
- Registro de posiciones de visitante (VLR)
- Centro de autenticación de estaciones móviles (EIR)
- Centro de autenticación de Usuario (AUC)

De los elementos del Subsistema de Conmutación el equipo central es el MSC, ya que se ocupa del enrutamiento y gestión de todas las llamadas, ya sean directas y provenientes desde varios tipos de redes, también realiza la gestión del *handover* conmutando las llamadas entre BSCs diferentes o hacia otro MSC. Además, implementa la función de

compuerta con otros componentes de la red, cuando el MSC está equipado para realizar esta función se le conoce como G-MSC.

Dentro de la red GSM pueden estar presentes más MSCs y cada uno es responsable de la gestión del tráfico de una o más Subsistemas de Estación Base.

Los nodos HLR, VLR, EIR y AUC, realizan la función de base de datos para identificar los MEs de usuarios, para actualizar la posición y la autenticación de usuario y realizar la conducción de llamadas.

El HLR guarda la información de usuario de nuevos abonos a su cuenta, esta información la avisa al VLR, usando un número asignado a cada usuario denominado MSISDN, el cual está formado por un Código de País (CC), un Código Nacional de Destino (NDC) y un Número de Subscriber (SN), quedando un formato de la siguiente forma: MSISDN=CC/NDC/SN.

El HLR como base de datos es un archivo que puede ser único en toda la red y este HLR se conecta a un MSC, por lo que los demás MSCs sin HLR pueden tener acceso al HLR único. En caso de existir más HLRs a cada uno se le asigna un área.

El HLR está implementado en una Estación de Trabajo con gran capacidad de almacenamiento para guardar información como: el Identificador Internacional de Equipo de Subscriber (IMSI), servicios de abonado mediante el número MSISDN, Registro de Posición del MS que contiene el VLR, cargos de las llamadas, etc. Para la ejecución de sus funciones el HLR sostiene comunicación con el AUC, el VLR, el MSC y el OMC a través de la MSC o directamente.

El VLR es una base de datos que contiene información de manera temporal. Cada VLR tiene un área geográfica bajo su control, obteniendo todos los datos de los usuarios registrados en su área, como son: Servicios de usuario, estado de la MS (apagado, ocupado, etc.) y asigna al MS un identificador Temporal de Subscriber (TIMSI).

El VLR comúnmente se conecta a cada área de control vía el MSC, por lo que cada MSC estará implementada junto a un VLR:

El AUC es una función del sistema que verifica si el usuario que está solicitando el servicio es legítimo, esto se realiza confirmando la legitimidad de la tarjeta SIM a través del número IMSI contenido en la tarjeta. La autenticación del MS se realiza cada vez que el MS recibe o realiza una llamada, cuando el MS actualiza su posición y cuando solicita activación o desactivación de servicios.

La AUC puede ser implementada como una segunda aplicación dentro de la estación de trabajo donde está el HLR, ya que es el único con el que se comunica directamente. Por motivo de seguridad al AUC no se puede acceder vía control remoto.

El EIR es una base de datos que verifica si el ME está autorizado para acceder al sistema. El EIR contiene tres registros: el primer registro, llamado Lista Blanca, contiene los IMEIs designados por los operadores de varias naciones con quienes se tiene acuerdos para que el usuario realice llamadas internacionales; el segundo registro corresponde a la Lista Negra, la cual contiene los IMEIs bloqueados, por ejemplo los reportados como robados; y el tercer registro, o Lista Gris, contiene todos los IMEIs considerados como aparatos no homologados para la red GSM. Por lo anterior, cada vez que un MS intenta conectarse con la red, la MSC consulta el EIR para verificar en cual de los tres casos anteriores está registrado el MS y de ahí definir su acceso o no a la red GSM.

El EIR puede ser único para todo el sistema o puede distribuirse. También puede ser implementado en la misma Estación de Trabajo que se encuentra el HLR y AUC, pero como para el EIR es permisible que tengan acceso vía remota, por seguridad de los demás elementos, los operadores recomiendan que se implemente en una Estación de Trabajo aparte.

Una configuración más elaborada del Subsistema de Conmutación se muestra en la figura II.3. En esta imagen se muestran MSC de configuración sencilla y otra de mayor complejidad.

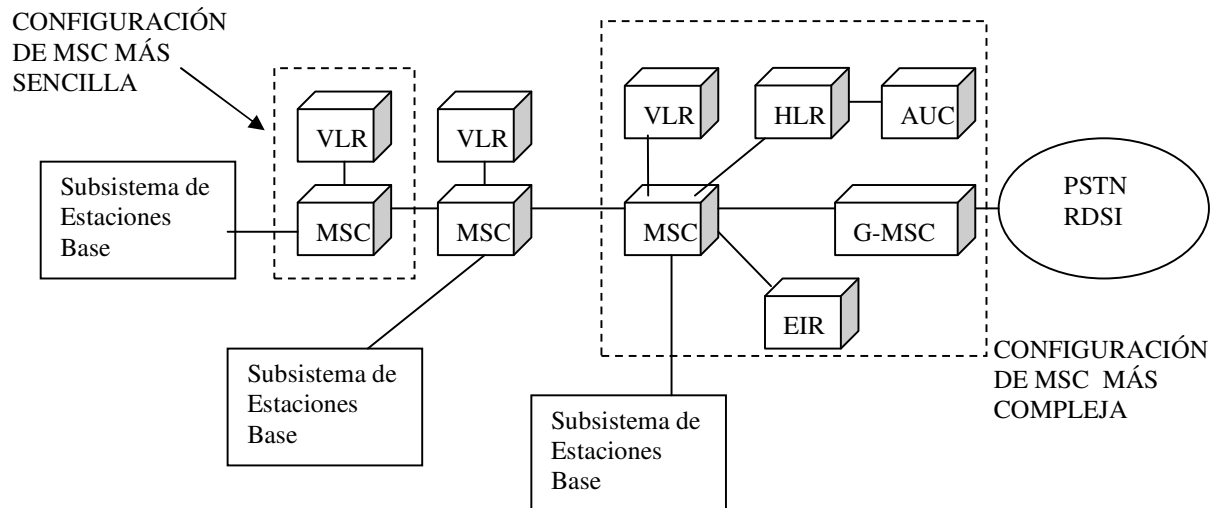


Figura II.3. Subsistema de Conmutación.

El Subsistema de Estaciones Base es responsable fundamentalmente de las siguientes funciones: de la comunicación vía radio en el sistema GSM, de la administración de las comunicaciones de radio, del manejo del traspaso de llamadas entre células en el área bajo su control, del control de nivel de potencia de la señal (tanto de las BTSs como de los MSs), e incluye las siguientes unidades:

- Controlador de Estaciones Base (BSC)
- Estaciones Base (BTS)

La BSC administra los recursos de radio para las BTS y controla la conexión entre BTS y MSC. En la administración de los canales de radio para una llamada, selecciona la celda correcta y selecciona el canal de radio más apto para efectuar la conexión.

La BSC también administra los *handover*, tomando como base la información notificada por el BTS, decide cuando efectuar el *handover*.

Por otro lado, a la BSC se le puede implementar la función de codificación de los canales de radio mediante *transcoders*, que permitirán transformar canales de 16 kbps y 8 kbps en canales de 64 kbps. A este tipo de BSC se le denomina BSC-TRC, o simplemente TRC.

En el caso de las BTSs, éstas alojan los equipos transmisores/receptores que sirven en una celda; mediante un canal de radiofrecuencia se comunica con los MSs que se encuentran transitando en el área de cobertura.

Dentro de las funciones que realiza la BTS se encuentran el monitoreo de la conexión de radiofrecuencia, donde realiza mediciones que luego envía a la BSC para la elaboración de registros que sirven para determinar la calidad en la conexión.

Al Subsistema de Estación Base irá conectada la MS vía una interfaz aérea, y a través de la cual, el abonado de la red móvil será capaz de efectuar y recibir llamadas. Cabe mencionar que la MS está formada por un Equipo Móvil (ME) y por una pequeña tarjeta dotada de memoria y microprocesador llamada Módulo de Identidad de Subscriptor (SIM). La tarjeta SIM permite identificar al usuario y los servicios que él tiene contratados en la red GSM, ésta característica permite al usuario cambiar de ME y continuar gozando de sus servicios contratados.

La configuración de los Subsistemas de Estación Base que pueden encontrarse dentro de una red GSM, los cuales se muestran en la figura II.4.

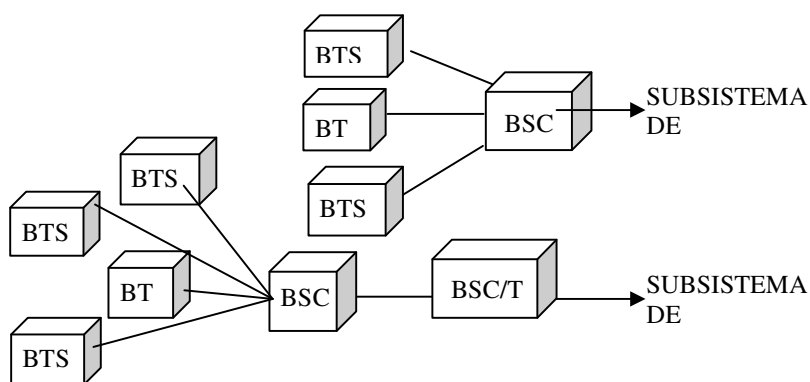


Figura II.4. Subsistema de Estaciones Base.

Para que exista una comunicación de intercambio de información y recursos entre los elementos que conforman la red GSM, existe entre cada par de elementos una interfaz independiente. Cada interfaz requiere de su propio protocolo de comunicación, esto permite asegurar el acceso común de los MS a la red, figura II.5.

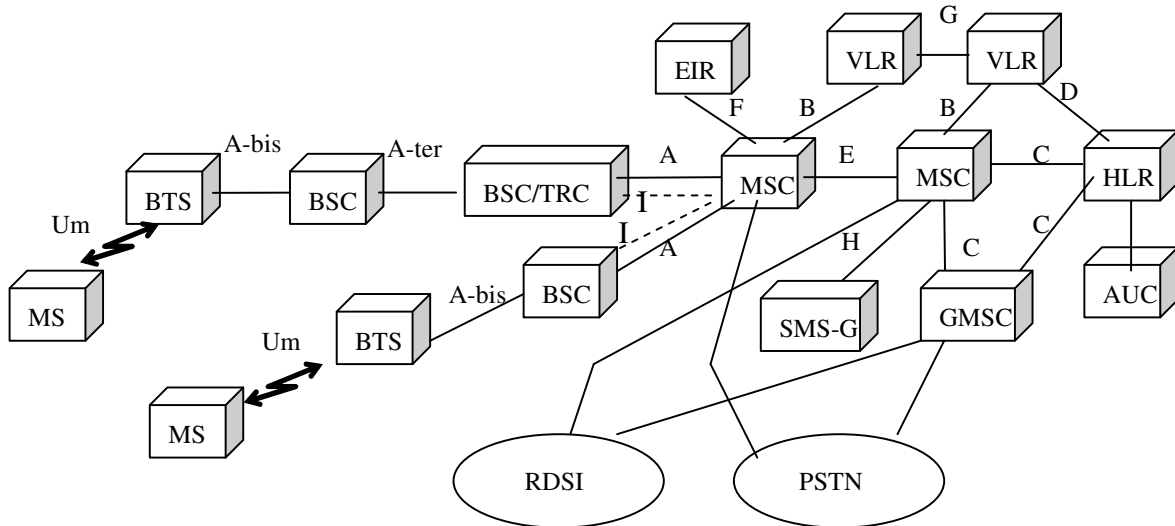


Figura II.5. Interfaces en GSM.

Las interfaces presentadas son:

- Interfaz Um, es la interfaz de radio utilizada para intercambios entre el MS y la BTS, a su vez esta interfaz utiliza una señalización basada en el protocolo LAPD.
- Interfaz A-bis, es una interfaz interna que enlaza el BSC y el BTS. Esta interfaz permite el control de radio y las frecuencias alojadas en el BTS.
- Interfaz A, se encuentra entre el BSC y el MSC. Esta interfaz administra el alojamiento de los recursos de radio compatibles al MS y a los administradores de movilidad. Cuando existe una BSC/TRC conectada entre la MSC y la BSC, a la sección de interfaz A entre ellos se le denomina interfaz A-ter.
- Interfaz B, se encuentra entre el MSC y el VLR. Esta interfaz utiliza el protocolo MAP/B. El MSC accesa a los registros de información sobre el móvil cada vez que se

desea obtener su ubicación. La mayoría de los MSC se encuentran asociados a los VLR, haciendo que la interfaz B sea una interfaz interna.

- Interfaz C, se encuentra localizada entre el HLR y un MSC o un GMSC. Utiliza el protocolo MAP/C. Generalmente se utiliza para poder otorgar al GMSC o al MSC la ruta adecuada en el enlace de una llamada desde el exterior de la red GSM.
- Interfaz D, se encuentra entre el VLR y el HLR. Utiliza protocolo Map/D. Esta interfaz se utiliza para el intercambio de datos relacionados a la localización del MS y a la administración del suscriptor.
- Interfaz E, se localiza entre cada MSC del sistema de GSM. Se utiliza para el intercambio de datos relacionados con el *handover* entre MSCs. En su operación utiliza el protocolo MAP/E.
- Interfaz F, se localiza entre el MSC y el EIR. Esta interfaz utiliza el MAP/F para verificar el estado del IMEI que el MSC obtiene del MS.
- Interfaz G, se localiza entre los VLRs de diferentes MSC. Esta interfaz utiliza el protocolo Map/G para transmitir información del suscriptor durante el proceso de actualización de localización.
- Interfaz H, se localiza entre el MSC y el SMS-G. Utiliza el MAP/H. Se utiliza para la transferencia de mensajes cortos.
- Interfaz I, se localiza entre el MSC y el MS. Los mensajes intercambiados sobre la interfaz I, son retransmitidos de forma transparentes a través del Subsistema de Estaciones Base.

II.3. PROCESAMIENTO DE SEÑAL EN GSM

El envío de una señal GSM desde que se origina hasta que llega a su destinatario abarca toda una serie de procesos que van desde la modulación de esa señal, pasando por su codificación y llegando hasta la recepción exitosa de esa señal. De este modo, como parte importante del proceso de señales y datos, se encuentra la modulación digital de las señales; a partir de ahí, ubicamos los códigos lógicos y de tráfico que permiten el acceso a la red, para así poder completar el proceso de llamada en una red GSM.

II.3.1. Modulación digital en GSM

El esquema de modulación usado en GSM tiene un uso más eficiente del espectro de radio, dado que es uno de los objetivos primordiales de la tecnología GSM es el de aprovechar eficientemente el ancho de banda utilizado (dada la cantidad de datos transmitidos). El tipo de modulación utilizado en GSM es *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK), un derivado de *Minimum Shift Keying* (MSK). Como lo menciona la teoría de esquemas de modulación con fase continua, este tipo de modulaciones se usa en sistemas que requieren resistir las interferencias y la atenuación mientras mantienen un mejor uso del espectro.

II.3.1.1. Modulación MSK

La modulación MSK es un derivado del esquema de conmutación por corrimiento de frecuencia (FSK) en el cual se puede reducir considerablemente el contenido espectral fuera de banda, gracias a la manipulación de la fase de la portadora. Esto se hace controlando la fase para evitar toda discontinuidad en la señal modulada, al mismo tiempo que se transmite la información vía un corrimiento en frecuencia.

Aun cuando MSK es una modulación derivada de FSK, la diferencia radica en que en MSK el espaciamiento entre frecuencias está sincronizado con la tasa de transferencia de entrada, además de que éstas se seleccionan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$f_1 + f_2 = 2f_c \quad (II-1)$$

En donde

$f_{1,2}$ = frecuencias para cada pulso [Hz]

f_c = frecuencia portadora [Hz]

La figura II.6 muestra una señal FSK discontinua, donde se observa que en cada cambio de símbolo (de 0 a 1 ó viceversa) hay un cambio de fase abrupto en la señal de salida; lo que provoca errores al momento de demodular la señal. En cambio, en MSK estas

discontinuidades desaparecen, ya que cada nuevo símbolo conlleva una transición fluida en la señal de salida, como lo indicamos en la figura II.7.

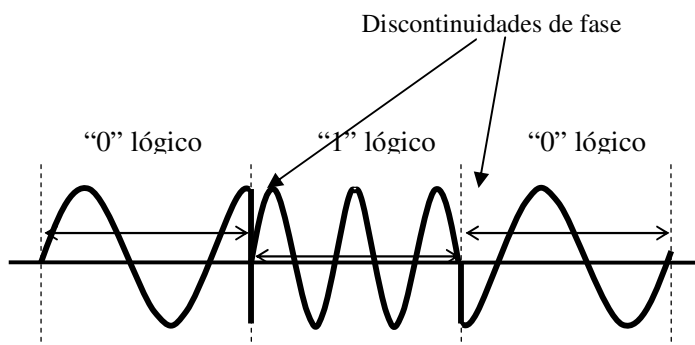


Figura II.6. Señal FSK discontinua.

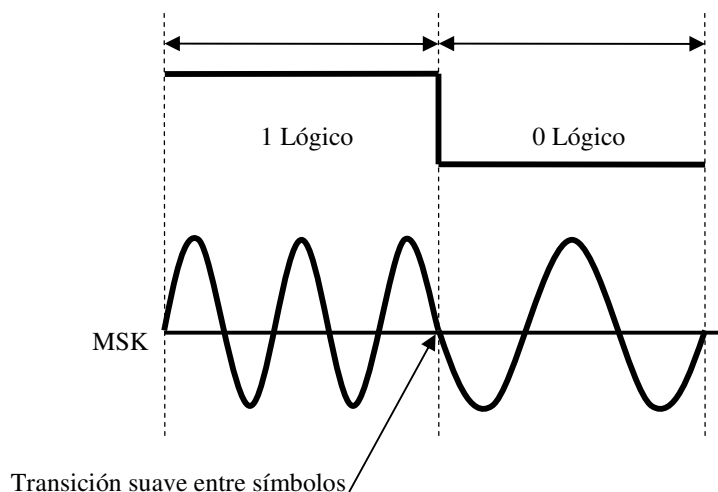


Figura II.7. Señal MSK continua.

De esta manera, habiendo considerado las características anteriores, se observa que la modulación MSK, tiene un mejor desempeño que FSK, pero no obstante la modulación MSK tiene el problema de interferencia entre canales, esto por el mínimo espacio entre canales adyacentes para un esquema GSM.

II.3.1.2. Modulación GMSK

Para reducir o eliminar, en la medida de lo posible, el problema de interferencia entre canales, se optó por procesar la señal binaria original con un filtro de tipo Gaussiano, dando por resultado la modulación GMSK.

En GMSK, los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK se reducen al pasar a través del filtro Gaussiano de premodulación. El filtro Gaussiano aplanar la trayectoria de fase de la señal MSK y estabiliza las variaciones de la frecuencia a través del tiempo. Esto tiene el efecto de reducir considerablemente los niveles de los lóbulos laterales en el espectro transmitido. El parámetro principal para el diseño de un filtro Gaussiano apropiado es el producto entre el ancho de banda y el tiempo (WT_b). En la figura II.8 se muestra la respuesta en frecuencia para diversos filtros Gaussianos. En ella se puede observar que para MSK (sin ningún tipo de filtro) el producto entre el ancho de banda y tiempo es infinito. Ésta es otra de las razones por las que es necesario comprimir el espectro de la señal MSK para obtener cambios en frecuencia mucho más suaves, lo que se refleja en un ancho de banda de la señal modulada mucho más reducido.

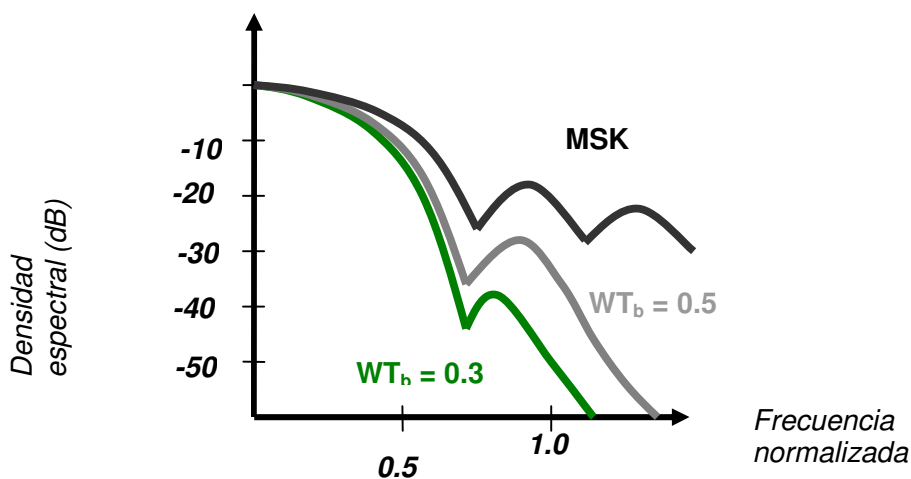


Figura II.8. Gráfica Frecuencia - Densidad espectral.

De la figura II.8 se observa que en el esquema GMSK el espectro de potencia cae de forma mucho más rápida que para MSK, además de que para valores WT_b más pequeños, la caída es más pronunciada. Sin embargo, los valores de WT_b no pueden llegar a ser tan pequeños

por que los pulsos se extienden más a lo largo del tiempo, esto puede provocar interferencia entre símbolos, de ahí que sea necesario escoger un WT_b intermedio. De acuerdo a los estándares establecidos en GSM, se escogió un producto WT_b de 0.3, el cual asegura el mejor desempeño para una eficiencia espectral adecuada y la mínima interferencia entre símbolos.

II.3.2. Acceso a la red GSM

Para lograr el acceso a la red GSM, el MS y la BTS realizan un intercambio de información mediante canales de comunicación especializados, siendo estos de tipo lógico y físico.

Los canales lógicos se subdividen en: Canales de Tráfico (TCH), que transportan información de usuario como voz y datos, y los Canales de Control (CCH), los cuales transportan información de señalización y sincronización entre la BTS y el MS, siendo algunos de estos canales bidireccionales y otros unidireccionales. En la tabla II.1 presentamos los tipos de Canales de Tráfico y de Control que existen en la red GSM.

TIPO DE CANAL	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
CANALES DE TRÁFICO	Canales de tráfico, albergan las llamadas en proceso que soportan la BTS.	
	TCH/FS	F: Full Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo de cada trama.
	TCH/F9.6	9.6: Datos a 9600 bps.
	TCH/F4.8	4.8: Datos a 4800 bps.
	TCH/F2.4	2.4: Datos a 2400 bps.
	TCH/HS	H: Half Rate. La información de un usuario se envía en una ranura de tiempo, con una trama de por medio. Dos usuarios comparten una misma ranura en diferentes instantes de tiempo.
	TCH/H4.8	S: Canal de voz.
	TCH/H2.4	

Tabla II.1. Tipos de canales de tráfico y de control en GSM. (Continúa)

CANALES DE CONTROL	Canales de control utilizados para permitir el enlace de los MS a la red GSM.		
	CANALES DE BROADCAST	BCCH	Canal de Control de Difusión, es emitido para señalar la disponibilidad de canales, informar de congestión, identificación y localización.
		FCCH	Canal de Control de Frecuencia, comunica al móvil (desde la BTS) la frecuencia portadora de la BTS.
		SCH	Canal de Control Sincronización, informa al móvil sobre la secuencia vigente en la BTS, para que el móvil la incorpore a sus ráfagas de información.
	Estos canales permiten el establecimiento de las llamadas y la asignación de canales de control.		
	CANALES COMUNES DE CONTROL	PCH	Canal de Aviso de Llamadas, permite a la BTS avisar al móvil que hay una llamada entrante.
		RACH	Canal de Acceso Aleatorio, alberga las peticiones de acceso a la red del móvil a la BTS.
		AGCH	Canal de Respuesta de Acceso, procesa la respuesta (aceptación o rechazo) de la BTS, sobre la petición de acceso del móvil.
	Canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión de usuario.		
	CANALES DE CONTROL DEDICADOS	SDCCH	Canal de Control de Soporte Único, es utilizado para muy baja tasa de datos (<i>roaming</i> , autenticación y criptografía).
SACCH		Canal de Control Asociado Lento, se usa como canal de tasa lenta para decisiones de control (potencia de transmisión) y mediciones.	
FACCH		Canal de Control Asociado Rápido, son similares a SACCH pero de mayor importancia para la autenticación y comandos de <i>handover</i> .	

Tabla II.1. Tipos de canales de tráfico y de control en GSM.

Los canales físicos se implementan usando las técnicas de acceso TDMA y FDMA. Éstas se basan en dos bandas de frecuencia de 25 MHz cada una; las cuales son usadas en Modo de Frecuencia Bidireccional (FDD), como se observa en la parte superior de la figura II.9. El enlace de subida (*uplink*), entre el móvil y la estación base, se implementa entre 890 y 915 MHz. El enlace de bajada (*downlink*), entre la estación base y el móvil, se encuentra en los 935 y 960 MHz.

La separación entre portadoras de los canales GSM es de 200 kHz y se ha definido una banda de guarda de otros 200 kHz a cada lado de las bandas GSM, por lo que el número de canales posibles en la banda es de 124. Cada uno de dichos canales de radiofrecuencia está dividido en intervalos de tiempo de 0.577 ms (exactamente $15000/26 \mu\text{s}$), dicha cantidad es lo que se denomina relación de aspecto TDMA y es un parámetro fijado en las especificaciones GSM.

Los intervalos de tiempo se agrupan en conjuntos de 8 intervalos consecutivos, formando lo que denominamos trama TDMA. Las tramas TDMA se agrupan a su vez en multitramas de una de las dos formas siguientes:

- Por 26 tramas y por lo tanto, tiene una duración de 120 ms. Esta multitrama es utilizada para contener canales de tráfico y sus canales de control asociados.
- Por 51 tramas y por lo tanto, tiene una duración aproximada de 235.4 ms. Esta multitrama es utilizada exclusivamente para canales de control.

La estructura de trama utilizada para cada canal físico es independiente de la de los demás. Esto quiere decir que cada uno de los ocho canales que forman un canal de RF puede estar agrupado en un modelo diferente de multitrama.

El siguiente nivel dentro de la estructura de TDMA es la supertrama. Esta tiene una duración de 6.12 s y esta formada por 51 multitramas de 26 tramas o 26 multitramas de 51 tramas.

El último nivel de la estructura es la hipertrama, que consiste en 2048 supertramas de duración aproximada 12533.76 s, lo que equivale a 3 horas, 28 minutos, 53 segundos y 760 milisegundos.

El enfoque de TDMA proporciona acceso múltiple con coordinación de números específicos de tramas en un tiempo dado, como se puede observar en la figura II.9. Este es aplicado en los canales de subida y de bajada; cada canal es dividido en 8 ranuras (*slots*) en cada una de las cuales se transmite una unidad de información.

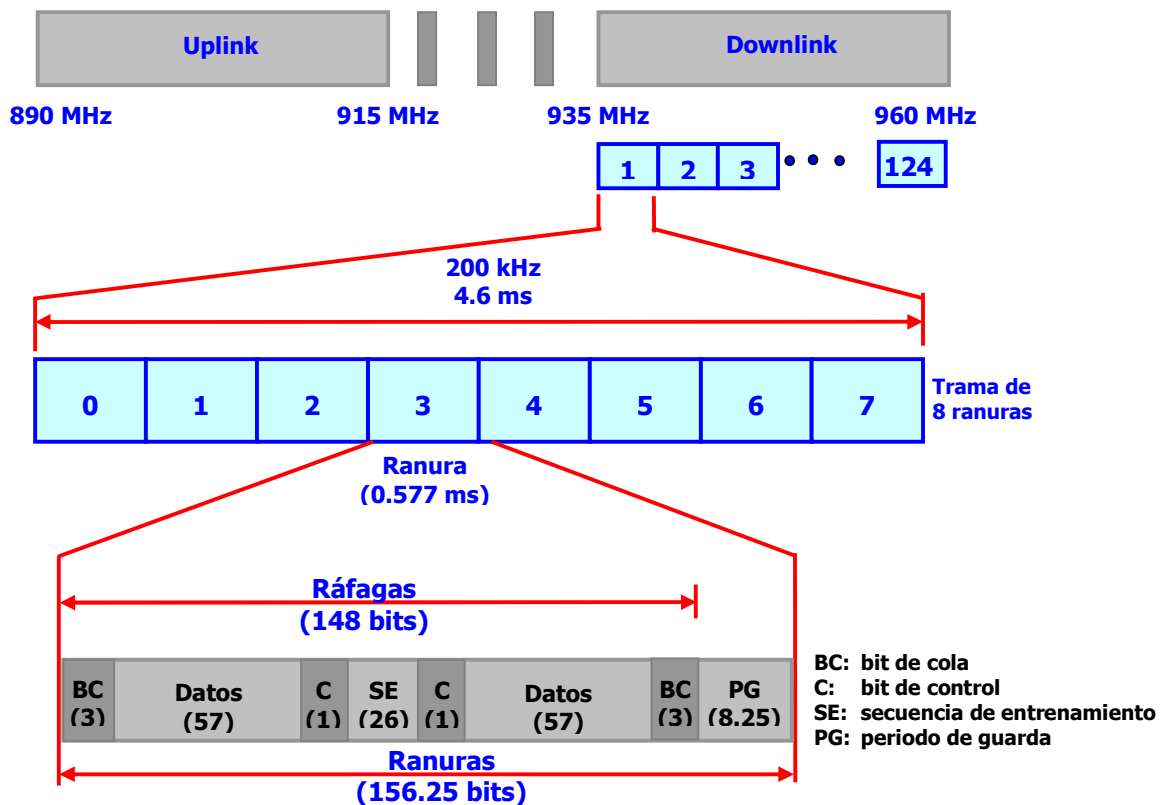


Figura II.9. FDMA y TDMA en GSM.

Se denomina *burst* a la ráfaga o secuencia de datos de extensión de 156.25 bits. El *burst* está formado de una parte útil y una de guarda, como se aprecia en la distribución de la figura II.9. La primera contiene los datos para ser transmitidos (114 bits = 2×57 bits), una secuencia de entrenamiento (26 bits), cola de bits (6 bits = 2×3 bits) y bits de control (2 bits). En la segunda parte tenemos el periodo de guarda (8.25 bits), en el cual no se transmite información, su único propósito es permitir una variación en el tiempo de llegada del *burst*, evitando con ello que este se traslape con las partes útiles de los *burst* adyacentes.

II.3.2.1. Códigos de canal

La utilización de códigos de canal es una técnica que se implementa para mejorar la confiabilidad de un enlace de comunicaciones, mediante la añadidura de bits de redundancia en la información a transmitir, con el objetivo de que en aquellos casos en que el mensaje

transmitido sea corrompido por efectos de ruido o desvanecimientos, éste pueda ser detectado como dañado y algunas veces sea reparado por el receptor.

Dentro de la gama de códigos de canal podemos distinguir dos grandes grupos: códigos detectores de error y códigos correctores de error. Los primeros permiten detectar que un mensaje ha sido recibido erróneamente, mientras que los segundos también permiten detectar un mensaje recibido erróneamente pero al mismo tiempo corregir un número limitado de errores en éste.

Los códigos detectores de errores se utilizan principalmente en aplicaciones que son insensibles a retardos, como lo son la transferencia de datos o imágenes. Por el contrario, los códigos correctores de error son implementados en sistemas de comunicación donde los retardos son un factor determinante en el servicio que proveen, como lo son transmisión de audio o video en tiempo real.

II.3.2.2. Codificación de canal en GSM

El tener un sistema de comunicaciones libre de errores es un comportamiento deseable pero no posible, por ejemplo: el MS al estar en movimiento, en terrenos con irregularidades, estas situaciones producen variaciones y desvanecimientos en la señal recibida por el MS. Estas variaciones producen errores en las transmisiones digitales, las cuales dependerán del entorno en el que estemos trabajando. En el entorno rural, cuando estos desvanecimientos son muy grandes, nos provocan un descenso en el nivel de señal; por otro lado, en el entorno urbano se tiene el inconveniente que el nivel de interferencia co-canal puede superar el límite tolerado. Para proteger la transmisión contra errores, el sistema GSM utiliza un Factor de Corrección de Errores (FEC), que consiste en la adición de bits redundantes de paridad a los datos transmitidos, con esta herramienta el sistema es capaz de detectar que ha habido un error y podrá corregirlo.

La relación entre los diferentes canales de tráfico y de control, nos es mostrada durante el proceso de la generación de una llamada.

II.3.3. Proceso de llamada en GSM

Antes de explicar como se establece el proceso de una llamada en GSM, es importante que comencemos por establecer los procesos iniciales de control, ya que sin los procesos de control es imposible que el MS logre iniciar comunicación con la BTS y por lo tanto no se podría lograr establecer una llamada.

1. El MS se enciende o se pone en servicio.
2. El MS busca la portadora con señal más fuerte.
3. El MS se sintoniza a la frecuencia central de la portadora elegida.
4. El MS se sincroniza con la trama TDMA de la estación base.
5. El MS tomará información del sistema del BCCH, como identificador del área geográfica de la base, la lista de estaciones y portadoras vecinas (identificador de celda y de red).
6. El MS se encuentra en modo espera.
7. El MS recibirá la información contenida en el PCH, hasta que se haya identificado su código permanente o temporal de servicio.

Ahora bien, explicaremos el proceso de una llamada realizada desde una MS a un teléfono de la red fija PSTN. Para describir este proceso nos apoyaremos en la figura II.10.

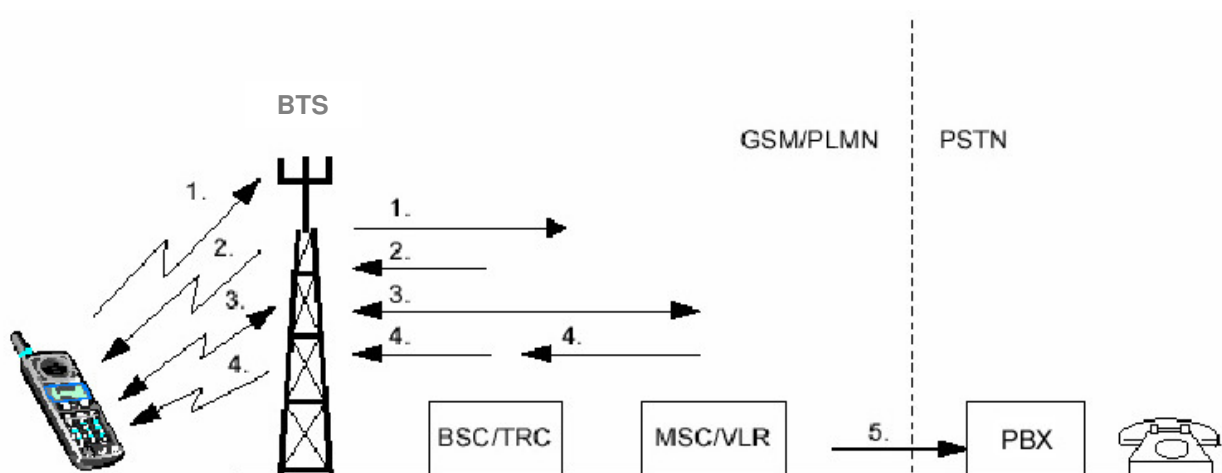


Figura II.10. Llamada de un MS a un teléfono fijo.

1. El MS usa un canal RACH para solicitar a la BSC un canal de señalización.
2. La BSC le permite al móvil un canal de señalización, por medio de un canal AGCH.
3. El MS envía el requerimiento de inicio de llamada a través del canal SDCCH a la MSC. Y es sobre este canal SDCCH, que se produce todo el proceso de señalización de llamada. Este proceso incluye cuando el MS se notifica como activo en el VLR, se autentifica, después de validarse en la red, el MS se identifica, el MS envía el número del suscriptor al que se desea llamar y finalmente, si el usuario tiene permiso para realizar llamadas, se procede.
4. La MSC ordena a la BTS asignar un canal TCH desocupado. Es entonces cuando la BTS y el MS se sintonizan en el mismo canal.
5. El MSC reenvía el número del suscriptor destino a la red PSTN, para establecer la conexión con el MS.
6. Si el suscriptor destino contesta la llamada, la conexión queda establecida.

II.4. SERVICIOS QUE OFRECE GSM

Las características y beneficios esperados de GSM son:

- Calidad de voz superior a la de los sistemas celulares analógicos existentes.
- Bajo costo operacional, de compra y de servicio de las unidades móviles.
- Alto nivel de seguridad, confidencialidad y prevención de fraudes.
- *Roaming* internacional, un solo número de directorio en todo el mundo.
- Terminales móviles de baja potencia.
- Una gran variedad de nuevos servicios y de facilidades de red.

La base para los servicios de GSM se encuentra en el concepto de la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN), a estos servicios también se les denomina servicios de Red Pública Móvil Terrestre (PLMN). Un servicio de telecomunicaciones soportado por GSM-PLMN se define como un conjunto de capacidades y facilidades que el proveedor de servicios ofrece a los abonados. Los servicios básicos GSM-PLMN se dividen en tres clases: de portadora, teleservicios y servicios suplementarios.

Los servicios de portadora le dan al abonado la capacidad necesaria para transmitir señales de información entre dos o más puntos de acceso. Las capacidades de estos servicios incluyen:

- Transmisión de información a distintas velocidades.
- Acceso a funciones para comunicación asíncrona.
- Acceso a redes públicas de datos.
- Transmisión de voz y datos durante una llamada.
- Selección de módem y selección de servicios de audio.

Los teleservicios le proporcionan al abonado las capacidades necesarias para comunicarse con otros abonados, incluyendo las funciones de equipo terminal:

- Transmisión de voz.
- Servicio General de Paquetes de Radio (GPRS).
- Servicios de Mensajes Cortos (SMS).
- Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas (WAP).
- Manejo de los mensajes y servicios de almacenamiento.
- Acceso y transmisión de multimedios (imágenes, audio y video).
- Transmisión de Fax.

En los servicios suplementarios se modifican o complementan los servicios básicos de telecomunicaciones. Se ofrecen junto con, o asociados con, los servicios básicos de telecomunicación y se clasifican en los siguientes servicios:

- Servicios de identificación de números.
- Servicios de redirección de llamada.
- Servicios de llamada en espera.
- Servicios de conferencia.
- Servicios de transferencia adicional de información.
- Servicios de restricción de llamadas.

En el caso de los teleservicios, los servicios de mensajes cortos, el protocolo para aplicaciones inalámbricas y el servicio general de paquetes de radio se ubican como los más populares entre los usuarios, siendo los de mayor demanda en la actualidad.

II.4.1. Servicio de Mensajes Cortos

El SMS es una tecnología que permite mandar y recibir texto a través de teléfonos móviles o desde cuentas de mensajería de Internet. SMS fue diseñado originalmente como parte del estándar de telefonía móvil digital GSM, pero en la actualidad está disponible en una amplia variedad de redes, siendo una de las formas más populares de comunicación, debido a que no es necesario atender a la llamada inmediatamente y que el tiempo que se lleva en escribir un mensaje no es cobrado por la compañía que ofrece el servicio.

Existen dos tipos de SMSs, los que son punto a punto y los de difusión de célula. Los SMSs punto a punto son transmitidos del móvil a un Centro-SMS (SMS-C), después es enviado directamente del SMS-C al MS destino; si el destinatario pertenece a otra red el mensaje se envía de un SMS-C a otro uniendo así ambas redes y luego se envía el mensaje al móvil destino.

El otro tipo de SMS es el de difusión de célula, que son mensajes enviados por la compañía a todos sus abonados, ya sea para enviar publicidad o avisos de control interno. En ambos casos, de punto a punto y de difusión de célula, se incluye la información del usuario en la cabecera del mensaje para así poder usar esa información por otras aplicaciones.

Una versión mejorada de SMS es el Servicio de Mensajería Multimedia (MMS) que permite transmitir imágenes fijas y en movimiento, videos, gráficos y sonidos junto con el texto de los mensajes. Suponen un gran salto cualitativo respecto al servicio SMS.

II.4.2. Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas

Dos de los avances tecnológicos que han tenido un mayor impacto en la vida de millones de personas en los últimos años han sido la telefonía móvil e Internet. Internet nos permite

acceder de una manera fácil, rápida y organizada a una cantidad enorme de información. Por otro lado, la telefonía móvil ha roto las ataduras entre la información y la ubicación de terminales. Juntas estas dos tecnologías, permiten el acceso a la información sin importar la ubicación de la fuente ni la de quien solicita.

El Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas (WAP) es una especificación para un conjunto de protocolos de comunicaciones con el ánimo de normalizar la forma en la que los teléfonos móviles acceden a Internet. Aunque esto ya era posible, cada fabricante usaba una tecnología distinta. Los dispositivos y servicios que usen WAP serán capaces de interoperar entre ellos. WAP es un estándar abierto, cualquiera puede acceder a él y desarrollar dispositivos, puertas de enlace o contenidos WAP.

Las redes inalámbricas presentan un entorno de transmisión restringido comparado con las redes de cable. Debido a las limitaciones de potencia, espectro electromagnético disponible y movilidad, las redes inalámbricas tienen menos ancho de banda, menos estabilidad en las conexiones y la disponibilidad es poco predecible.

Los paquetes enviados mediante WAP son pequeños, debido al ancho de banda limitado. Al ser un servicio inalámbrico e independiente del transporte, un usuario puede solicitar la información en cualquier momento y lugar.

El protocolo WAP usa un lenguaje basado en etiquetas al estilo del Lenguaje de Etiquetas de Hipertexto (HTML) denominado Lenguaje de Marcado para Telefonía Inalámbrica (WML); a diferencia de los documentos planos de HTML, los documentos WML están divididos en conjuntos de unidades que interactúan con el usuario. A las unidades se les llama tarjeta y están diseñadas para que el usuario vaya de tarjeta en tarjeta, mismas que pueden estar en el mismo documento o en distintos. Al conjunto de tarjetas dentro de un mismo documento se le conoce como mazo.

II.4.3. Servicio General de Paquetes de Radio

A mediados de la década de los 90s, surgió un nuevo estándar de comunicación de datos, basado en la tecnología GSM, pero enfocado a la transmisión de paquetes vía radio, denominado Servicio General de Paquetes de Radio (GPRS).

En GPRS, a diferencia de SMS, los datos que se pueden manejar son de todo tipo, no sólo texto, además de que éstos son enviados en tiempo real. Cuando un usuario transmite datos, éstos son encapsulados en paquetes cortos, en cuya cabecera se indica las direcciones origen y destino. Cada uno de estos paquetes puede seguir rutas diferentes a través de la red hasta llegar a su destino; asimismo, los paquetes originados por distintos usuarios pueden ser intercalados, de esta forma se comparte la capacidad de transmisión. Los paquetes no son enviados en intervalos de tiempo, sino que cuando se necesita, se asigna la capacidad de la red, siendo liberada cuando no es necesaria. El sistema GPRS actualiza los servicios de datos GSM para hacerlos compatibles con Redes de Área Local (LAN), redes WAN e Internet.

El actual sistema GSM opera en un modo de transmisión de circuitos conmutados (extremo a extremo), en el cual los circuitos son reservados a lo largo del sistema para el uso de una sola comunicación, incluso cuando no se transmiten datos. El GPRS ofrece una transmisión de paquetes (enlace a enlace) a lo largo de la red en distintas fases, una vez que el paquete de datos ha sido transmitido a través de la interfaz aérea, los recursos de radio pueden ser liberados para el uso por parte de otros usuarios. Después de esto, el paquete viaja hacia su destino a través de la red troncal GPRS y posiblemente otra serie de redes incluyendo Internet. El uso de los enlaces de este modo conserva la capacidad de la red y la interfaz. Además, permite a los operadores ofrecer un servicio a mejor precio, ya que la facturación se puede basar en la cantidad de datos enviados o recibidos.

Teniendo los conceptos básicos del funcionamiento de una red GSM, procederemos al análisis de algunos de los problemas que se presentan en la misma.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS

En este capítulo analizaremos aquellos aspectos que son importantes para poder diseñar la solución más apropiada a un problema de cobertura *indoor*, que se presenta dentro de un inmueble. Asimismo analizaremos las tres posibles soluciones para este problema, tomando en cuenta las necesidades de los usuarios y los problemas de cobertura que enfrentan dentro de su centro de trabajo.

III.1. PERCEPCIÓN DEL USUARIO

Hoy en día, el mundo de las telecomunicaciones ha crecido con tal rapidez, que las empresas proveedoras de servicios de telefonía celular están más ocupadas en hacer frente a dicha demanda con mayor y mejor infraestructura tecnológica, que en analizar el cambio de las necesidades de servicios de sus clientes. Este cambio se debe en gran medida a que la telefonía celular se ha transformado radicalmente, en cuanto a servicios se refiere. De un servicio poco diversificado, utilizado principalmente en vehículos, se ha convertido en pocos años en un servicio de telecomunicaciones masivo y de uso global.

Como todo servicio público, la tecnología celular debe ser evaluada en varios aspectos, desde el enfoque técnico hasta el del usuario final que es, sin duda, el que mejor sabe cuales son sus necesidades.

III.1.1. Necesidades de los usuarios del sistema de comunicación móvil

Dados los continuos cambios en el área de las telecomunicaciones y la cada vez más extendida red de datos por todo el mundo, es claro que surge un gran número de necesidades de comunicaciones por parte de los usuarios. Es por ello fundamental hacer un análisis previo de dichas necesidades, para poder tener un punto de partida para las aplicaciones que se puedan implementar en un futuro; las cuales deben presentar una serie de características que las hagan atractivas para el usuario final en cuestión de manejo, factibilidad y costo.

GSM es la tecnología inalámbrica más ampliamente utilizada en el mundo; estando disponible en más de 210 países y territorios del mundo, y contando con más de mil trescientos sesenta millones de clientes en toda América, Asia y Europa, lo que significa más del 75% de la cantidad total de clientes con tecnología inalámbrica. Con todo ello se observa una creciente necesidad por contar con un sistema universal que permita utilizar el mismo MS en cualquier parte del mundo y que implemente todos aquellos servicios que el usuario requiere para poder comunicarse sin problemas.

Entre los requerimientos que se hacen escuchar con mayor fuerza por parte de los usuarios están los servicios y aplicaciones integrales de banda ancha inalámbrica, la voz sobre IP y multimedia, diseñados para ayudar a la gente a resolver los más grandes retos mundiales. Para ello se requiere de grandes volúmenes de móviles, lo que se traduce en una amplia selección de dispositivos con diversas funciones y precios. Los dispositivos de bajo costo hacen que las redes de datos basadas en GSM, tales como GPRS, la Información Conmutada de Circuitos (CSD) y la Información Conmutada de Circuitos de Alta Velocidad (HCSD), resulten atractivas para otros proveedores que ofrecen este tipo de servicios (el caso de la telemetría y los sistemas de posicionamiento, por ejemplo). Hoy en día el

desarrollo de la tecnología GSM se debe al coste inferior que tienen las comunicaciones inalámbricas frente a la creación de una infraestructura de comunicaciones fija. Es por ello que se apuesta por las comunicaciones inalámbricas de larga distancia vía GSM y GPRS, mientras que en las de media y corta distancia el enfoque se da en tecnologías como el Dect, Bluetooth y Wi-Fi.

Con base en los requerimientos mencionados, se hace visible que la tecnología más apropiada es aquella que permita una máxima cobertura con un mínimo de BTS's, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios. La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios en cualquier lugar (desde un servicio local, pasando por el regional y llegando al mundial), lo que exige acuerdos de interconexión entre diferentes operadoras para extender el servicio a otras áreas de influencia diferentes a las áreas donde cada red ha sido diseñada.

Para poder cubrir todas estas necesidades es vital poder desarrollar, fabricar y distribuir componentes, equipos y terminales para comunicaciones móviles en general: GSM (para la transmisión de datos, mensajes SMS, fax y voz), GPRS (datos en alta velocidad), Bluetooth (datos y voz en entornos personales) y DECT (datos y voz).

Cualquier nueva aplicación debe nacer de requerimientos específicos del usuario final, los cuales van cambiando o reestructurándose a lo largo del tiempo. Entre algunos de los servicios que se ofrecen están la localización de vehículos, la gestión de flotas o maquinaria, las terminales telefónicas públicas vía tecnología celular, las terminales personales (para discapacitados y enfermos de Alzheimer) o públicas (taxímetros y de pago), equipos de meteorología y de mensajería, máquinas recreativas o de venta de productos, sistemas de alarma, control de tráfico con imágenes y datos, control y lectura de contadores de electricidad, agua o gas a nivel doméstico e industrial, así como la localización dentro de ambientes *indoor*.

Finalmente, observamos que hoy día existen tecnologías en proceso de implementación como son los Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), basados en GSM, los cuales tendrán un papel protagónico en la creación del futuro mercado masivo para las comunicaciones multimedia inalámbricas. Dada su robusta tecnología, UMTS busca extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales, proporcionando mayor capacidad de cobertura, posibilidades de transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada. Los usuarios necesitan disponer de los servicios de alta calidad que las tecnologías GSM y UMTS ponen a su disposición, tales como la televisión móvil, videoconferencia y comunicaciones de datos, independientemente del lugar donde se encuentren, y sobre todo en interiores.

Al enfocarnos al caso de estudio específico de nuestro trabajo, en las siguientes secciones se desglosarán de manera detallada las problemáticas que presentan los usuarios a nivel de conectividad dentro de un inmueble, debido a lo cual se hace evidente la necesidad de implementar un sistema que se enfoque estrictamente en el área puntual de dicho inmueble, para poder brindar la calidad de servicio que un sistema GSM debe brindar.

III.1.2. Problemas de cobertura detectados por los usuarios

Hemos señalado en el apartado anterior las necesidades de los usuarios de telefonía móvil, ahora bien, una vez que se han cubierto dichas necesidades, podemos considerar que con el paso del tiempo se incrementa la cantidad de usuarios, la cantidad de aplicaciones sobre GSM y con este crecimiento, queda atrás el avance en infraestructura necesario para poder satisfacer los requerimientos de los usuarios.

La infraestructura insuficiente y la saturación del espectro electromagnético, traen consigo saturación en los canales de tráfico. Esta saturación genera como consecuencia llamadas caídas, intento de llamadas no completadas, mala calidad de voz y teléfonos celulares sin cobertura.

Todos los problemas mencionados son percibidos por los usuarios como de origen técnico, para ellos se limitan a: no hay cobertura (dentro de la ciudad o en carretera), no puedo establecer una llamada o mi llamada se cortó. Para este trabajo de tesis, es de suma importancia estudiar el caso particular en el que el usuario detecta que su móvil no cuenta con cobertura.

Enfoquemos nuestro caso de estudio, en un centro de trabajo en el que varios usuarios de telefonía GSM no cuentan con cobertura. Para ello, debemos considerar que actualmente la utilización del teléfono celular no es únicamente de uso personal, sino que es ya una herramienta de trabajo cotidiana, que resulta imperiosa en las actividades de los empleados de una determinada empresa. Este tipo de problemas de cobertura se denomina *indoor*, es decir dentro de un inmueble.

Los problemas de cobertura *indoor* han impulsado a los operadores de servicios celulares a proveer cobertura donde antes no era necesario o importante, para conservar satisfechos a sus clientes. Dichos problemas de cobertura se presentan dentro de su centro de trabajo, edificios públicos o privados (tales como aeropuertos, centros de convenciones, hoteles, etc.). Sobre todo cuando se tiene el caso de un cliente corporativo que cuenta con una gran cantidad de líneas contratadas.

III.2. PROBLEMÁTICA DE LA COBERTURA CELULAR

La estructura de las redes inalámbricas se diseña teniendo presente la necesidad de superar los obstáculos y manejar las características propias de la radio propagación. Predecir las características de la señal en zonas urbanas donde la densidad de suscriptores es alta y las edificaciones tienen gran influencia en la propagación, son factores que establecen limitaciones fundamentales en el diseño y ejecución de los sistemas inalámbricos orientados a las necesidades personales y empresariales. Los mecanismos que gobiernan la radio propagación son complejos y diversos, y generalmente se atribuyen a fenómenos que sufren las ondas electromagnéticas en su transporte, tales como reflexión, difracción, dispersión y en general pérdidas de propagación. Los requerimientos para reducir el efecto de estos

fenómenos en las comunicaciones son definidos de diversas maneras dependiendo de la tecnología utilizada.

Según la capacidad y cobertura requeridas en el área de influencia de las redes, su diseño implicará la utilización de celdas de diferentes radios y las antenas de las estaciones base presentarán diferentes alturas y potencias de transmisión. De allí surgen las definiciones de células globales, hipercélulas, macrocélulas, microcélulas y picocélulas; que se clasifican según el área de cobertura, como lo muestra la figura III.1.

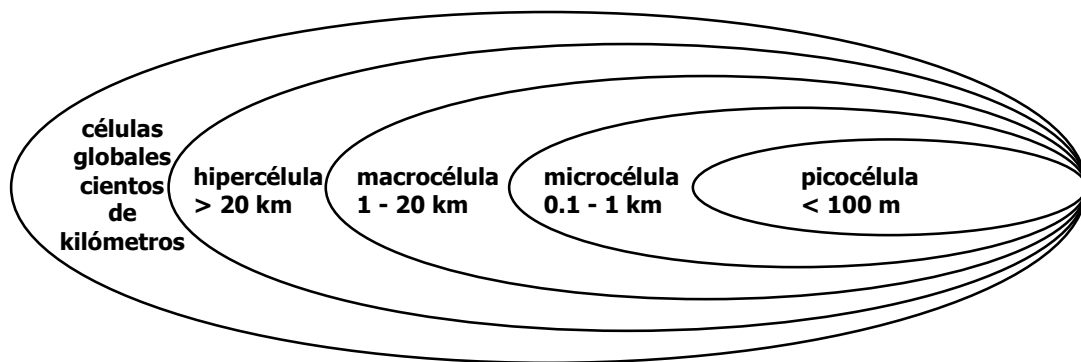


Figura III.1. Tipos de cobertura celular.

En nuestro caso particular vamos a referirnos a las microcélulas y a las picocélulas, ya que estas últimas son las que engloban áreas urbanas y con edificaciones, y es precisamente ahí donde se enfoca el problema a tratar.

Cuando la potencia de la señal recibida por un móvil está muy cerca de su umbral de recepción, simplemente éste no detecta señal alguna, ya que en términos prácticos la cobertura del servicio se entiende como existente o inexistente; lo anterior se debe a varios agentes externos que limitan o degradan la potencia de la señal proveniente de una BTS.

III.2.1. Problemas de cobertura *indoor*

La problemática de cobertura celular en interiores es muy común, existen muchos obstáculos que impiden que la señal llegue con suficiente potencia al móvil y que por lo tanto éste no distinga la señal de manera correcta.

Conviene definir dos conceptos importantes para entender por qué la señal que proviene de una BTS, al viajar por el interior de un inmueble, llega con poca potencia y no la puede distinguir el MS, estos son atenuación y absorción.

Atenuación. Conforme se aleja una onda de la fuente que la radia, el campo electromagnético que es radiado desde esa fuente se dispersa. Es decir, las ondas se alejan más unas de otras y, consecuentemente, el número de ondas por unidad de área disminuye; la onda simplemente se disipará sobre un área más grande, disminuyendo la densidad de potencia. La reducción en la densidad de potencia con la distancia es equivalente a la pérdida de potencia y continuamente se le llama atenuación de la onda. Debido a que la atenuación se debe al esparcimiento de la onda, a veces se llama atenuación espacial de la onda. La atenuación de la onda se expresa generalmente en decibeles (dB).

Absorción. La atmósfera de la Tierra no es un vacío, al contrario, se compone de átomos y moléculas de varias sustancias, tales como gases, líquidos y sólidos. Algunos de estos materiales son capaces de absorber las ondas electromagnéticas. Una onda electromagnética se propaga por la atmósfera de la Tierra, la energía es transferida de la onda a los átomos y las moléculas de la atmósfera. La absorción de ondas por la atmósfera es análoga a una pérdida de potencia. Una vez absorbida, la energía se pierde y ocasiona una atenuación en el voltaje e intensidad de campo magnético y una reducción correspondiente en la densidad de potencia. La absorción de radiofrecuencias en una atmósfera normal depende de la frecuencia y es relativamente insignificante. La atenuación de las ondas debido a la absorción no depende de la distancia de la fuente radiante, pero sí bastante de la distancia total que la onda propaga por la atmósfera. En otras palabras, para un medio homogéneo, la absorción experimentada, durante la primera milla de propagación es igual que para la última milla. Además, las condiciones atmosféricas anormales tales como lluvias fuertes o neblina densa absorben más energía que una atmósfera normal.

En general los motivos por los cuales los móviles no detectan señal son:

- La BTS más cercana no alcanza a cubrir la zona en la que se encuentra el móvil.

- La señal transmitida por la BTS no llega al móvil por la presencia de algún obstáculo.

El problema más común por el que un móvil no detecte señal de ninguna BTS es cuando existe una sombra de señal, esto se debe a que existe un obstáculo entre la BTS y el móvil, figura III.2; cuando un edificio se encuentra entre una BTS y el móvil, la señal que emite la BTS no pasa al edificio y éste genera una zona en la cual no hay señal de esta BST, aunque se encuentre muy cerca del móvil.

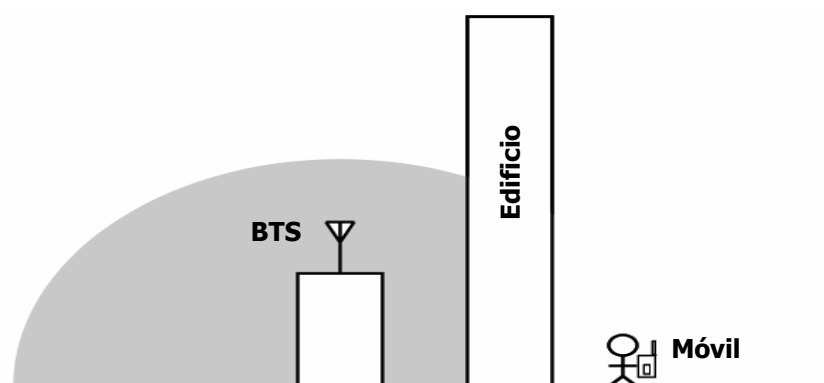


Figura III.2. Sombra de señal.

En el caso de interiores el efecto es muy parecido, teniendo en cuenta que dentro de un edificio lo que más existe son paredes, así que mientras más paredes existan entre la posición de un móvil y la BTS, la potencia de la señal se irá atenuando hasta que llegue al umbral del teléfono y éste no alcance a distinguir la señal.

La atenuación de la señal también se presenta cuando el abonado se encuentra por debajo del nivel de la calle en algún sótano o bodega, aunque no haya ningún obstáculo entre la BTS y el móvil más que el techo.

Para el caso cuando el edificio se encuentra entre dos células y éste se encuentra en la zona de traslape de dos BTS, se presentan dos situaciones. Para el primer caso ambas señales llegan tan atenuadas que el móvil no detecta ninguna portadora y marca una ausencia de

servicio. El segundo caso es cuando ambas señales se encuentran a potencias similares, en ésta situación la diferencia de potencia de ambas señales es imperceptible para el móvil.

Por lo general un corporativo se encuentra en zonas urbanas con alta concentración de edificios, mismos que influyen en la pérdida de potencia en las señales de radio e influyen en la absorción de las ondas, y en el caso de estructuras metálicas de la reflexión de las mismas.

La altura de los edificios también es una limitante para la cobertura en la tecnología GSM. En edificios altos, por lo general a partir del piso 13 o 14 suele no detectarse señal celular; la altura típica de una antena de BTS no se debe colocar muy alto para que los usuarios a nivel del suelo no pierdan cobertura, esto ocasiona que pisos superiores en edificaciones altas ya no detecten señal, por lo tanto no habrá cobertura. La figura III.2 también muestra este efecto.

Otras limitaciones para la cobertura *indoor*, provienen del propio teléfono móvil. Todos los sistemas móviles usan filtros en el transmisor para asegurar que la señal a transmitir esté confinada dentro de un cierto ancho de banda y no interfiera con las señales de otros usuarios. Dicho filtrado reduce la cantidad de energía que podría transmitirse, por lo cual resulta una pérdida de señal.

Además de esto, recordando que móvil se refiere a movimiento, realmente los teléfonos móviles están en constante movimiento, lo que genera una imperfección de alineación entre la antena transmisora y la receptora.

III.2.2. Problemas de calidad de servicio *indoor*

Un sistema de comunicación celular, además de ofrecer cobertura, también debe ofrecer calidad de servicio para cumplir el objetivo de comunicar a los usuarios de dicho sistema en cualquier momento. Para cumplir con esta calidad de servicio, un proveedor mantiene en

constante monitoreo la red del sistema celular, con ello se llevan registros de todos los acontecimientos estadísticos que surgen a cada momento.

Los acontecimientos estadísticos podrán describir el rendimiento, la confiabilidad y en términos generales la calidad de servicio que está ofreciendo el sistema. A estos datos estadísticos los llamaremos índices de calidad de servicio, los cuales están conformados por el índice de llamadas caídas, índice de no disponibilidad de la red, índice de congestión, accesos lejanos, los niveles de señal recibidos en un MS, etc. Donde todos en conjunto además de describir el comportamiento del sistema celular, también nos apoyarán a definir cuales son las posibles situaciones que provocan dichos problemas.

Como problemas de calidad tenemos los problemas por interferencia y por tráfico. Dentro de los problemas por interferencia encontramos al que afecta con mayor frecuencia la cobertura en edificios altos en una zona urbana y lo llamaremos presencia de múltiples servidores. Por ejemplo, en un inmueble de 35 pisos, y tomando como referencia el piso 20, encontramos que llegan diferentes señales de RF, cada una proveniente de un canal diferente, al cual llamaremos servidor, cada señal tiene un nivel de intensidad diferente y también su propio tiempo de sincronía. Estos servidores pueden ser, servidores vecinos o servidores interferentes, les llamaremos interferentes a los servidores que no son vecinos y llegan al inmueble con niveles de intensidad de señal similares a los servidores locales, además con canales de frecuencia cercanos al servidor local y con desfase en el tiempo por tener diferente tiempo de sincronía.

Como ya habíamos mencionado dentro del sistema celular, las células adyacentes tienen una zona de traslape que les sirve como lazo de comunicación para realizar *handover*. En el área de *handover*, el móvil realiza la selección de servidor, por medio del nivel de señal recibido, con el nivel de señal va identificando de cual BTS se va alejando y a cual BTS se va acercando, así, mientras está identificándose y hospedándose en el nuevo servidor por medio de la nueva celda, el anterior servidor va dando de baja este móvil de su zona. El

proceso mencionado es de forma rápida, ya que si el móvil esta realizando una llamada, ésta no debe de perderse.

A diferencia del proceso de *handover*, cuando las señales recibidas son de servidores interferentes, que llegan al mismo punto por reflexión, refracción, etc. el MS no puede usar estos servidores para disponer de los servicios, por que los identifica como interferencia, no como servidores confiables. Estos servidores interfieren tanto en *outdoor* como en *indoor*, pero para fines prácticos nos enfocaremos al efecto *indoor*.

En la figura III.3 mostramos gráficamente el concepto de un servidor interferente, donde sin importar la distancia en donde se encuentra dicho servidor, un rayo de señal de su transmisión puede ser enviado hasta un punto donde no es deseado, causando con ello, llamadas caídas, confusión a los MS que transitan en esa zona, etc.

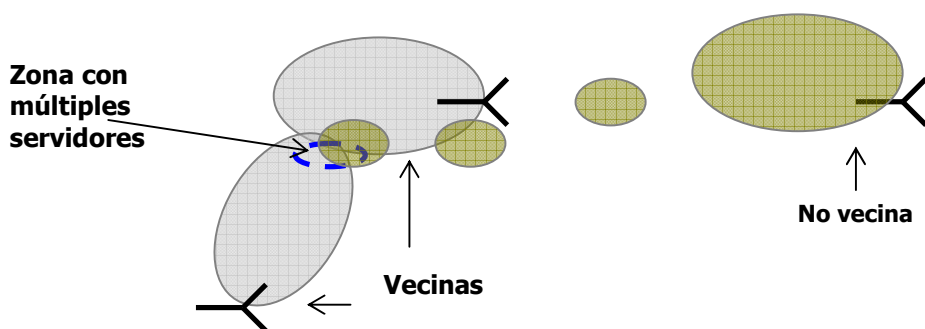


Figura III.3. Servidores interferentes.

Como un problema por tráfico, se le denomina cuando un MS desea disponer de los servicios de la red, y en el servidor que los está solicitando existe saturación de usuarios y no tiene canales disponibles para el MS en cuestión. Para este caso, el MS recibirá un mensaje que le indicará que la red está ocupada. Este suceso se registrará en el sistema de monitoreo de la red como un índice de no disponibilidad. También otra consecuencia de la saturación de la demanda de servicios son los índices de congestión.

III.3. SELECCIÓN DE SEÑAL ENTRE DOS CÉLULAS

En la telefonía celular se divide el área geográfica a cubrir en un número de células lo suficientemente grande, que permita la reutilización de frecuencias. Desde el punto de vista de cobertura, la división en pequeñas células implica que la cobertura de cada célula va estar limitada por interferencia, esto quiere decir, que el diseño se hará de tal forma que las células que utilizan los mismos canales emitan una potencia suficientemente baja para no interferirse entre sí, y a su vez, no interferir a los MS a los que están dando servicio.

Como hemos mencionado en el Capítulo II, al encender un móvil, éste se aloja en una BTS para poder iniciar el intercambio de información necesaria para lograr establecer o recibir una llamada. El móvil percibirá portadoras provenientes de distintos canales cercanos a su ubicación, debido a la división de células. Sin embargo, éste se alojará en el canal que le proporcione la señal con mayor potencia y menor intermitencia. A este proceso se le denomina *Selección de Señal*.

Cabe destacar que el proceso de selección de señal se lleva a cabo mientras el móvil se encuentra en modo espera. Dicho proceso se realiza en forma iterativa con el objetivo de que el móvil, a pesar de su cambio de ubicación, siempre se encuentre alojado en el canal que le brinde la señal de mayor potencia.

Ahora bien, cuando el usuario del móvil se encuentra realizando una llamada y éste cambia de ubicación, el móvil tiene que realizar un cambio de BTS para no perderla. A este proceso se le denomina *handover* y se explica detalladamente en el siguiente apartado.

III.3.1. *Handover*

A la transferencia del enlace de comunicación de una misma MS de una estación base a otra aledaña se conoce como *handoff* o *handover*. *Handover* (o traspaso), en otras palabras, es la operación que se tiene que hacer cuando el MS abandona una célula y entra a otra. Cuando un usuario pasa de una célula a otra, éste deja la frecuencia que estaba utilizando para el uso de otro MS, y toma la frecuencia libre de la célula a la que se transfirió.

Es importante mencionar que dentro de la historia de la telefonía celular los procesos *handoff* y *handover* se establecieron como puntos distintos, fue hasta que surgió la tecnología GSM que se formaron como un mismo proceso.

En la primera generación el *handoff* se establecía para la transferencia de la llamada que producía el paso de una frecuencia a otra, mientras que el *handover* realizaba el seguimiento de la llamada, esto quiere decir, que es el proceso para que no se pierda la llamada en la transferencia de celda a celda.

En la tecnología GSM (segunda generación) se estableció el mismo significado para el proceso de *handover* y *handoff*, al cual se le nombró *handover*, esto con el fin de homologar la transferencia de la llamada dentro de la red de la telefonía celular. Este proceso se realiza en la MSC y se hace monitoreando el nivel de potencia en las células adyacentes, a este procedimiento se le llama control de potencia y se lleva a cabo cientos de veces por segundo. Según como se realice dicha transferencia podemos tener diferentes tipos de *handover*:

Handover blando: se presenta cuando se mantiene el móvil conectado a dos canales simultáneamente, hasta que se desconecta del anterior, por mejor recepción en la estación nueva.

Handover duro: se presenta cuando el salto de un canal a otro se produce en un momento determinado sin que exista período de transición.

El proceso de *handover* también se puede establecer en función de la relación de los canales origen y destino de la comunicación, y puede clasificarse en:

- *Handover* Intercelular. Si el canal destino se encuentra sobre otra frecuencia distinta a la del origen, pero en la misma célula.

- *Handover* Inter BSC. Cuando hay un cambio de célula pero ambas células se encuentran dentro del mismo BSC.
- *Handover* Inter MSC. Es cuando hay un cambio de célula y de BSC, cuando la BSC depende de la misma MSC.
- *Handover* entre MSC's. Cuando hay cambio de células y ambas células pertenecen a MSCs distintas.

En la figura III.4 podemos observar el proceso de *handover* entre el punto A y B, donde se muestra cuando la MS queda entre las fronteras de 2 células de diferentes BSC. Es aquí cuando se presenta el cambio de célula, debido a que los niveles de potencia son muy bajos y es cuando el MS detecta una nueva señal, la cual es aún muy débil (umbral), pero entre más cerca está de la nueva célula la señal se hace más fuerte y es durante este instante cuando se realiza la transferencia de la llamada hacia la nueva célula. Abandonando la célula y canal anterior dejándolos disponibles para un nuevo MS.

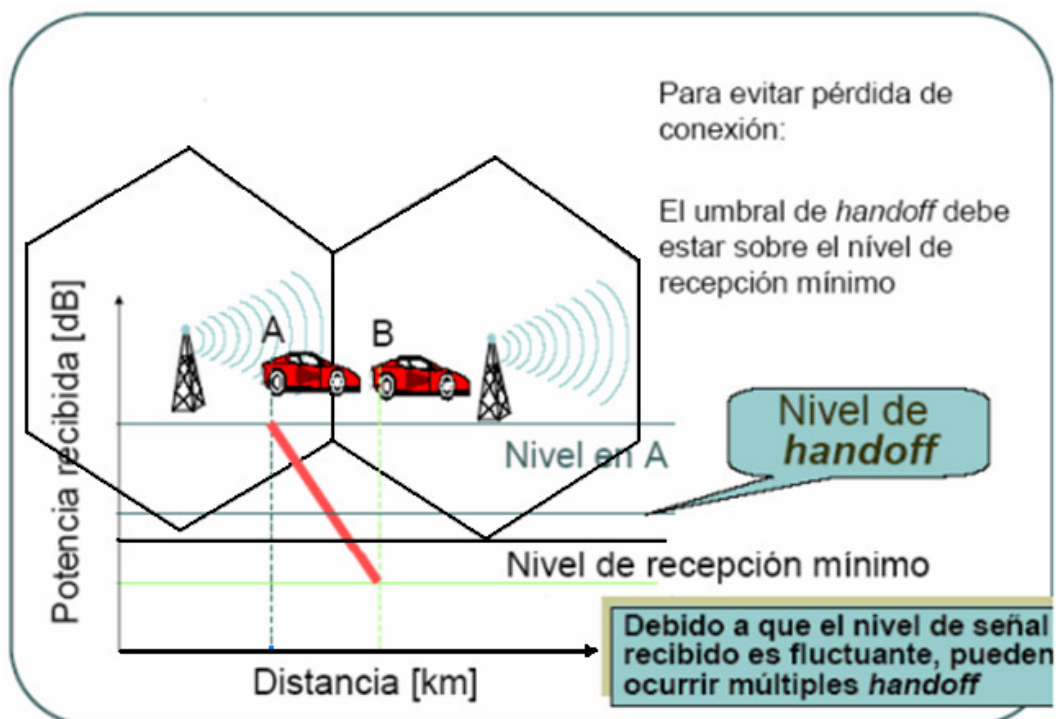


Figura III.4. Proceso de *handover*.

III.4. POSIBLES SOLUCIONES

Habiendo definido de manera general el problema que se va a tratar en este trabajo, el paso siguiente es el de analizar las distintas soluciones que se encuentren a nuestro alcance para poder implementar un sistema que cumpla con las demandas del usuario. Dichas soluciones se enfocan, básicamente, a brindar cobertura en aquellos lugares que por diversos motivos no cuentan con ella o en los cuales dicha cobertura es muy deficiente.

Presentaremos tres tipos de soluciones: por optimización de recursos, por repetidora y por microcélula. Una vez analizadas, y tomando en cuenta las características propias del inmueble sobre el que se va a trabajar, escogeremos la opción que mejor solucione las necesidades del cliente, tomando en cuenta aspectos técnicos y económicos.

III.4.1. Solución por optimización de recursos

Dentro de las posibles soluciones al problema de cobertura *indoor* la primera que analizaremos es la solución por optimización de recursos, que a grandes rasgos consiste en hacer modificaciones a los recursos operativos ya instalados que hay en la red celular. Este tipo de solución mantiene en gran parte la infraestructura actual, las modificaciones pueden ser desde un cambio de antenas, cambio en la orientación de los sectores, inclinación de las antenas, variación en el nivel de potencia de los equipos transmisores y ampliación de capacidad.

Analizando los casos básicos por los que un inmueble llega a tener problemas de cobertura, encontramos algunas variantes de la solución por optimización de recursos.

El caso más simple es cuando una BTS se encuentra alejada del inmueble con problemas pero sigue perteneciendo al área de cobertura de esta misma BTS. Una opción de solución podría ser aumentar la potencia de los equipos transmisores para el sector que da servicio al inmueble, con esto se tendría mayor alcance de la señal hasta llegar al inmueble con mejores niveles de señal, de manera que para el MS sea más fácil y claro detectar la señal. Aumentando la potencia de la señal en un sector puede darse el caso de que su patrón de

radiación invada a otras células vecinas. Teniendo en cuenta que el edificio se encuentra en el borde de la zona que cubre el sector al cual se le aumentará la potencia, eso indica que precisamente entre ese borde y las células vecinas existe un hueco de cobertura, debido a muchos factores, teniendo la atenuación por construcciones existentes como la principal y que las células vecinas pertenecientes al mismo *cluster* tienen la información de los MS que se encuentran en esta zona de cobertura. Con base en lo anterior podemos concluir que para estos casos el aumento de potencia en un sector de la BTS no afectará tanto a las células vecinas.

Por otra parte, hay que recordar que el terreno, en general, no es un plano perfecto, por lo cual la altura a la cual se encuentra la base de una BTS será diferente de la de otras BTS's, de la posición de los MS o del corporativo a donde se dirigen las señales. En estos casos, aun con la inclinación propia de las antenas en la BTS, puede darse la situación en la que el patrón de radiación llegue sólo al techo del lugar y las señales que llegan con poca potencia por reflexión no entren al inmueble o ni siquiera alcancen a radiar el sitio en cuestión. Para esta problemática basta con inclinar unos cuantos grados más la antena para que el patrón de radiación alcance a radiar al edificio y se eliminen los problemas de reflexión y la señal logre entrar al inmueble. En la figura III.5 se muestra gráficamente este procedimiento; en el inciso (a), antes de inclinar la antena, se tiene un patrón de radiación determinado, y en el inciso (b) después de haber hecho la optimización el patrón de radiación cambia, lo que nos indica una mayor cobertura.

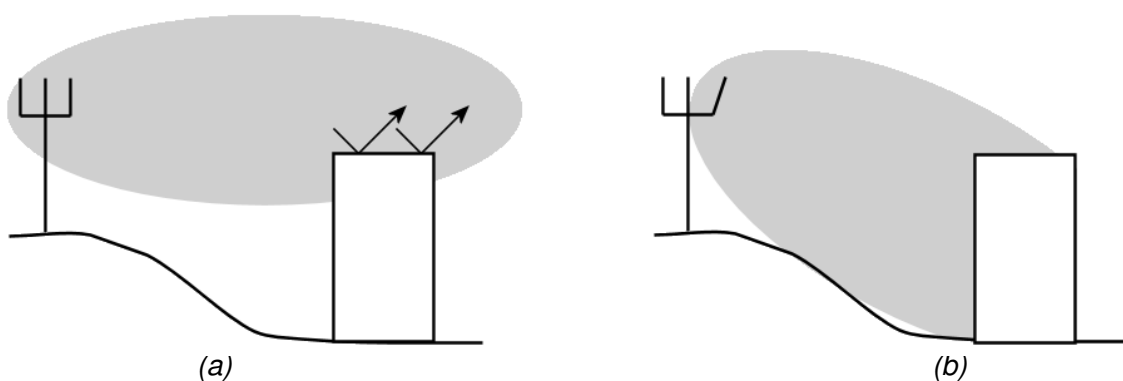


Figura III.5. Optimización por inclinación de antena.

En ocasiones hay sitios que se encuentran dentro de la zona de cobertura de una BTS pero el patrón de radiación no les favorece para la cobertura, aún amplificando la señal procedente de la BTS, para estos casos es conveniente hacer el cambio físico de la antena en ese sector para que el patrón de radiación alcance a cubrir estas zonas; esto se muestra en la figura III.6, donde el patrón dibujado en gris es el perteneciente a la antena original y el trazado por líneas segmentadas es el nuevo patrón de radiación proporcionado por la antena de reemplazo.

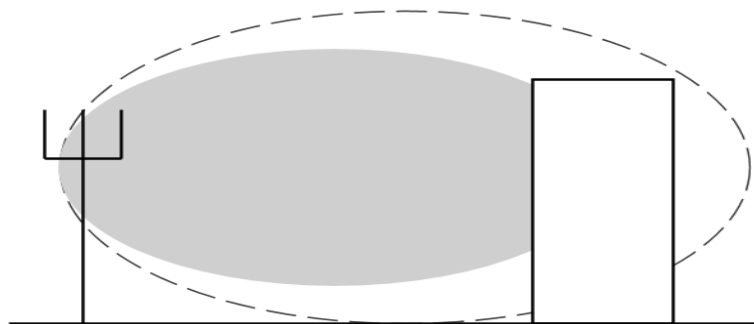


Figura III.6. Cambio de patrón de radiación al cambiar físicamente una antena de la BTS.

Hay ocasiones en las que el diseño original de la zona en cuestión cambia debido a la construcción de nuevas edificaciones y al aumento demográfico o comercial en la zona. Esto puede llevar a que inmuebles que antes contaban con cobertura ya no la tengan o que las nuevas edificaciones no cuenten con ella. Para dar solución a este tipo de problemas, se puede recurrir a la reorientación de un sector de una BTS. Tomando como base la figura III.7.a, observamos que existe un inmueble nuevo al cual se le quiere dar servicio pero que no se encuentra en el área de cobertura del sector en cuestión. De hecho, dicha área cubre un sector no deseado, que para nuestros propósitos definimos como obstáculo; puede tratarse de un edificio abandonado, un cerro o un área de poco interés comercial. Al presentarse este esquema, la solución básica es reorientar la antena del sector apropiado de la BTS, para que alcance a dar cobertura al inmueble perjudicado, como se muestra en la figura III.7.b. Con ello se asegura la cobertura en el inmueble y se dejan de desperdiciar recursos en sectores que no nos interesan.

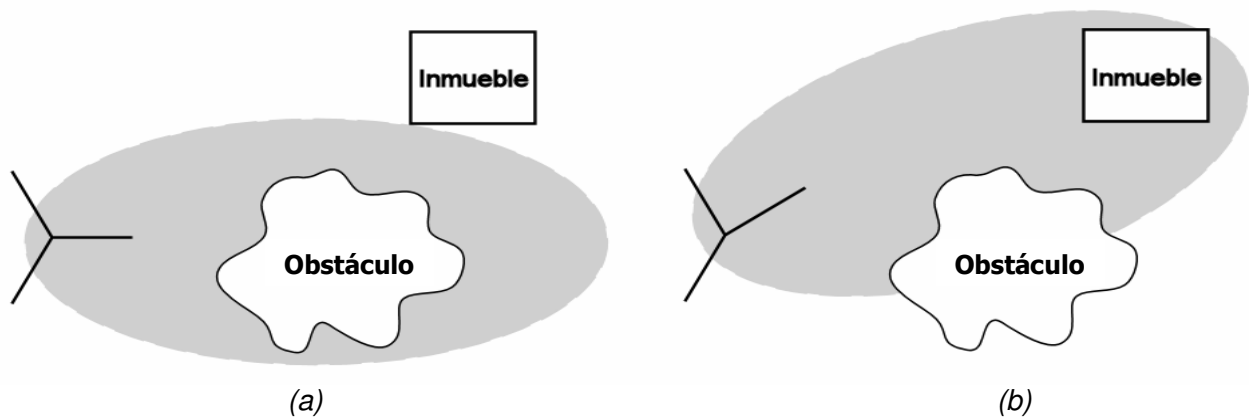


Figura III.7. Cambio de dirección de antena en una BTS.

El cambio de orientación antes mencionado es posible gracias a que los tres sectores de una BTS están separados por ángulos de 120° y que en los 40° intermedios entre cada sector no existe interferencia entre antenas. Es por ello que tenemos un rango de hasta 40° a la izquierda o a la derecha para mover dicha antena sin afectar la radiación de la antena vecina, como se muestra con mejor detalle en la figura III.8.

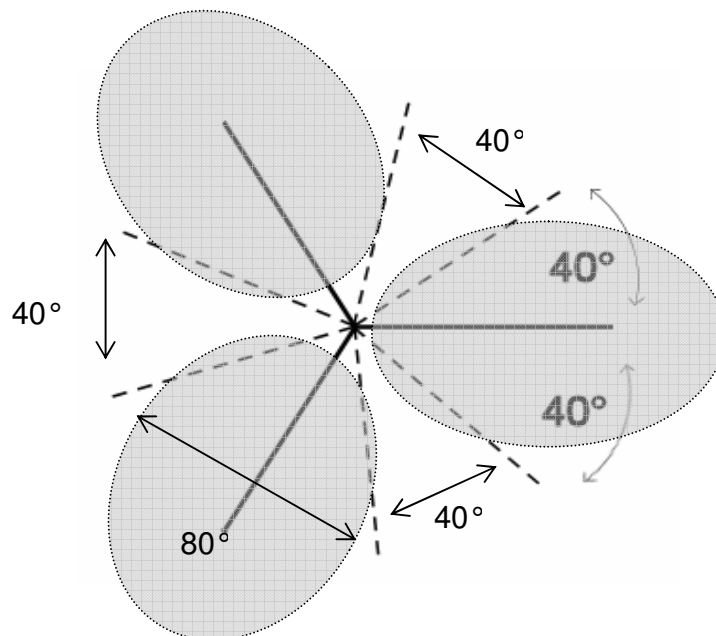


Figura III.8. Ángulos máximos permitidos para mover una antena en una BTS.

También se puede suprimir un sector de alguna BTS si es que el área que está cubriendo no tiene ninguna necesidad de comunicación para la red, esto optimizaría el sistema y ahorraría costos.

Como hemos visto, con base en los casos presentados, el método de optimización de recursos puede hacer uso de todas sus variantes de manera independiente, pero también usando combinaciones de ellas. Este método es el primero que suelen seguir las compañías de comunicación móvil, requiere un amplio estudio de las características y las necesidades de la zona, aunque por motivos de diseño de la red y necesidades de los inmuebles no siempre es factible poner en marcha una solución basada en este método.

III.4.2. Solución por repetidor

En algunos casos, al haber realizado el análisis primario por optimización de recursos, se llega a la conclusión de que éste no es la mejor solución e incluso podría generar más problemas que beneficios al ser implementado; por ejemplo, dejar de brindar cobertura a cierta zona más rentable por el hecho de cambiar el ángulo o la orientación a un sector de una BTS. Es por ello que existen otros métodos para poder solventar la problemática de un inmueble de manera que se resuelva su problema de cobertura pero sin tener que invertir demasiado en infraestructura, ni tener que cambiar la topología de una célula ya predefinida.

Una de estas soluciones involucra el uso de una antena repetidora, que fungirá como una ampliación de una BTS normal. Esta antena hará las veces de repetidora de la señal que reciba de la BTS más cercana, la cual brinda en principio, una cobertura deficiente en el inmueble en cuestión, y la transmitirá vía alámbrica al interior del inmueble, desde donde un conjunto de antenas brindarán servicio GSM a los usuarios finales. Veamos en que casos se puede aplicar dicho recurso.

Tomemos el caso de un inmueble que se encuentra en una zona en la que sólo le llega la señal de una o dos BTS's lo suficientemente atenuadas como para que haya problemas de cobertura. Como lo ilustra la figura III.9, al llegar la señal de las BTS's al exterior del inmueble

todavía llega lo suficientemente fuerte como para establecer una comunicación, sin embargo, al atravesar los muros y la infraestructura del inmueble, esta señal se debilita lo suficiente como para imposibilitar cualquier conexión a los servicios de la red del operador de servicio.

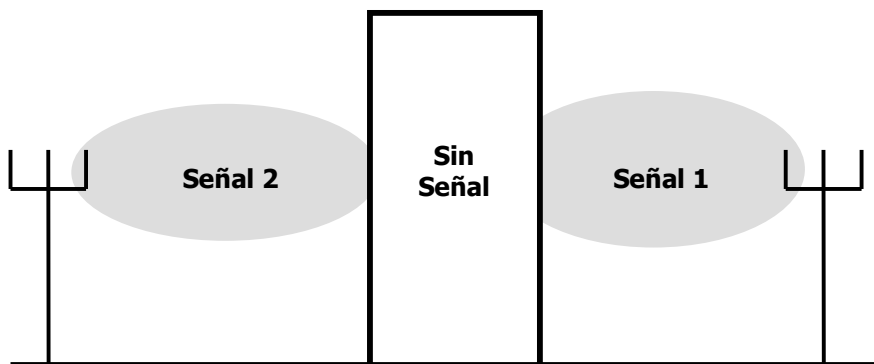


Figura III.9. Inmueble con problemas de cobertura.

Dadas las condiciones mencionadas en el párrafo anterior, es necesario recurrir a algún tipo de método que posibilite recuperar la señal de la BTS con menos degradación y amplificarla para poder dar cobertura al interior del inmueble. Para implementar este recurso es necesario instalar una antena al exterior del inmueble con problemas de cobertura. Dicha antena tomará la señal que reciba del aire y la reenviará al interior del edificio a través de cable coaxial, pasando por el equipo repetidor, donde la señal es amplificada ligeramente y distribuida por un conjunto de antenas, las cuales están conectadas también al equipo por cable coaxial, como se muestra en la figura III.10.

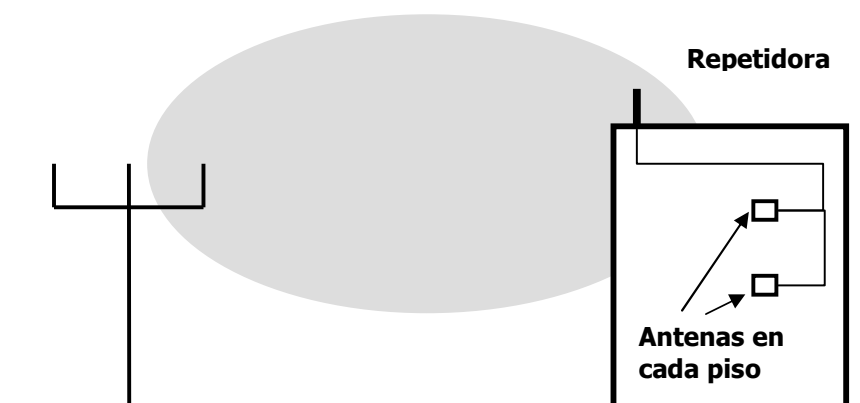


Figura III.10. Solución por repetidora.

Es necesario aclarar que este método no es aplicable en casos en los que haya múltiples señales (interferencia). Esto se debe a que la antena repetidora no hace más que eso, repetir todo aquello que recibe del exterior, si esta solución se aplicara al caso en el que el inmueble sufre de interferencia, dicha antena no haría más que reenviar dicha señal al interior del edificio.

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que al aplicar la solución por repetidor, se aumentará el número de usuarios que se conecten a los servicios de la BTS. Por lo tanto, dicha estación debe tener capacidad suficiente para brindar recursos de conexión a la cantidad de usuarios que haya dentro del inmueble.

III.4.3. Solución por microcélula *indoor*

Dentro del análisis necesario para poder determinar la solución óptima para el problema de cobertura *indoor*, se determina que al utilizar la solución por repetidor se incrementará el tráfico, por lo tanto brindaremos cobertura a costa de la saturación de los canales de comunicación. Esta situación conlleva a analizar otra posible solución en la que tengamos la posibilidad de ofrecer al cliente, cobertura *indoor*, canales de comunicación disponibles y una señal GSM sin interferencia.

Esta solución se refiere al hecho de brindar cobertura en aquellos inmuebles donde hay bajos niveles de señal, para ello se transporta la señal hasta el inmueble mediante un enlace dedicado, dicha señal se amplifica y distribuye hasta los lugares de interés dentro del mismo inmueble, mediante fibra óptica o cable coaxial, para luego ser radiada por medio de antenas. Al conjunto de todos estos dispositivos, se le denomina solución por microcélula *indoor*, tal como se ilustra en la figura III.11.

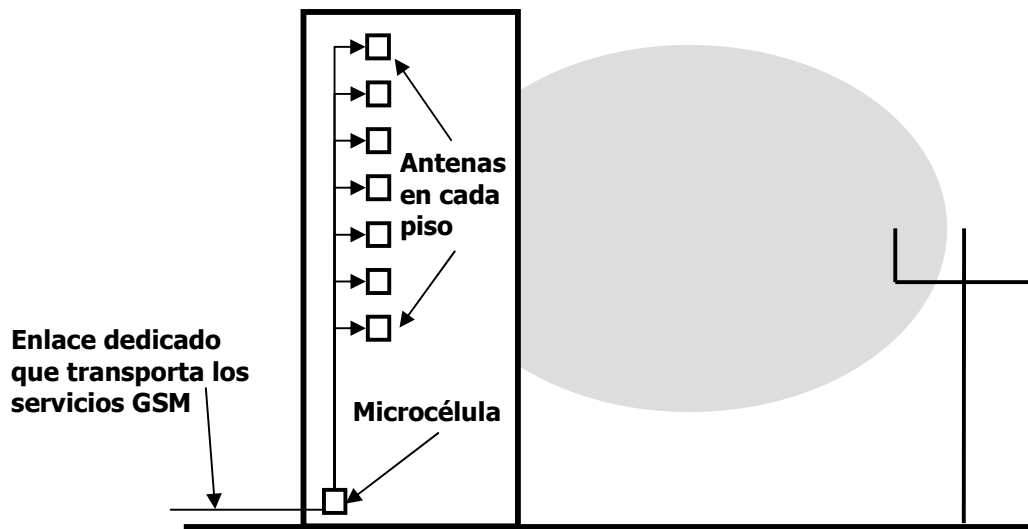


Figura III.11. Solución por microcélula.

Las microcélulas surgen como una tecnología que brinda solución en áreas específicas como centros comerciales, aeropuertos, hospitales, edificios, etc.

Los objetivos principales de las microcélulas son:

- Mejorar la cobertura donde las macrocélulas existentes no poseen un buen nivel de señal o brindan una señal con mucho ruido o interferencia.
- Atender la demanda de tráfico, incrementando la capacidad de canales disponibles en un área con una gran concentración de usuarios.

Una microcélula posee una cobertura limitada, ya que cuenta con una potencia inferior a la de una BTS.

La aplicación de la solución por microcélula permite que los móviles de los usuarios tengan acceso a la red celular y puedan hacer uso de los servicios que tienen contratados en cualquier momento. Los usuarios podrán realizar llamadas al ingresar o salir del inmueble sin perder su comunicación.

Es importante considerar para el diseño de una solución por microcélula, la asignación de frecuencia que utilizará la microcélula, para evitar que se llegue a presentar interferencia con algún servidor vecino. Asimismo, se deben identificar cuáles serán sus celdas vecinas para canalizar correctamente el tráfico desde y hacia las macrocélulas vecinas y poder realizar el *handover*.

La inversión considerada para la instalación de ésta solución, comparada con las anteriores es mucho más elevada. Sin embargo, antes de implementar esta solución, se debe realizar un análisis exhaustivo verificando que ninguna de las soluciones anteriores sea factible en la problemática de cobertura a resolver.

En el siguiente capítulo presentamos la situación actual del inmueble, la propuesta de solución a su problema de cobertura *indoor* y su análisis de rentabilidad correspondiente.

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y DESARROLLO

En este capítulo nos enfocaremos en identificar cuál es la situación actual de cobertura presentada en el corporativo en cuestión. Como principio presentamos la información recopilada que nos permitirá identificar el problema de cobertura, para que posteriormente podamos definir la solución más conveniente de acuerdo a las condiciones que encontremos en el inmueble.

IV.1. SITUACIÓN ACTUAL

En todo sistema de comunicación móvil es importante considerar la ubicación del inmueble que se estudia, para poder determinar como le afecta el entorno urbano, la ubicación y configuración de las BTSs cercanas. Asimismo, es de gran importancia conocer de qué material está construido el inmueble, para determinar cómo influye su estructura en la falta de cobertura *indoor*.

IV.1.1. Descripción de la Zona

Con el fin de realizar el mejor análisis y presentar la mejor solución a la situación que se presenta al interior de nuestro corporativo, es necesario reconocer la configuración de la red que conforma la zona alrededor del mismo.

Para ello, iniciaremos con la descripción de la zona considerando la ubicación geográfica, situación morfológica y situación demográfica, ya que la combinación de estos entornos le dan un sentido diferente a la configuración de tenga la red.

En la figura IV.1 mostramos la zona geográfica donde se encuentra ubicado el corporativo, así como la configuración de la red del proveedor de servicio GSM con el que el corporativo ha contratado sus servicios de comunicación celular.

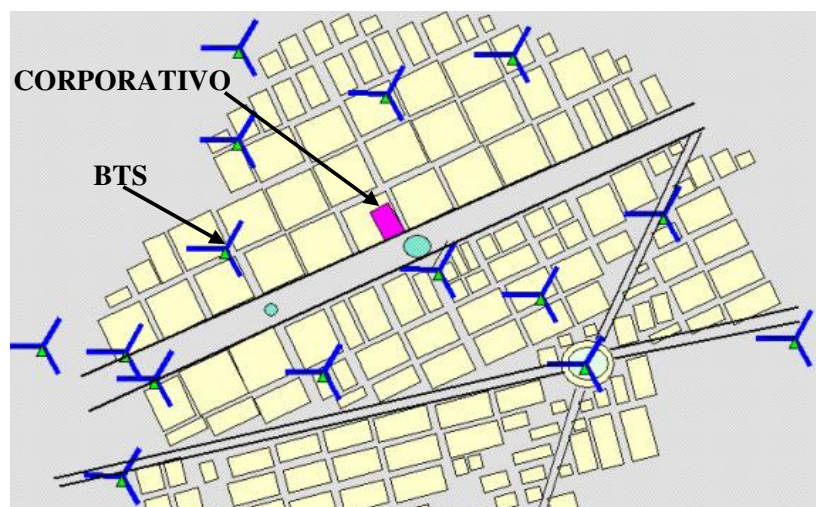


Figura IV.1. Ubicación del corporativo y las BTSs cercanas.

De la figura anterior nos interesa resaltar que el corporativo se encuentra ubicado en una zona urbanizada con alta concentración de edificaciones de gran altura, que oscilan entre los 20 y 50 metros aproximadamente, sin olvidar que también existen edificaciones de menor altura, del orden de 3 metros. De esta situación definimos que el corporativo se encuentra en una zona que presenta problemas de obstrucción en la trayectoria de la señal, así como reflexiones, dispersión y difracción de la señal GSM, debido a los edificios que le rodean.

Debido a que las edificaciones de la zona en su mayoría pertenecen a instalaciones de empresas diversas, durante el día esta zona concentra altos índices de personas que usan los recursos de la misma red celular en cuestión, con el fin de cumplir con sus actividades

laborales y sociales. Por lo que consideraremos que la zona tiene alta demanda de servicio o alto índice de tráfico. Esta consideración podrá ser confirmada con el monitoreo de la red y comprobable con gráficas que muestre el sistema del proveedor de servicio GSM.

Por otro lado, tomamos en cuenta que la configuración de la red nos muestra que existen varias BTSs cercanas, de las cuales algunas estarán declaradas en el sistema de la red, como servidores vecinos y otros no. Así que se procederá a confirmar dichos datos en el sistema de configuración y gestión de la red del proveedor del servicio GSM.

Otro aspecto importante en las consideraciones para describir la red, es verificar cual es la altura en la que están instaladas las antenas contenidas en las BTS de la zona, esto nos apoya para determinar a qué altura nuestra señal es propagada en forma directa desde las BTSs aledañas. Con dicha consideración podremos deducir a que altura dentro del edificio, muy posiblemente nuestras mediciones de nivel de señal sean debidas a señales reflejadas por las construcciones. Esta posibilidad será confirmada al momento de realizar un recorrido de reconocimiento y toma de mediciones de señal en el interior del corporativo.

En la figura IV.2 se muestra la distancia que existe entre el corporativo y cada uno de las BTSs vecinas, con este dato nos apoyaremos para identificar cual será el servidor que brinda la señal más fuerte y confiable en la zona.

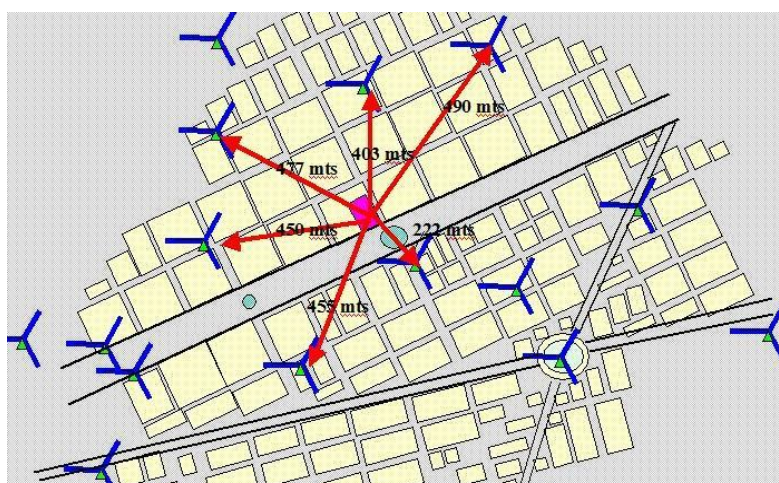


Figura IV.2. Distancias entre BTSs y el corporativo.

Podemos observar también que las distancias entre las BTSs y el corporativo son pequeñas. Pero para proporcionar un veredicto final del problema tendremos que confirmar las deducciones planteadas consultando el sistema de administración y monitoreo de la red, asimismo realizar una visita de reconocimiento al lugar para confirmar si existen obstrucciones. Finalmente realizar la recopilación de información que nos confirmará la situación y nos guiará a la posible solución.

IV.1.2 Descripción del inmueble

Para tener un buen análisis de las condiciones actuales del inmueble sobre el que trabajaremos, es necesario conocer la edificación del mismo, del cual nos interesa conocer como es que está estructurado y de que materiales está construido.

El inmueble es una edificación moderna que abarca un área de 50 por 37 metros aproximadamente, en los que podemos encontrar un área construida de 81,000 m², los cuales están distribuidos en una construcción de 33 pisos y 2 niveles de sótanos. Donde los primeros 10 niveles son usados como estacionamientos y los 23 restantes son utilizados como oficinas, restaurantes, *penthouse*, etc.

La estructura principal del inmueble está construida en su mayoría de materiales como lo son acero, concreto, columnas y vigas, todo en concreto armado y/o estructura de acero. Como podemos observar en la figura IV.3. (b). La fachada principal del edificio se encuentra recubierta en su mayoría por cristal y estructuras metálicas. Como se puede observar en la figura IV.3 (a).

Al interior del inmueble podemos encontrar que los muros son construidos principalmente de materiales como monoblock, ladrillos, cristal y en su gran mayoría paneles prefabricados. Los cuales son utilizados para la construcción de oficinas, salas de juntas y privados.



Figura IV.3. Fachada y estructura principal del inmueble.

Dentro de la distribución del inmueble encontramos los cubos de los elevadores, baños, escaleras, sótanos, la vertical del edificio y los primeros 10 niveles. Estas estructuras están construidas y divididas por muros de monoblock y concreto. En la figura IV.4 podemos observar un corte horizontal de uno de los niveles del edificio, en el que se pueden observar claramente las oficinas o cubículos que están contruidos por muros sólidos, elevadores, escaleras y columnas.

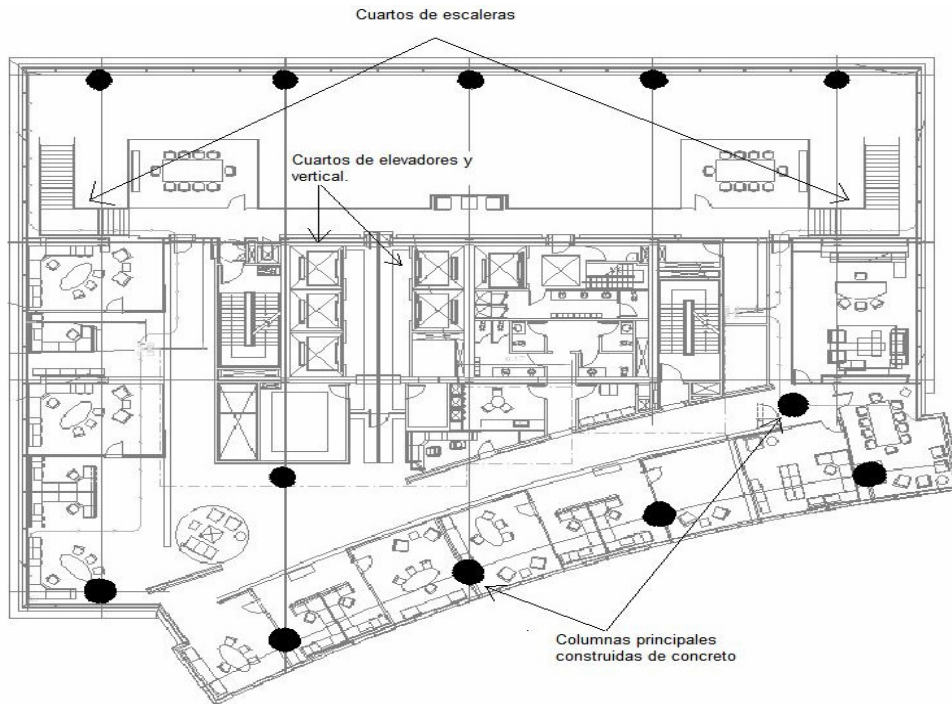


Figura IV.4. Corte horizontal de un nivel dentro del corporativo.

IV.1.3 Condiciones de cobertura indoor

Para conocer la condición actual de cobertura dentro del inmueble es necesario realizar mediciones de intensidad de señal. Estas mediciones se realizan con equipos portátiles especializados, *Nokia 6820 GSM* y *Motorola V400 PTT*, que se observan en la figura IV.5, incisos (a) y (b) respectivamente. Estos equipos son capaces de detectar niveles de potencias de señales de múltiples celdas. Ambos son equipos tribanda, los cuales cuentan con un software especial instalado, el cual les permite leer y mostrar los niveles de intensidad de señal de los servidores que brindan cobertura en este lugar.

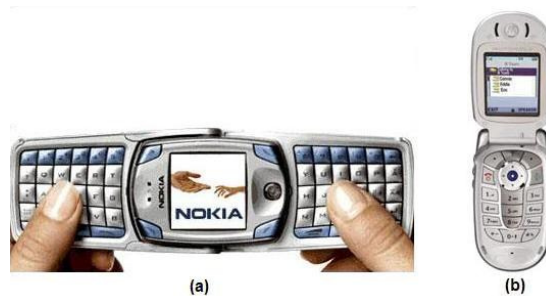


Figura IV.5. Equipos Nokia y Motorola.

La cobertura en el inmueble la proporcionan una serie de BTS que se encuentran ubicadas alrededor de éste. Cada BTS cercana tiene un número de registro, el cual sirve al operador para saber la ubicación física de la misma, saber con que sectores vecinos cuenta y saber de que BTS se trata al momento de su monitoreo a través de su sistema de gestión remoto. También se le asigna un nombre, el cual se le da de acuerdo a la zona geográfica en que se instalo, lo cual nos da una referencia rápida para saber donde se encuentra ubicada la BTS.

El registro de cada BTS consta de 7 caracteres, como lo podemos observar en el siguiente ejemplo.

DF5330A

En donde:

DF = 2 caracteres que se refieren al lugar geográfico donde se encuentra, (Distrito Federal).

5330 = Se refiere al número consecutivo asignado a la BTS cuando fue instalada.

A = Sector de la BTS. (Las BTS cuentan con tres sectores A, B y C).

En la figura IV.6 podemos apreciar las BTSs cercanas al inmueble, donde se muestran las que, principalmente, dan servicio a la zona. No obstante, se pueden registrar señales provenientes de BTSs distantes.

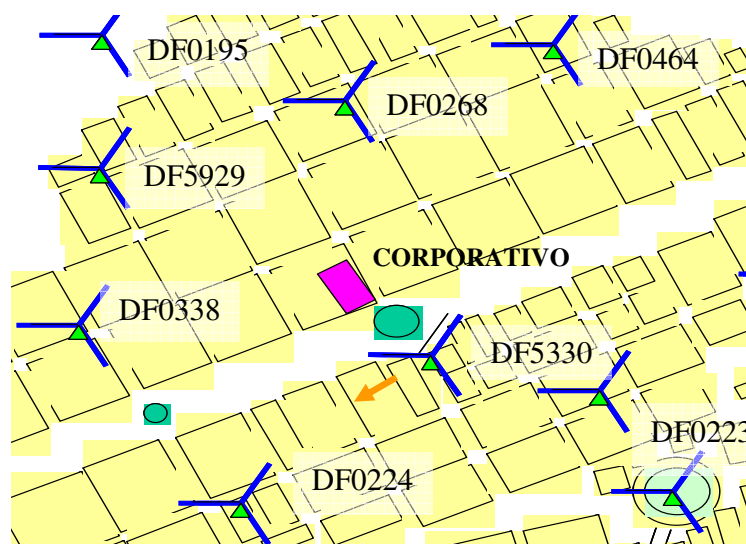


Figura IV.6. BTSs cercanas al inmueble.

Como resultado de las lecturas tomadas en el inmueble, se encontró que diferentes servidores proporcionan servicio a éste, de los cuales algunos están declarados como servidores vecinos y otros no, como lo es el caso del servidor DF4863, el cual no aparece en la figura IV.5 debido a su lejanía del corporativo. En la tabla IV.1 se presentan las BTSs de las cuales se encontró señal dentro del inmueble.

SERVIDORES	NOMBRE
DF5330	Ángel de la Independencia
DF0268	Balsas
DF5929	Melchor Ocampo
DF4863	Viaducto Alabama
DF0338	Misisipi
DF0464	Pánuco

Tabla IV.1. Servidores que proporcionan servicio al inmueble.

Para tomar las lecturas de intensidad de la señal en el edificio se realizó un recorrido dentro del mismo, piso por piso, donde se siguió la misma trayectoria para cada uno de ellos. En la figura IV.7 se muestra un plano de corte de piso donde se indican los lugares desde los cuales se recolectaron las lecturas de intensidad de señal, realizando un recorrido desde el punto 1 hasta el punto 6.

Una vez recopilada la información, se procedió a integrarla. Para ello, se siguió una nomenclatura particular para indicar cada sector de cada servidor, esto es, agregando la letra A, B, o C al final del identificador de cada servidor. En la figura IV.8 se muestra como se realiza la asignación de los sectores para cada BTS. El sector más cercano al norte, en dirección de las manecillas de reloj, se tomará como el sector A, de ahí, siguiendo la misma dirección, se asignarán los sectores B y C, quedando establecido cada sector para una BTS en particular. De esta manera, usaremos identificadores de sector (ID) como el DF5330A o el DF0268B.

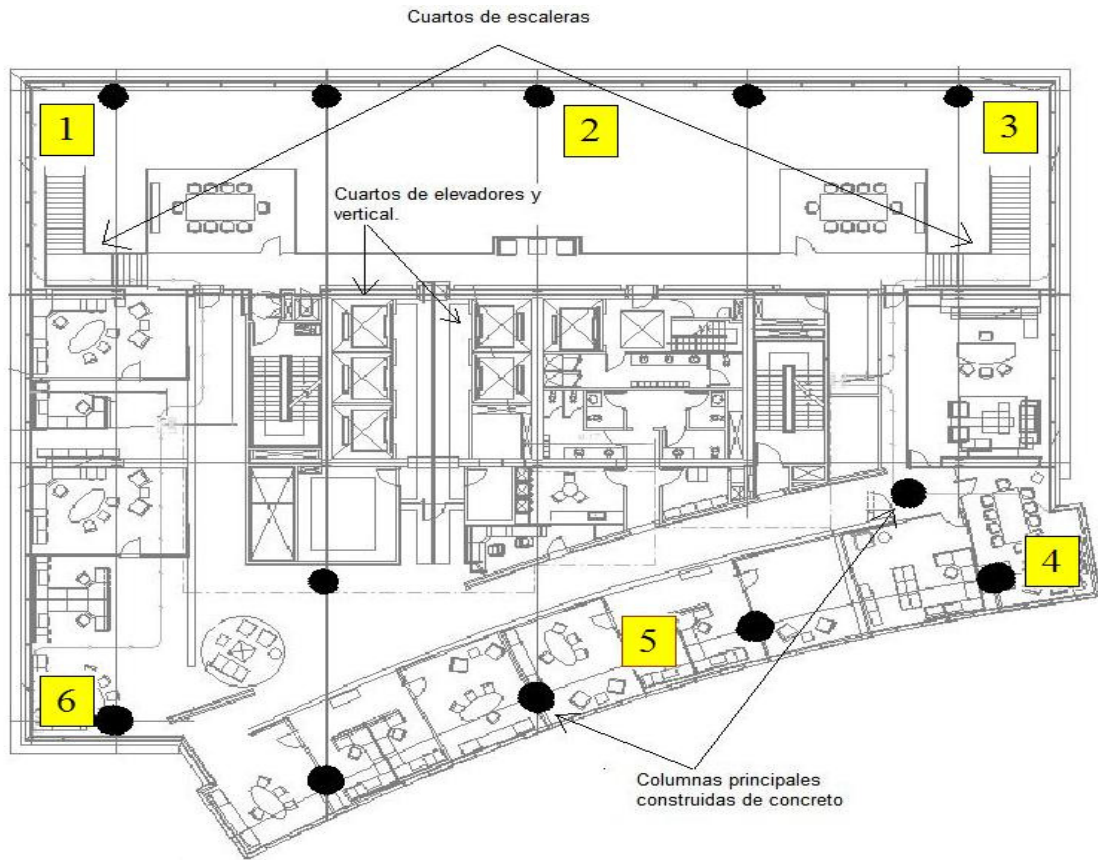


Figura IV.7. Puntos desde los cuales se tomaron las lecturas.

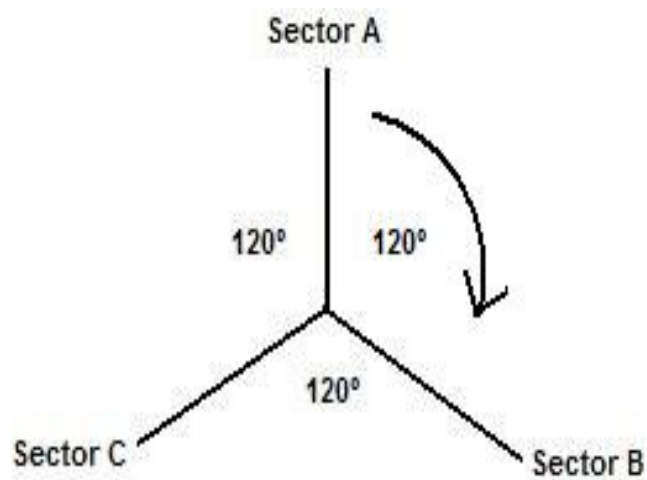


Figura IV.8. Sectores de un Servidor.

En la tabla IV.2 mostramos las lecturas de señal tomadas en cada punto del 1 al 6 para cada piso del inmueble, así como su valor promedio. Al realizar la toma de mediciones se registraron señales de sectores de servidores lejanos al corporativo, como lo es el caso del sector DF0464C, correspondiente a Pánuco, el cual sólo se registró en el piso 5 y por tal motivo, sus mediciones aparecen sólo para ese piso. Las mediciones del sector DF0464C se pueden observar en un color más tenue y en letras cursivas. El mismo caso se presentó para el sector DF4863A, el cual presentó señal en los pisos 11, 12, 13, 15, 17, 25 y 26.

UBICACIÓN POR PISO	ID DE SECTOR	NIVEL EN PUNTO 1 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 2 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 3 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 4 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 5 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 6 (dBm)	NIVELES DE SENAL PROMEDIO CON LLAMADA (dBm)
SOTANO 1 RECEPCION	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330C	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
SOTANO 2 RECEPCION	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330C	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PLANTA BAJA RECEPCION	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-75	-72	-71	-69	-72	-75	-72
	DF5330C	-87	-85	-86	-87	-81	-85	-85
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 1 MEZANINE	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-96	-98	-96
	DF5330A	-77	-75	-79	-73	-74	-75	-75
	DF5330C	-89	-84	-86	-85	-83	-86	-85
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 2 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-75	-77	-72	-78	-75	-72	-74
	DF5330C	-84	-86	-85	-87	-89	-84	-85
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO

Tabla IV.2. Lecturas de intensidad de señal GSM dentro del inmueble. (Continúa)

UBICACIÓN POR PISO	ID DE SECTOR	NIVEL EN PUNTO 1 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 2 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 3 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 4 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 5 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 6 (dBm)	NIVELES DE SENAL PROMEDIO CON LLAMADA (dBm)
PISO 3 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-81	-77	-78	-75	-77	-83	-78
	DF5330C	-88	-86	-89	-87	-86	-88	-87
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 4 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-77	-76	-72	-71	-74	-80	-75
	DF5330C	-83	-84	-79	-80	-85	-89	-83
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 5 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-73	-84	-78
	DF5330A	-75	-77	-75	-73	-72	-76	-74
	DF5330C	-85	-88	-84	-82	-72	-80	-81
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF0464C	-100	-95	-98	-93	-89	-93	-94
PISO 6 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-80	-78	-75	-72	-77	-75	-76
	DF5330C	-88	-84	-83	-86	-88	-82	-85
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 7 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-79	-75	-73	-74	-73	-76	-75
	DF5330C	-84	-83	-80	-82	-79	-82	-81
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 8 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-77	-76	-73	-72	-74	-82	-75
	DF5330C	-82	-86	-80	-80	-81	-86	-82
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 9 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-75	-70	-69	-65	-65	-70	-69
	DF5330C	-82	-79	-80	-81	-85	-86	-82
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 10 ESTACIO - NAMIENTO	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-73	-68	-65	-60	-63	-75	-67
	DF5330C	-80	-77	-76	-72	-74	-81	-76
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	-88	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-71	-86	-81

Tabla IV.2. Lecturas de intensidad de señal GSM dentro del inmueble. (Continúa)

UBICACIÓN POR PISO	ID DE SECTOR	NIVEL EN PUNTO 1 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 2 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 3 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 4 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 5 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 6 (dBm)	NIVELES DE SENAL PROMEDIO CON LLAMADA (dBm)
PISO 11 OFICINAS	DF0268B	-79	-75	-70	-75	-73	-84	-76
	DF5330A	-77	-79	-75	-77	-76	-80	-77
	DF5330C	-73	-75	-77	-75	-72	-80	-75
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF0464C	SIN SERVICIO	-95	SIN SERVICIO	-92	-89	-93	-92
PISO 12 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-93	-87	-85	-83	-85	-92	-87
	DF5330C	-95	-98	-95	-92	-89	-97	-94
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF0464C	-89	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-90	-89	-93	-90
PISO 13 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-95	-90	-89	-87	-85	-92	-89
	DF5330C	-93	-95	-99	-95	-97	-93	-95
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF0464C	-95	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-90	-89	-93	-91
PISO 14 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-98	-95	-89	-85	-87	-95	-91
	DF5330C	-90	-93	-95	-87	-90	-97	-92
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-100	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-100
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 15 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-98	-99	-98
	DF5330A	-97	-94	-92	-90	-85	-92	-91
	DF5330C	-95	-99	-97	-92	-89	-97	-94
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-102	SIN SERVICIO	-102
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF4863A	SIN SERVICIO	-103	SIN SERVICIO	-100	-105	SIN SERVICIO	-102
PISO 16 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-99	-93	-90	-92	-90	-95	-93
	DF5330C	-97	-103	-95	-93	-97	-93	-96
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 17 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-100	-97	-102	-95	-99	-100	-98
	DF5330C	-97	-102	-99	-99	-98	-94	-98
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF4863A	SIN SERVICIO	-103	SIN SERVICIO	-100	-105	SIN SERVICIO	-102

Tabla IV.2. Lecturas de intensidad de señal GSM dentro del inmueble. (Continúa)

UBICACIÓN POR PISO	ID DE SECTOR	NIVEL EN PUNTO 1 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 2 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 3 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 4 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 5 (dBm)	NIVEL EN PUNTO 6 (dBm)	NIVELES DE SENAL PROMEDIO CON LLAMADA (dBm)
PISO 18 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-98	-97	-93	-95	-92	-90	-94
	DF5330C	-100	-105	-102	-99	-89	-93	-98
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 19 OFICINAS	DF0268B	-100	-102	SIN SERVICIO	-103	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5330A	-97	-93	-89	-90	-88	-87	-90
	DF5330C	-94	-97	-100	-95	-90	-92	-94
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 20 OFICINAS	DF0268B	-96	-96	-95	-98	-98	SIN SERVICIO	-96
	DF5330A	-100	-99	-95	-87	-85	-92	-93
	DF5330C	-97	-99	-101	-93	-89	-95	-95
	DF0338B	-95	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-90	SIN SERVICIO	-92
	DF5929B	-99	-101	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-100
PISO 21 OFICINAS	DF0268B	SIN SERVICIO	-102	-105	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-103
	DF5330A	-102	-97	-95	-92	-92	-95	-95
	DF5330C	-100	-99	-99	-96	-93	-90	-96
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-90	SIN SERVICIO	-90
	DF5929B	SIN SERVICIO	-101	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-101
PISO 22 OFICINAS	DF0268B	-93	SIN SERVICIO	-95	SIN SERVICIO	-96	SIN SERVICIO	-94
	DF5330A	SIN SERVICIO	-97	-99	-90	-89	-92	-93
	DF5330C	-106	SIN SERVICIO	-103	-98	-95	-99	-100
	DF0338B	-100	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-95	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-96
	DF5929B	SIN SERVICIO	-105	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-105
PISO 23 OFICINAS	DF0268B	-96	SIN SERVICIO	-100	SIN SERVICIO	-100	SIN SERVICIO	-98
	DF5330A	SIN SERVICIO	-105	-99	-95	-97	-99	-99
	DF5330C	-105	SIN SERVICIO	-102	-96	-90	-95	-97
	DF0338B	-101	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-99	-102	-100
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 24 OFICINAS	DF0268B	-99	-96	-98	-96	-99	SIN SERVICIO	-97
	DF5330A	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-95	-97	-100	-97
	DF5330C	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-99	-99	-97	-98
	DF0338B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-101	SIN SERVICIO	-103	-102
	DF5929B	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
PISO 25 OFICINAS	DF0268B	-95	-96	-96	-97	-98	-99	-96
	DF5330A	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-100	SIN SERVICIO	-99	-99
	DF5330C	-96	-93	-89	-88	-89	-97	-92
	DF0338B	-100	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-102	SIN SERVICIO	-100
	DF5929B	-106	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO
	DF4863A	SIN SERVICIO	-102	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	-105	SIN SERVICIO	-102

Tabla IV.2. Lecturas de intensidad de señal GSM dentro del inmueble. (Continúa)

De acuerdo con los resultados encontrados, concluimos que en planta baja, así como en los pisos 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9 se tiene cobertura sin problema de interferencia y es una señal única, proveniente de la BTS DF5330, Ángel de la Independencia. En el 1er piso y del piso 10 al 26, se encontró cobertura y señal de varios servidores; mientras que del piso 27 al 33, no se tiene cobertura. Por otro lado, en los sótanos la señal no alcanza a entrar por estar subterráneos y por lo tanto no se registró cobertura.

IV.1.4. Condiciones de calidad

Continuando con este análisis se debe tomar en cuenta, además de la cobertura, la calidad con la que la señal es recibida y las diferentes situaciones que hacen que dicha calidad no sea la óptima. Para ello, analizaremos los parámetros de calidad del servicio, esto es, las condiciones de tráfico y las condiciones de interferencia encontradas en el inmueble. Con este análisis se comprobarán los factores que causan los problemas de servicio en el inmueble, para posteriormente poder definir una solución que solvete las necesidades de servicio de los usuarios.

IV.1.4.1. Condiciones de tráfico

Para analizar el tráfico alrededor del inmueble, es necesario monitorear las estadísticas de demanda de servicio de las BTSs dentro de la zona. El análisis se realizará sobre aquellas BTS que son vecinas al inmueble y por lo tanto entre sí mismas, ya que entre ellas se lleva a cabo el proceso de *handover*. Así, con este análisis se obtendrá la información necesaria que describe el comportamiento de los índices de tráfico en la zona.

Para iniciar, definiremos cuales son los sectores vecinos. En la tabla IV.3 mostramos los identificadores de cada BTS de la zona y los canales para cada uno de sus sectores, además se muestran sombreados los sectores vecinos entre sí y vecinos al inmueble.

ID de BTS	Canal A	Canal B	Canal C
DF5330	594	588	591
DF0338	579	589	583
DF0221	582	586	594
DF5929	578	586	592

Tabla IV.3. Sectores vecinos entre sí para las BTSs de la zona.

Siguiendo la misma nomenclatura que hemos venido utilizando, los sectores vecinos quedarán como: DF5330A, DF0338A, DF0338B, DF0221A y DF5929B.

En todas las gráficas de tráfico que mostraremos a continuación, de la figura IV.9 a la IV.10, se presenta el índice de tráfico total por sector en función del tiempo. Esta información fue recopilada del 15 de septiembre al 24 de noviembre del 2005, a través del sistema de monitoreo y administración de la red.

Para el caso del sector DF5330A, la figura IV.9 indica que el monitoreo comienza el día 15 de septiembre a las 22:00 hrs, y el siguiente intervalo se da para el 17 de septiembre a las 14:00 hrs, siguiendo ese patrón a todo lo largo de la gráfica. El caso de mayor demanda de servicio se observa el día 29 de octubre a las 10:00 hrs, llegando al máximo de la capacidad para este sector, que es de 48.7 erlangs.

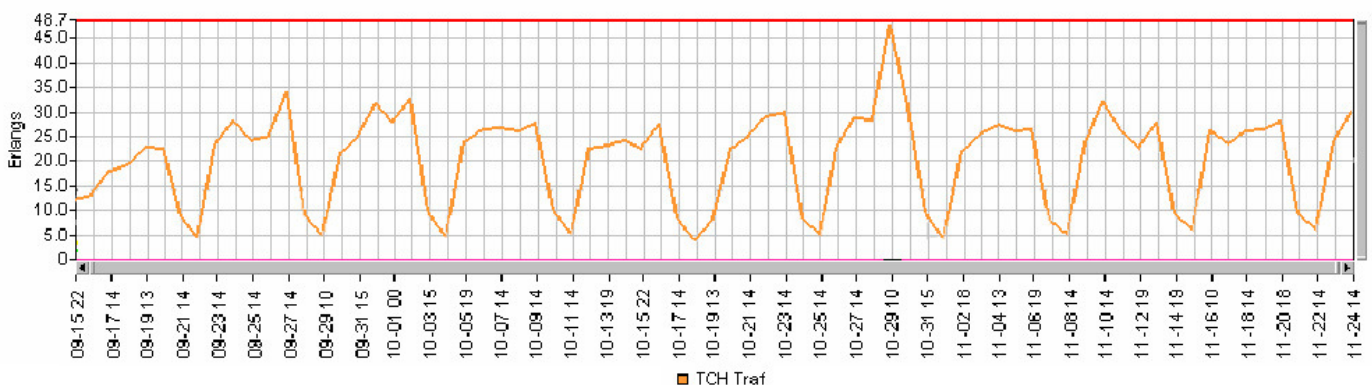


Figura IV.9. Gráfica de tráfico para el sector DF5330A.

En la figura IV.10, se muestran las gráficas de tráfico de los sectores DF0221A, DF0338A y DF5929B, donde se presenta un patrón similar al del sector DF5330, pero sin llegar a la saturación.

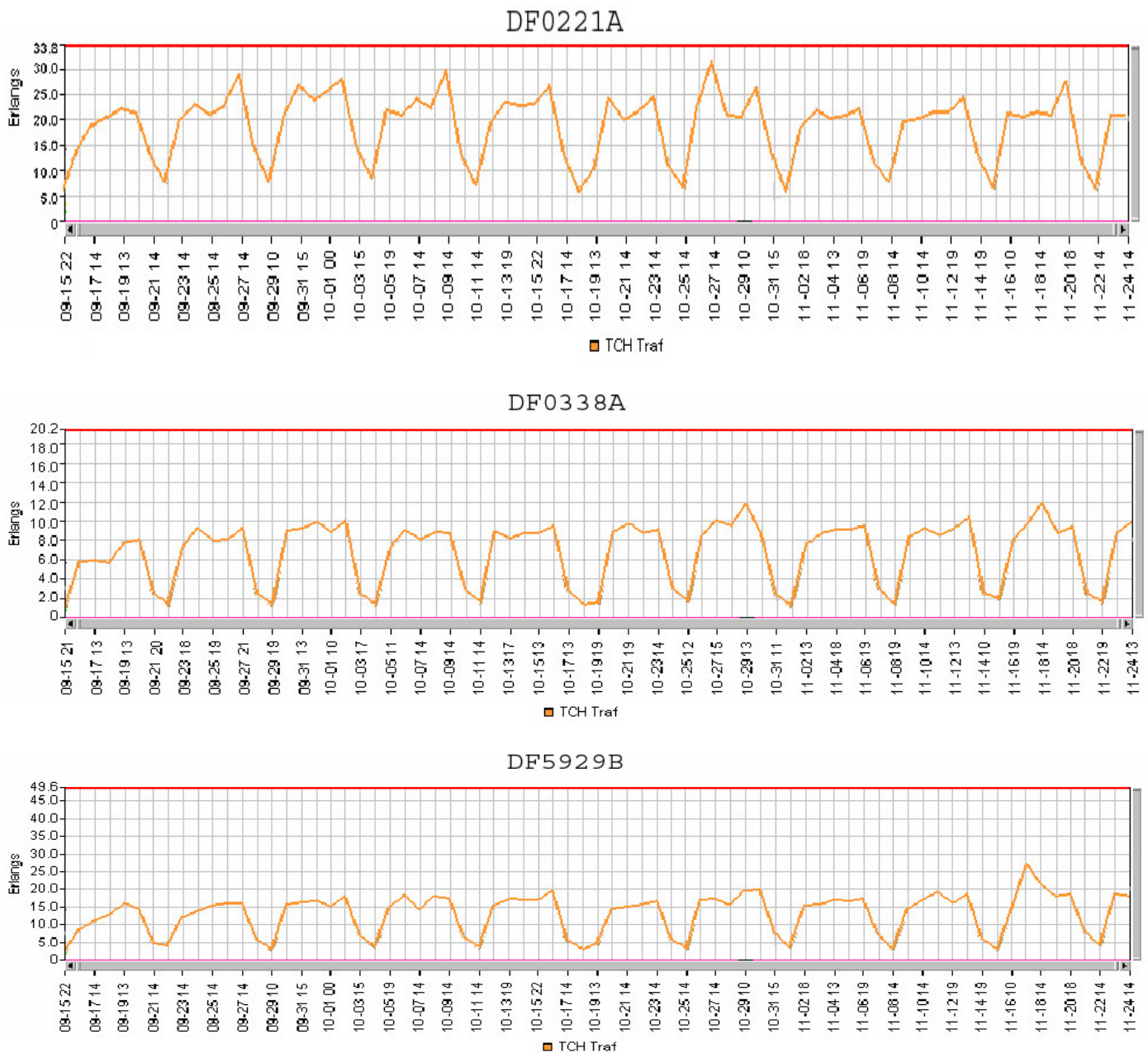


Figura IV.10. Gráfica de tráfico para los sectores DF0221A, DF0338A y DF5929B.

Como se observa de los gráficos mostrados, cada sector tiene una capacidad diferente, la cual se puede expandir por la demanda del servicio en la zona. De las gráficas anteriores podemos observar que el sector DF5330A es el de mayor capacidad con 48.7 erlangs, pero aun así por la zona, esta capacidad está llegando a su límite. Por todo ello, se concluye que el tráfico en la zona tiene alta demanda, llegando algunos de los servidores a su punto de saturación, por este motivo no sería viable solicitarle que más número de usuarios dispongan de los servicios del sector en cuestión. De ahí que la solución que sea seleccionada deberá tener la capacidad necesaria para poder ofrecer los servicios GSM a todos los usuarios del inmueble.

Una vez realizado este estudio, se debe analizar que tanto afecta al inmueble la interferencia causada por servidores aledaños al inmueble.

IV.1.4.2. Condiciones de Interferencia

Con base en las mediciones de señal realizadas dentro del corporativo, las cuales han sido registradas en la tabla IV.4, es importante señalar que dentro del inmueble son percibidas señales de canales que no están declarados vecinos.

Es importante destacar los casos de las BTSs DF4863 y DF0464. Dichas BTSs no están declaradas como vecinas, sin embargo sus señales son percibidas en distintos pisos del inmueble. En la tabla IV.4 se indican los pisos en los que dichas BTSs tienen presencia y los niveles de señal promedio de potencia con los que se perciben.

Con base en la tabla IV.4 y la tabla IV.1, podemos concluir que ambas BTSs son percibidas con bajos niveles de potencia, y en las seis mediciones realizadas por nivel se nota claramente que la señal es intermitente. Estas señales de interferencia llegan por reflexión o difracción al inmueble desde las BTSs, como se ilustra en la figura IV.11. Por lo tanto provocan interferencia al interior del inmueble.

ID DE BTS	PISO	NIVEL DE SEÑAL PROMEDIO (dBm)
DF0464	5	-94
	11	-92
	12	-90
	13	-91
DF4863	15	-102
	17	-102
	25	-102
	26	-103

Tabla IV.4. Niveles de potencia y pisos en los que se perciben las BTSs DF0464 y DF4863.

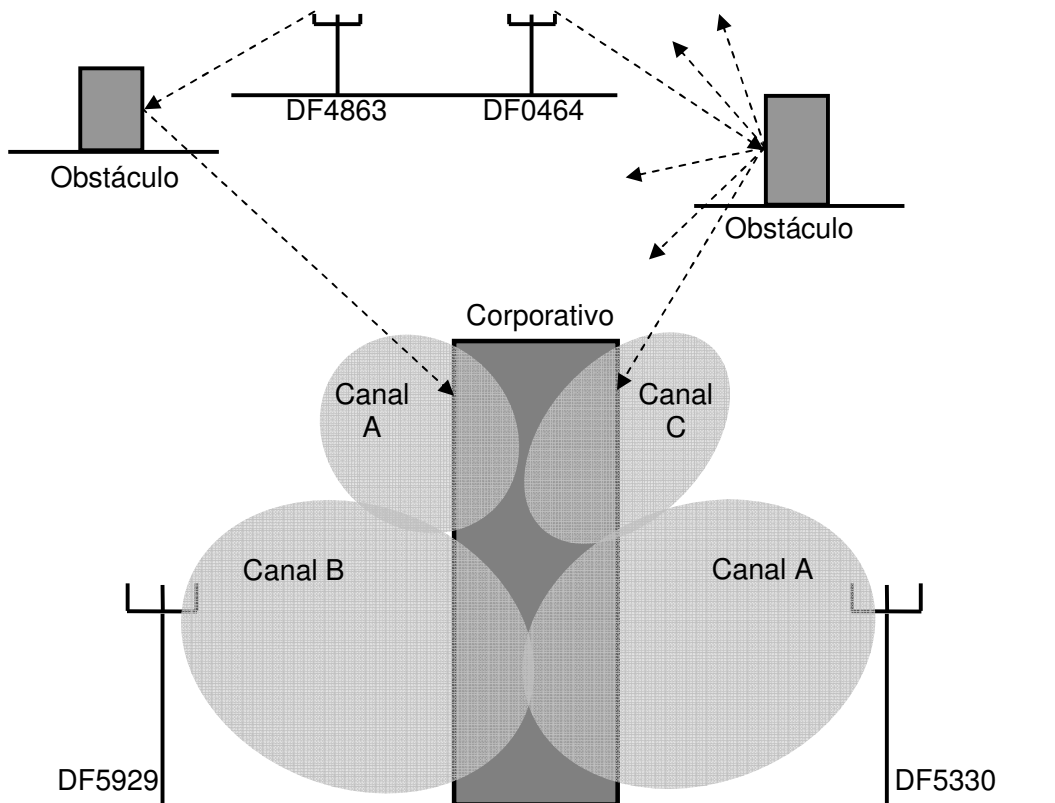


Figura IV.11. Interferencia en el corporativo debida a múltiples servidores.

Hemos identificado que dentro del inmueble, además de problemas de cobertura y tráfico, también existen problemas de interferencia, causando los siguientes inconvenientes:

- Debido a la intermitencia con la que las señales interferentes son percibidas por el móvil dentro del corporativo, éste no es capaz de seleccionar en cuál BTS deberá alojarse, esta situación lleva al móvil a un estado de *No Service*.
- Al no existir sincronía entre las señales de las BTSs DF0464, DF4863 y los canales vecinos, existe un traslape en su información, provocando con ello que el móvil no logre identificar la información y la considera ruido.
- El móvil no puede usar los servidores interferentes para disponer de los servicios, ya que los identifica como interferencia, no como servidores confiables.

Existen señales de interferencia dentro del corporativo, las cuales son provocadas por múltiples servidores que se derivan de la división de célula. Por lo que al elegir la solución más adecuada para resolver los problemas que existen en el inmueble, el diseño de la solución también debe considerar esta problemática.

IV.2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Considerando la información presentada sobre la localización, la estructura física y las condiciones de cobertura dentro del inmueble, procederemos a seleccionar la solución que más se acerque a las necesidades del corporativo.

De las tres posibles soluciones, ya estudiadas en apartados anteriores, vamos a evaluar cuál es la más viable para resolver el problema de cobertura dentro del corporativo.

En el caso de la *solución por repetidor*, existe la ventaja de la simplicidad en su implementación, en cambio, presenta varias desventajas:

- Debido a la existencia de múltiples servidores no existiría *Handover*.
- Las señales provenientes de otras BTSs no superan los 9 dB de C/I entre canales generando que el móvil no se aloje en ningún servidor.
- Existiría saturación de la BTS más cercana.

La *solución por optimización de recursos* es la de mayor uso, por razones económicas, ya que el costo de su implementación es muy bajo. Para su implementación se considera la utilización de la BTS más cercana al inmueble (DF5330), y es precisamente ésta la que cuenta con mayor capacidad de tráfico entre el resto de las BTSs vecinas. Las limitantes que presenta esta solución son las siguientes:

- Realizar una cierta inclinación de un sector de la BTS DF5330 hacia arriba, con el objetivo de expandir la cobertura a los pisos superiores del corporativo, recordando que de los 33 pisos con los que cuenta el inmueble los primeros 10 corresponden a estacionamiento, daría solución únicamente al corporativo. Entendiendo que es una zona de alta concentración de edificios y el objetivo es dar solución a un caso particular sin descuidar el resto de la zona de cobertura, resulta inconveniente realizar una inclinación a la antena dado que limitaríamos la señal a nivel de la calle y quizás de corporativos más pequeños que no alcancen la altura correspondiente al nivel diez del inmueble que estamos analizando y que requieran cobertura.
- Aumentar la potencia del sector de la BTS o cambiar físicamente la antena aumentaría la zona de cobertura de dicho sector, sin embargo por la alta concentración de usuarios en la zona también habría que cambiar la capacidad de la BTS para permitir más usuarios, ya que muy probablemente encontraríamos saturación de servicio. Aún así, con esto no solucionamos del todo la presencia de múltiples servidores en los pisos superiores del edificio y debido al incremento en la potencia, se podría ocasionar la existencia de múltiples servidores en otros corporativos de la zona.

En el caso de la *solución por microcélula*, podríamos tener la presencia de un canal interno dedicado exclusivamente al corporativo y que debido a la potencia tan baja de las antenas para interior, la señal que logra radiar fuera del edificio es con tan baja potencia que ya no alcanza a interferir con otros canales.

La presencia de antenas internas genera patrones de radiación que cubren perfectamente cada piso y logra una diferencia de C/I mayor a 9 dB con respecto a las señales provenientes

de múltiples servidores, por lo que no hay necesidad de que haya algún *handover*, ya que la comunicación dentro del edificio será siempre dentro de un mismo canal.

El mayor beneficio de la solución por microcélula es que se consigue cobertura tanto en los pisos superiores, que no reciben radiación de ninguna BTS, y en los dos niveles de sótano, que al estar debajo del nivel de la calle no cuentan con cobertura.

La implementación de la solución por microcélula presenta algunas limitantes:

- A comparación de las dos soluciones previas ésta requiere un diseño detallado para la instalación de equipo dentro del inmueble.
- Se necesita un permiso especial por parte de las empresas, cuyas oficinas se encuentran en este corporativo, para hacer la instalación de equipo externo.
- El costo de la implementación es alto, por lo que es necesario realizar una evaluación económica para determinar en que tiempo se recuperaría dicha inversión.

Teniendo en cuenta el análisis anterior, concluimos que la mejor solución es la instalación de una microcélula *indoor*. Esta solución nos permite no descuidar el servicio dentro de la zona, debido a que se agrega un canal vecino al cluster dentro del edificio y éste no afecta la cobertura actual fuera del corporativo, mantiene la facturación actual, evita la presencia de múltiples servidores en otros corporativos y previene la saturación de servicio en las BTSs vecinas.

La solución por microcélula *indoor* contemplaría la instalación de antenas repetidoras solamente en los niveles de sótano y superiores al piso 11, ya que para los niveles de estacionamiento se concluyó que no existe ningún problema de cobertura.

IV.3. DESARROLLO

Como respuesta a la necesidad del corporativo y para solucionar el problema de tener presencia de múltiples señales de diferentes servidores en el interior del inmueble, aplicaremos la tecnología ofrecida por la microcélula. El proceso de diseño empieza por

seleccionar el tipo de configuración que será usada, una vez elegida la configuración procederemos a seleccionar las antenas que se usarán, dado que de ellas dependerá la selección del resto del equipo, posteriormente se hará una selección de cableado, conectores y accesorios que implica dicha configuración, para finalmente realizar los cálculos para alcanzar una cobertura uniforme con los niveles de señal mínima requerida; con estos cálculos se podrá concretar el diseño que será implementado. Para llegar a las definiciones anteriores se consideran las diferentes marcas y fabricantes existentes, así como las opciones de selección viables durante el momento de la selección. Para mayor detalle técnico sobre los equipos y materiales que se mencionarán, favor de referirse al apéndice E.

Para la implementación de una microcélula dentro del corporativo existen dos posibles arreglos de configuración.

La primera consta de conectar el número de antenas requerido directamente a la microcélula, mediante cable coaxial para radiofrecuencia. Esta configuración resulta ser la forma básica de conexión para este tipo de equipo.

Como podemos observar en la figura IV.12, la microcélula tiene un puerto de transmisión y otro de recepción, por conveniencia para no duplicar equipo, se combinan ambas señales a través de un combinador de señales.

Al ser combinadas las señales de transmisión y recepción, se obtiene un solo puerto coaxial donde ahora las señales viajan juntas, posteriores al combinador, y para duplicar o incrementar el número de puertos, se encuentra conectado un divisor de poder con una entrada y dos salidas. Ahora cada uno de los puertos entregados por el divisor, pueden a su vez ser conectados mediante cable coaxial a una antena o bien, ser divididos nuevamente en caso de requerir más puertos para más antenas.

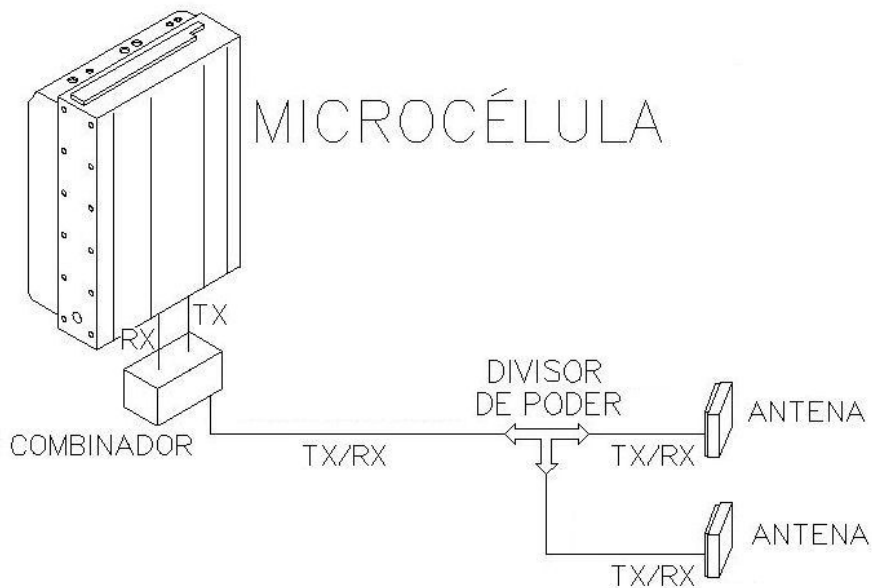


Figura IV.12. Conexión de microcélula y antenas mediante cable coaxial.

Analizando esta configuración, encontramos que su principal limitante es el reducido número de puertos, lo que hace imposible conectar muchas antenas. Considerando que nuestro corporativo es un inmueble de 33 niveles y requerimos implementar una solución del piso 11 al 33, esta configuración no resulta práctica, debido al elevado número de antenas que se requerirán. Además de ello, técnicamente, la conexión por cada divisor de potencia afecta directamente la potencia transmitida, al reducirla a la mitad por cada divisor utilizado en la trayectoria hasta la antena. Con ello, es claro que después de dividir varias veces la trayectoria, el nivel de señal se atenuará significativamente y podría no ser suficiente para alcanzar nuestro nivel de señal mínimo requerido para el diseño.

Adicional a la atenuación presentada por el divisor de poder, el cable coaxial también presenta una atenuación de señal a lo largo de su trayectoria. Basándonos en los datos del fabricante, para un cable coaxial de 7/8 de diámetro, la atenuación es del orden de -6.11 dBm por cada 100 metros de longitud de cable, al operar con una frecuencia aproximada a los 2 GHz. Esta característica nos permite visualizar que para nuestro diseño en el

corporativo con 33 niveles, las trayectorias de cable coaxial serían largas por lo que la atenuación debida al cable coaxial sería considerable.

En general concluimos que la opción de usar divisores de poder para incrementar el número de puertos para conectar las antenas necesarias, más el uso de cable coaxial para trayectorias largas, traería disminución excesiva de la señal hasta llegar al punto de no tener la potencia mínima requerida para nuestro diseño. Por estos motivos, la configuración por conexión directa de cable coaxial es descartada, ya que no garantizaría un nivel de señal mínimo confiable para una cobertura en *indoor* en un corporativo de 33 niveles.

Con base en las consideraciones antes mencionadas, al descartar la primera forma de conexión, nuestra configuración requiere sustituir el exceso de divisores y las trayectorias largas de cable coaxial. Por ello, requerimos agregar equipo o accesorios que nos permitan conectar un número mayor de antenas, verificando que en la trayectoria no existan pérdidas considerables. El tipo de configuración y los equipos que se implementen deberán ser transparentes para la red, ya que el objetivo de los mismos es sólo sustituir la conexión directa por cable coaxial.

Partiendo del concepto anterior, la segunda forma de configuración para la conexión de una microcélula, que se muestra en la figura IV.13, utilizaría un sistema de distribución de antenas. Este sistema de distribución de antenas cumple con el objetivo de completar la conexión de una cantidad múltiple de antenas a la microcélula, entregando un puerto para cada antena con el mismo nivel de señal, con ello se garantizaría una distribución de señal uniforme a lo largo del inmueble. Antes de explicar esta configuración, comentaremos brevemente los equipos que lo conforman. Este sistema consta de los siguientes equipos: un equipo principal llamado *MAIN HUB*, un equipo secundario llamado *EXPANSION HUB* y una unidad final llamada RAU.

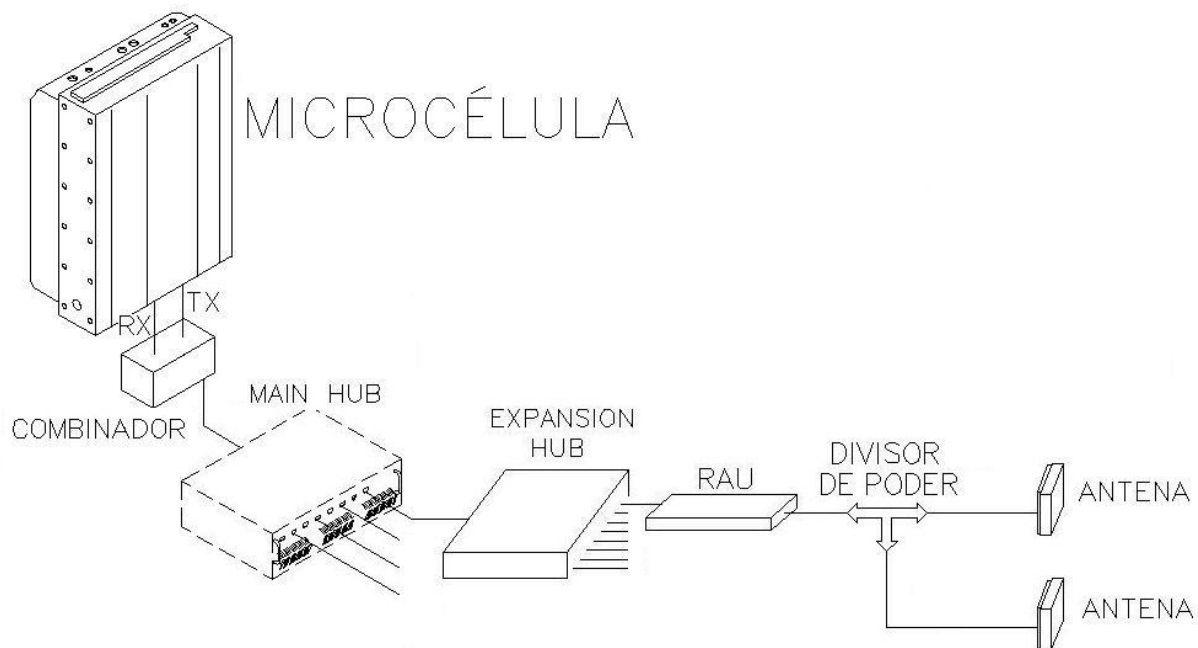


Figura IV.13. Conexión de microcélula y antenas por un sistema de distribución integral.

Cada uno de estos equipos cumple una función específica. El *MAIN HUB* es un repetidor de señal y convertidor de la misma. A la entrada del *MAIN HUB*, se alimenta con una señal analógica proveniente directamente de una microcélula o de una señal de RF mediante una antena receptora, y que es recibida en su puerto TX. Dicha señal es convertida a una señal digital, lista para ser transmitida vía fibra óptica, entregando a la salida 4 puertos de conexión. En el sentido inverso, la señal que recibe del sistema de distribución de antenas, en forma de señal digital, la transforma en una señal analógica y la entrega a través de su puerto RX a la microcélula. Este equipo cuenta con un puerto de monitoreo a través del cual se pueden verificar los estados de las alarmas de los otros elementos del sistema de distribución de antenas.

El *EXPANSION HUB* también es un convertidor de señal, recibe una señal óptica y la transforma a señal eléctrica, para ser transmitida por cable de red (par de cobre), este equipo entrega 8 puertos a la salida.

Finalmente el equipo RAU es el punto final del sistema de distribución de antenas y realiza la función de convertir la señal eléctrica a una señal analógica de radiofrecuencia.

Es conveniente explicar la forma en que se procesa la señal desde que es transmitida del móvil, a través de un sistema de distribución de antenas, hasta la microcélula y en sentido inverso, para ello mostramos en la figura IV.14 un diagrama mas detallado de dicha configuración.

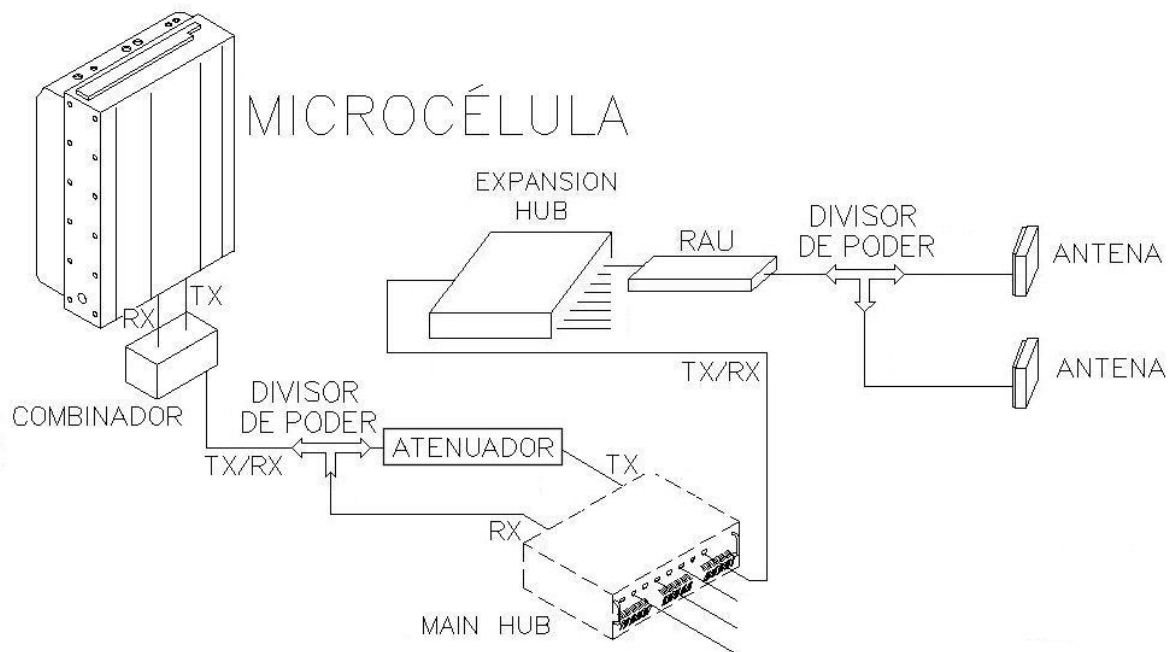


Figura IV.14. Diagrama extendido de un sistema de distribución de antenas.

Considerando el proceso de la señal desde la microcélula al MS, partimos del hecho de que la microcélula entrega dos puertos, uno para transmisión y otro para recepción. Ambas señales se integran por el combinador de señal para obtener un sola señal TX/RX. Posteriormente, esta señal es dividida en dos, entregando dos puertos con el mismo nivel de potencia, mediante un divisor de poder. Uno de estos puertos será usado en el retorno de la señal mientras que el otro será el puerto de entrada al sistema de distribución de antenas, y será conectado mediante un atenuador al puerto de entrada del MAIN HUB. Este atenuador

de señal es requerido para garantizar que el *MAIN HUB* no rebasará el máximo nivel de señal de entrada que recomienda el fabricante. Después de ello, la señal será convertida en señal óptica TX/RX de igual magnitud y fuerza para cada uno de los cuatro puertos ópticos del *MAIN HUB*. Estos puertos se conectarán a su vez, al puerto de entrada del *EXPANSION HUB* para realizar el proceso de conversión de señal óptica a una señal eléctrica TX/RX. El *EXPANSION HUB* entregará 8 puertos con la misma señal, para que cada uno de ellos sea conectado al equipo RAU. La RAU toma esta señal eléctrica TX/RX y la convierte nuevamente en una señal analógica de radiofrecuencia, lista para ser conectada, ya sea directamente a una antena o en su caso, a un divisor de poder para conectar dos antenas. Esta antena final que radiará la señal TX/RX será la que le brinde el servicio al MS ubicado al interior del inmueble.

En el sentido inverso y como segunda parte de nuestra explicación, comentaremos el proceso de viaje de la señal desde el MS a la microcélula. Cuando el MS envía una señal, la antena de servicio la recibe. Después esta señal es introducida al sistema mediante la RAU, que ahora convertirá la señal analógica TX/RX en una señal eléctrica. Ya convertida será transmitida al *EXPANSION HUB*. En el *EXPANSION HUB* la señal TX/RX será convertida en señal óptica y enviada mediante fibra óptica al equipo *MAIN HUB*. En el *MAIN HUB* la señal óptica TX/RX es convertida nuevamente a señal analógica y es entregada a través de su puerto RX al divisor de poder. En esta ocasión la conexión no requiere de ningún atenuador ya que se pretende entregar en la forma más fiel el nivel de señal que esta enviando el MS. Posterior al divisor, tenemos nuevamente un combinador de señal, el cual a través del puerto que está conectado a la microcélula entregará la señal del MS a la red.

Adicionalmente, este tipo de sistema promete una atenuación mínima de la señal a un nivel despreciable, desde la entrada al *MAIN HUB* hasta la salida de la RAU, por lo que la potencia de salida del *MAIN HUB* deberá ser la misma a la salida de la RAU y sólo encontraremos atenuación de la señal debido a pérdidas por cable coaxial, en la conexión entre la salida de la RAU y la entrada del puerto de la antena. Por tal motivo, se concluye que para evitar

pérdidas por trayectorias largas y divisores de potencia, la configuración más adecuada es una microcélula con un sistema de distribución de antenas.

Una vez que se ha determinado que utilizaremos el sistema de distribución de antenas, es necesario elegir los equipos que requeriremos para la implementación de nuestra solución.

En principio, es necesario elegir el sistema de distribución de antenas, para ello se consideran dos marcas existentes, la marca *ADC* y la marca *LGC Wireless*. Es importante mencionar que la marca *ADC* no puede procesar toda la banda de radiofrecuencia que demanda nuestra aplicación, sólo puede manejar simultáneamente 2 ó 3 bandas combinadas. Esta desventaja traería como consecuencia que al usar las 4 bandas de radiofrecuencia que se necesitan para los canales, se tendrían que conectar dos módulos en el que cada uno tenga dos bandas.

Ahora bien, con respecto a las dos marcas de sistemas de distribución de antenas que consideramos, también es importante verificar los costos que cada uno implica. Para ello presentamos la tabla IV.5, que contiene los costos de cada marca del sistema de distribución.

Descripción del Equipo	Costo (USD)	
	Marca <i>ADC</i>	Marca <i>LGC Wireless</i>
<i>MAIN HUB</i> (2 Unidades, 1 Unidad)	\$10,000	\$5,400
<i>EXPANSION HUB</i>	\$5,000	\$4,800
Unidad de Antena Remota (RAU)	\$1,200	\$1,200
Total	\$16,200	\$11,400

Tabla IV.5. Comparación de costos de los sistemas de distribución de antenas.

De la tabla anterior, podemos destacar que los costos varían por \$4,800 USD, siendo el sistema de distribución de antenas de la marca *LGC Wireless* más económico, recalando que en esta tabla sólo consideramos el equipo básico. Ahora bien, es importante considerar

que debido a que la marca *ADC* trabaja con bandas separadas, la longitud en el cableado y el número de antenas a utilizar se incrementa y con ello el costo también se eleva.

Cabe destacar, que la marca *LGC Wireless* cuenta con convenios comerciales vigentes con el operador de la red GSM.

Con base en lo mencionado anteriormente, se concluye que utilizaremos el sistema de distribución de antenas de la marca *LGC Wireless*, por los beneficios técnicos y económicos que implica, además de existir un compromiso comercial entre dicha marca y el operador.

Una vez seleccionado el sistema de distribución de antenas a utilizar, ahora nos corresponde elegir el tipo de microcélula que adoptaremos.

Es importante considerar que si el sistema de distribución de antenas cuenta con una potencia de 30 dBm a la entrada, con ello podemos garantizar que el equipo RAU entregue a su salida los 20 dBm mínimos necesarios para cada antena. Ahora bien, partiendo de este requerimiento técnico, establecido por el sistema de distribución de antenas, es importante que la microcélula proporcione a su salida una potencia mínima de 30 dBm.

Existen algunas opciones de microcélula en el mercado nacional que nos proporcionan las características requeridas, dichas opciones se muestran en la tabla IV.6. De los modelos que presentamos, dos de ellos son de la marca *Ericsson* y otro es de la marca *Nokia*.

Marca	Modelo	Potencia (dBm)	Costo (USD)
<i>ERICSSON</i>	<i>MICRO 884</i>	29	\$18,000
<i>ERICSSON</i>	<i>2308</i>	30	\$19,250
<i>NOKIA</i>	<i>ULTRA SITE INDOOR</i>	43.5	\$25,000

Tabla IV.6. Modelos de microcélulas.

Con respecto al modelo *Ericsson 884*, es importante mencionar que no es propiamente tecnología GSM, aunque trabaja en la misma frecuencia de GSM, además es tecnología digital. Por estos motivos dicho modelo no es opción para nuestro diseño.

Los modelos de microcélula que cumplen con los requerimientos técnicos antes mencionados son, el 2308 de *Ericsson* y *Ultra Site Indoor* de *Nokia* con 30 y 43.5 dBm de potencia respectivamente. Ambos modelos cumplen con la potencia mínima que el sistema de distribución de antenas demanda.

Ahora bien, analizando la diferencia en costos de los modelos de microcélula, de la tabla IV.6, observamos una diferencia considerable, ya que el costo del modelo de la marca *Nokia* supera por \$5,750 USD al modelo 2308 de *Ericsson*.

En definitiva, el modelo 2308 de *Ericsson* es más económico que el modelo *Nokia*. Asimismo, ambos modelos, el 2308 de *Ericsson* y el de *Nokia*, cumplen con los requerimientos de potencia mínima de 30 dBm a la salida. Considerando además que entre la empresa *Ericsson* y el operador de la red GSM existen convenios comerciales, concluimos que el modelo a utilizar en nuestra implementación es el *Ericsson 2308*.

Después de haber especificado los equipos que se usarán en la implementación de la solución, se propone un prediseño, con el fin de que sea base para los cálculos de cobertura; persiguiendo el objetivo de cumplir con un nivel mínimo de señal que cumpla la relación C/I mayor o igual a los 9 dB con respecto a las señales presentes de otros servidores, ya que es ésta la relación requerida para evitar la interferencia Co-canal, recomendada para el diseño de una red GSM, según el estándar para GSM de la ETSI. Este prediseño se determina considerando dos aspectos que tomaremos como principio para solucionar los problemas de múltiples servidores. Primero se pretende brindar una cobertura de manera uniforme en cada uno de los pisos que presentan problemas dentro del corporativo. Y segundo, debido a que se desea crear una cobertura con tecnología de microcélula en el interior para solucionar las múltiples señales presentes, se debe tomar como límite el perímetro de cada piso y a partir

de esa línea garantizar una señal más fuerte que delimite perfectamente la cobertura al interior del corporativo.

Para lograr cumplir ambos aspectos proponemos un arreglo de 4 antenas direccionales por piso las cuales estarán ubicadas en cada extremo del piso del inmueble. Aprovechando que los pisos son casi cuadrados, esta configuración es propicia. Las antenas que se proponen son direccionales, ya que con estas resulta más accesible controlar la proyección de la radiofrecuencia. Dado que las antenas propuestas tienen una apertura horizontal de 80 grados, resulta favorable para realizar una cobertura mas uniforme, desde la periferia hacia el centro de cada piso dentro del inmueble. Un ejemplo de esta configuración por piso, se muestra en la figura IV.15. En esta configuración podemos ver que las antenas proyectan la señal de radiofrecuencia al centro del piso y que existe un traslape entre cada lóbulo de antena para garantizar que no halla espacios sin cubrir. Cabe resaltar que el traslape entre lóbulos no causará ningún inconveniente ya que se trata de la misma señal y el mismo canal, por lo que para los MS y las antenas de servicio, esto es transparente, de ahí que el MS no requiere hacer *Handover*.

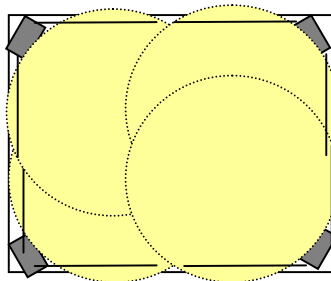


Figura IV.15. Arreglo de 4 antenas direccionales.

Ahora bien, habiendo seleccionado la configuración del sistema y el equipo que se usará procederemos a explicar que cableado y conectores serán necesarios para la interconexión de los equipos.

Para la interconexión de los siguientes elementos, la microcélula con el combinador, el combinador con los *MAIN HUB* y del RAU a las antenas, se usa cable coaxial, debido a que

éste es más conveniente para transmitir señales eléctricas de radiofrecuencia. El cable coaxial consiste de un conductor de cobre rodeado de una capa de aislante flexible; el conductor central también puede ser hecho de un cable de aluminio cubierto de estaño que permite que el cable sea fabricado de forma económica. Sobre este material aislante existe una malla de cobre tejida u hoja metálica que actúa como el segundo hilo del circuito y como un blindaje para el conductor interno. Esta segunda capa, o blindaje, también reduce la cantidad de interferencia electromagnética externa. Cubriendo la pantalla está la chaqueta del cable. En la figura IV.16 se muestra una imagen descriptiva del cable coaxial.

Los estándares más populares para cable coaxial son el fino (*thinnet*) o 10Base2 y el grueso (*thicknet*) o 10Base5; las diferencias entre ellos son el grosor de dichos cables, así como el ancho de banda que soportan y la longitud que pueden alcanzar. El cable coaxial fino alcanza longitudes de 150 m por segmento, con anchos de banda de 400 MHz, para una transmisión de datos sin pérdidas considerables, mientras que el cable coaxial grueso puede llegar a los 500 m por segmento, alcanzando anchos de banda de 800 MHz. La atenuación promedio para el cable coaxial fino, en un rango de 400 MHz, es de alrededor de los 0.35 dB/m.

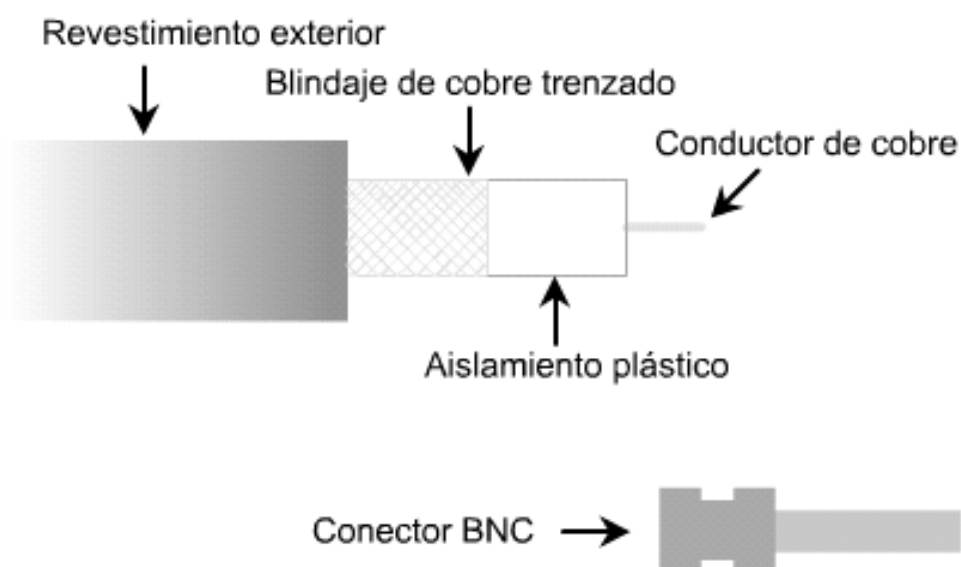


Figura IV.16. Cable coaxial.

Para la conexión física hacia los equipos se utiliza un conector denominado BNC (de acuerdo a las siglas de Bayone-Neill-Concelman). Estos conectores pueden ser de tres tipos: normal, terminadores y conectores en T, como lo ilustra la figura IV.17. De acuerdo a nuestro diseño y las características de los equipos utilizados, usaremos el conector BNC normal con cable coaxial 10Base2.

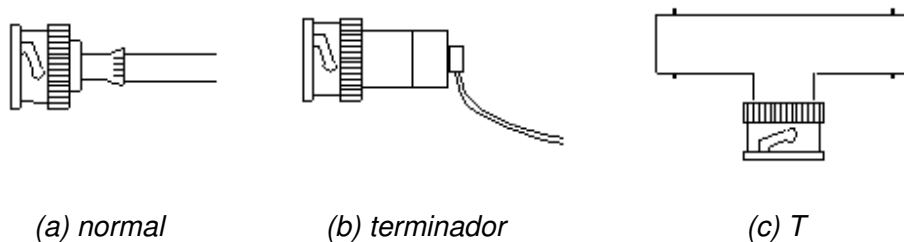


Figura IV.17. Tipos de conectores BNC para cable coaxial.

Por otra parte, en la conexión del *MAIN HUB* al *EXPANSION HUB* la conexión se hace mediante fibra óptica, dado que no presenta tanta atenuación a mayores distancias y la velocidad de transferencia es mucho más rápida. El tipo de fibra que se utiliza es multimodo, que a diferencia de las fibras monomodo transmite más de un haz de luz a través de su núcleo. Por otro lado, la fibra multimodo puede transmitir la señal hasta una distancia de 2 km, en tanto que la fibra monomodo puede alcanzar los 100 km, sin amplificadores de por medio. Otra diferencia significativa es el costo, ya que la fibra monomodo es muchos más cara que la fibra multimodo. Dados todos estos elementos, y considerando que para nuestro diseño no necesitamos transmitir datos por la fibra óptica, a grandes distancias, optamos por trabajar con la fibra multimodo; lo que reduce costos y no impacta en la calidad del servicio. En la figura IV.18 se muestra una imagen descriptiva de la fibra óptica multimodo.

Para nuestro diseño se requiere utilizar un par de fibras ópticas multimodo, una para transmisión y otra para recepción. La fibra óptica multimodo estándar es la más utilizada, posee un núcleo de 62.5 ó 50 μm y un revestimiento de 125 μm de diámetro, que según la descripción comercial, se clasifican como de 62.5/125 ó 50/125 μm . La fibra multimodo tiene una atenuación promedio de 0.5 dB/km.

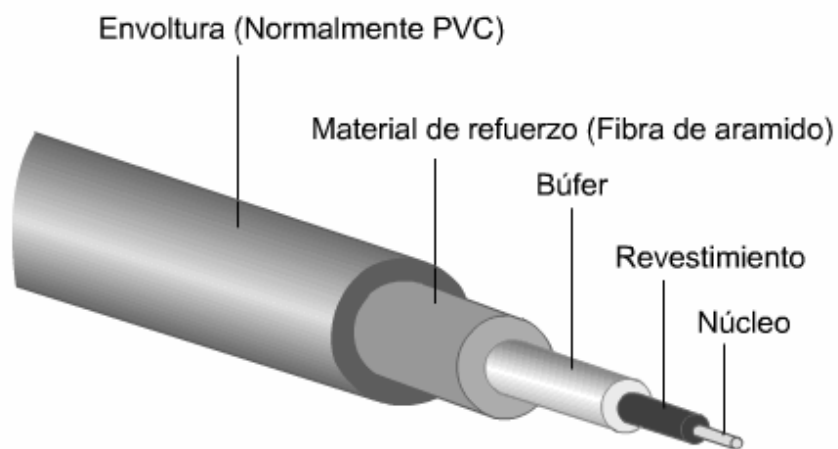


Figura IV.18. Fibra óptica.

Existen dos tipos de conectores de fibra óptica: el SC y el ST, siendo el conector ST el más utilizado en la industria. El conector ST es del tipo *locking (push/pull)*, figura IV.19 (a), en tanto que los conectores SC son del tipo locking, estilo bayoneta, figura IV.19 (b). Dadas las características, tanto del MAIN HUB como del EXPANSION HUB, en las conexiones de ambos equipos usaremos conectores ST.

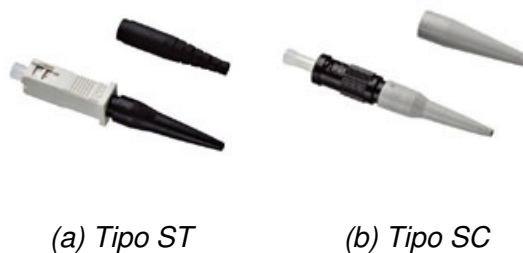


Figura IV.19. Tipos de conectores para fibra óptica.

Para la conexión de los *EXPANSION HUB* a los RAUs se utiliza par de cobre, esto es debido a que la señal todavía sigue siendo digital pero ya no existe la problemática de la distancia. El estándar para este tipo de cableado es el cable de Par Trenzado Blindado (STP), que combina las técnicas de blindaje, cancelación y trenzado de cables. Cada par de hilos está envuelto en un papel metálico, cuenta con 4 pares y cada par de hilos de cobre están

envueltos juntos en una trenza o papel metálico; En general, este tipo de cable tiene una impedancia de 150 ohms.

Un híbrido de Par Trenzado sin Blindaje (UTP) con STP tradicional se denomina UTP apantallado, conocido también como Par Trenzado de Papel Metálico (ScTP). El ScTP consiste, básicamente, en cable UTP envuelto en un blindaje de papel metálico. ScTP, como UTP, tiene una impedancia característica de 100 ohms. Cabe mencionar que muchos fabricantes e instaladores de cables pueden usar el término STP para describir el cable ScTP. La figura IV.20 muestra una imagen descriptiva del cable ScTP.

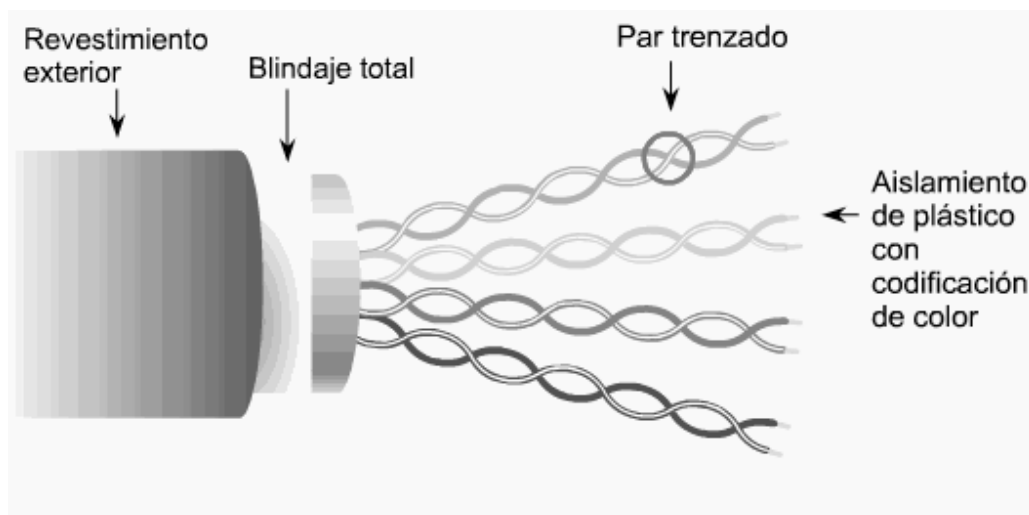


Figura IV.20. Cable ScTP.

Los conectores usados para cable ScTP son del tipo RJ-49, figura IV.21. Estos conectores, al igual que los RJ-45 comunes usados para cable UTP, están compuestos de 8 vías con 8 muescas. Además de ello, está recubierto con una platina metálica para que haga contacto con la que recubre el cable ScTP.

Los materiales metálicos de blindaje utilizados en STP y ScTP deben estar conectados a tierra en ambos extremos. Si no están adecuadamente conectados a tierra o si hubiera discontinuidades en toda la extensión del material del blindaje, el STP y el ScTP se pueden

volver susceptibles a graves problemas de ruido. La distancia máxima para transmisión de datos soportada por este tipo de cableado es de 100 m, siendo la atenuación que presenta de alrededor de 0.21 dB/m, para una frecuencia de 300MHz.

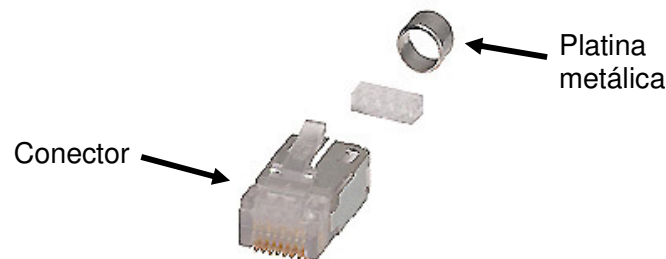


Figura IV.21. Conector RJ-49.

Debido a que el costo en el mercado para el cable de STP es mucho mayor al del ScTP, el cableado que ocuparemos para la interconexión del *EXPANSION HUB* al RAU será del tipo ScTP.

Para determinar si con las cuatro antenas básicas por piso son suficientes para alcanzar la cobertura deseada, se deben realizar cálculos de cobertura.

IV.3.1. Cálculo de la cobertura

El cálculo de cobertura por radiofrecuencia en el interior del corporativo, tiene por objetivo determinar el nivel de señal que recibiremos en un MS dentro del inmueble, a cualquier distancia de la antena de servicio. Con ello comprobaremos si el nivel de señal se encuentra dentro del rango mínimo requerido para solventar el problema de presencia de múltiples señales de diferentes servidores.

Antes de proceder con el cálculo, describiremos los parámetros de diseño que el cálculo debe cumplir, así como los conceptos teóricos recomendados por el fabricante para realizar dicho cálculo.

Considerando las características técnicas del equipo y en especial las correspondientes al sistema de distribución de antenas, recalcamos que la potencia de salida del equipo *MAIN HUB* es igual al nivel en la salida de la RAU, por tal motivo el cálculo se llevará a cabo considerando el tramo de la RAU a la antena de servicio y finalmente hasta el MS, como se muestra en la figura IV.22.

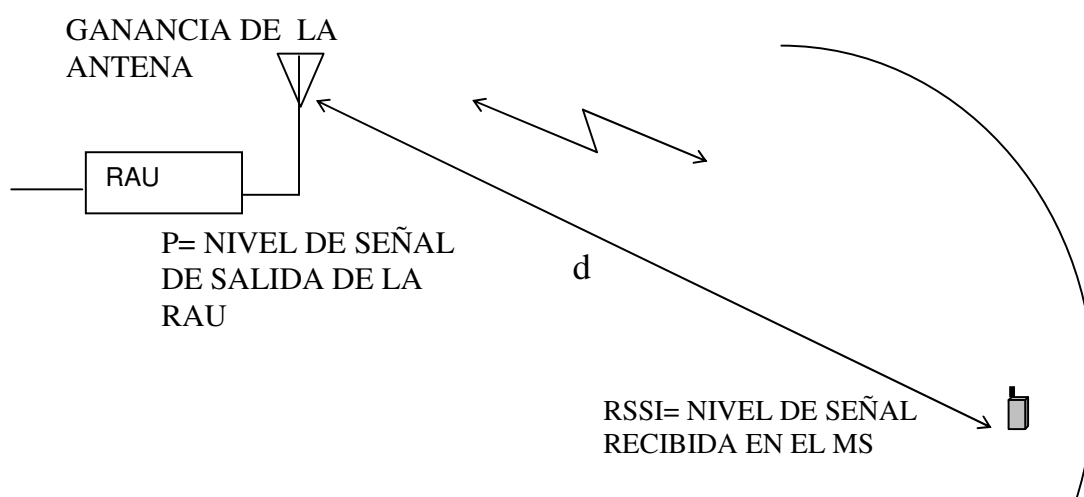


Figura IV.22. Trayectoria para determinar niveles de señal.

Con el fin de presentar el proceso del cálculo de una forma accesible, lo hemos dividido en tres pasos: el primero servirá para obtener las pérdidas desde la salida de la RAU hasta llegar a la antena de servicio, el segundo paso será calcular las pérdidas por los materiales (PMAT) existentes en el interior del inmueble, a lo largo de la trayectoria de la señal, desde la antena de servicio hasta el MS, y finalmente calcularemos las pérdidas de la señal en el espacio libre. Con base en el proceso descrito, al final determinaremos el nivel de señal en el MS, tomando como referencia al MS ubicado en un punto lejano, el cual llamaremos Punto Crítico.

Para obtener las pérdidas desde la RAU a la entrada de la antena, aplicaremos la suma de ganancias de la RAU y restaremos las pérdidas por cable coaxial y conexiones, según los valores indicados por los fabricantes. Un concentrado de valores es mostrado en la tabla IV.7.

DESCRIPCIÓN	VALOR [dB]
Ganancia de la RAU	+20
Pérdida por cable coaxial 7/8 [m]	-0.0611
Pérdida por conectores	-0.05
Pérdida por divisor de poder	-3

Tabla IV.7. Pérdidas por equipo y material.

La relación de Ganancias y pérdidas de conexión entre la RAU y la entrada a la antena está dada por la expresión:

$$NIVEL_{ANTSERV} = G_{RAU} + L_{COAX} + L_{CONECTOR} + L_{DIV} \quad (IV.1)$$

En donde:

$NIVEL_{ANTSERV}$ = Nivel de señal a la entrada de la antena.

G_{RAU} = Ganancia del equipo RAU.

L_{COAX} = Pérdidas en la trayectoria del cable coaxial.

$L_{CONECTOR}$ = Pérdidas por conexión de conectores.

L_{DIV} = Pérdidas por conexión del divisor de poder.

Para las pérdidas por los materiales, ocuparemos los datos presentados en la tabla IV.8. En ella se proporcionan valores estandarizados de pérdidas por materiales en el interior de un inmueble, considerando paredes, equipos, cubículos, paredes falsas, racks, etc.

Para determinar las pérdidas en la señal, a causa de los materiales y muebles, necesitamos visualizar el tipo de ambiente que predomina en el interior del corporativo. El aplicar los valores de esta tabla simplifica significativamente el proceso del cálculo, ya que de lo contrario sería necesario contar con un plano estructural por piso y realizar un levantamiento minucioso durante la visita al inmueble para determinar la trayectoria a calcular y contabilizar los obstáculos que provocarán pérdidas. Con la ayuda de estos valores estandarizados, sólo seleccionamos el tipo de ambiente que corresponde por piso y se incluye en el cálculo.

TIPO DE AMBIENTE	DESCRIPCIÓN	(PMAT) PÉRDIDAS PARA SEÑALES EN 800/900 MHz, en dBm	(PMAT) PÉRDIDAS PARA SEÑALES EN 1800/1900 MHz, en dBm
Ambiente abierto. Con pocos obstáculos	Centro de convenciones, estacionamiento	-33.7	-30.1
Moderadamente abierto. De pocos a regular número de obstáculos	Almacén, Aeropuerto, Fábrica	-35	-32
Ambiente ligeramente denso. Con regular número de obstáculos	Oficinas con 80% de cubículos y 20% de oficinas cerradas	-36.1	-33.1
Ambiente moderadamente denso. De regular a un alto número de obstáculos	Oficinas con 50% de cubículos y 50% de oficinas cerradas	-37.6	-34.8
Ambiente denso. Con alta cantidad de obstrucciones	Hospitales, Oficinas con 20% de cubículos y 80% de oficinas cerradas	-39.4	-38.1

Tabla IV.8. Pérdidas estimadas en interiores.

Finalmente, como paso tres, realizamos el cálculo donde se definen las pérdidas de la señal en el espacio libre y las pérdidas por materiales hasta el punto crítico donde se encuentra el MS, las cuales se calculan en decibeles, en la ecuación IV.2 obtenemos el valor del nivel de señal recibido en el MS. Para estos cálculos aplicamos la formula recomendada por el fabricante *LGC Wireless*, según el manual de diseño, en donde tenemos:

$$L = 20\log(4\pi f / c) + P_{MAT} + 20\log(d) \quad (IV.2)$$

En donde:

L = Nivel de señal recibido en un MS [dBm].

f = Frecuencia de operación de la red GSM [hertz].

c = La velocidad de la luz en el vacío (3.0×10^8 m/s).

d = Distancia entre la antena de servicio y el MS en el punto crítico [m].

Para simplificar el proceso de estimación de valores, mostramos la tabla IV.9, en la que se presenta el valor correspondiente al primer término de la ecuación, dependiendo la tecnología a usar.

TECNOLOGÍA	BANDA MEDIA [MHz]	CONSTANTE [dB]
800 MHz iDEN	837.5	30.9
900 MHz GSM	925	31.8
900 MHz EGSM	920	31.7
1800 MHz DCS	1795	37.5
1900 MHz GSM	1920	38.1
2.1 GHz UMTS	2045	38.7

Tabla IV.9. Constantes estimadas para el primer término de la ecuación IV.2.

Debido a que la tecnología que estamos usando es la de GSM sustituiremos el primer término de la ecuación IV.2 por 38.1 dB, y obtenemos la siguiente expresión:

$$L = 38.1 + P_{MAT} 20 \log(d) \quad (IV.3)$$

Finalmente, obtendremos el nivel de señal percibido por el MS hasta un punto crítico, considerando la siguiente sumatoria:

$$NIVEL_{PC} = NIVEL_{ANTSERV} + G_{ANTSERV} + L \quad (IV.4)$$

En donde:

$NIVEL_{PC}$ = Nivel de señal en el punto crítico.

$NIVEL_{ANTSERV}$ = Nivel de señal recibido en la antena de servicio.

$G_{ANTSERV}$ = Ganancia de la antena de servicio.

L = Pérdidas en el espacio libre.

Este valor sirve para comprobar que el diseño cumple con el nivel mínimo de señal requerido. Para ello, presentaremos dos valores teóricos, el primero indicará el nivel de señal

recibido en la antena de servicio y el otro será el obtenido en el punto crítico donde se encuentra el MS.

Antes de proceder con el cálculo mencionado, presentamos un diagrama esquemático, donde ejemplificamos la distribución propuesta de antenas, de acuerdo a la figura IV.23. La distribución propuesta se tomó con el objetivo de delimitar el perímetro que abarca la cobertura *indoor* de la microcélula, y sólo en caso de que el nivel de señal en un punto crítico no resulte satisfactorio con respecto al mínimo requerido, podría ser necesario incrementar el número de antenas. Este diagrama será representativo para la mayoría de los pisos, a excepción de aquellos donde la distribución o el tipo de antena cambien.

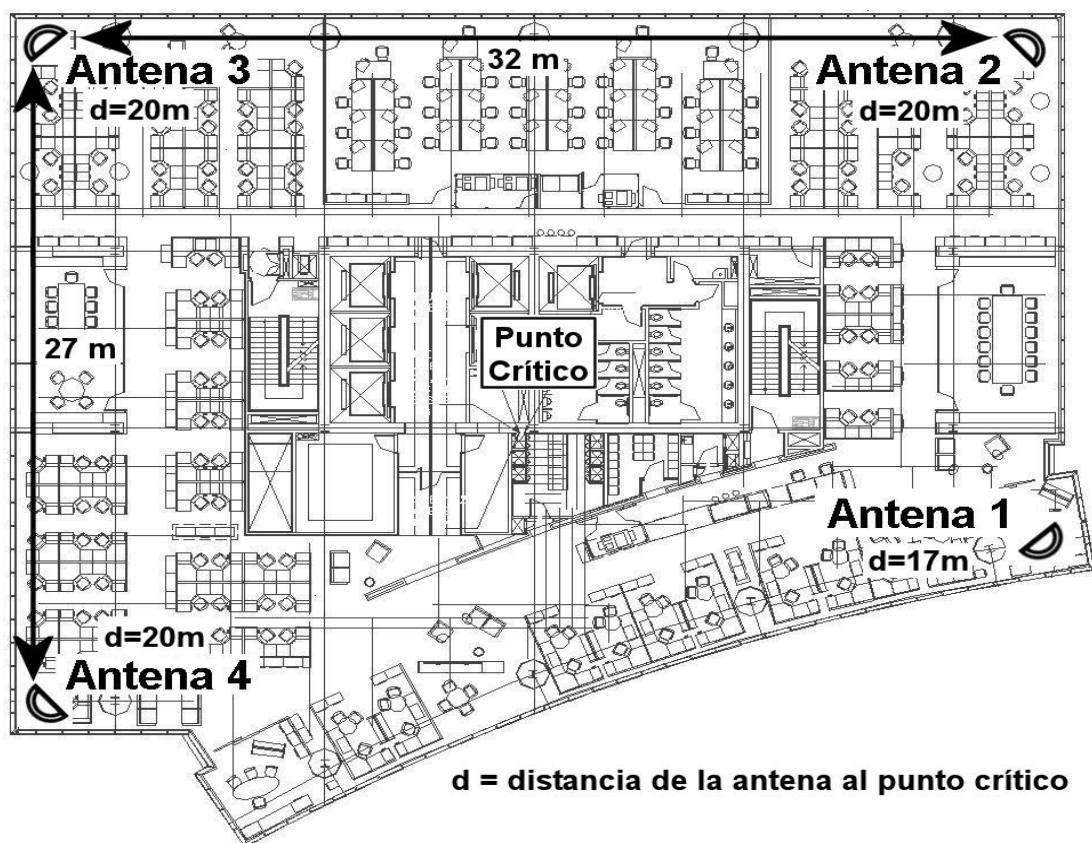


Figura IV.23. Diagrama de ubicación para 4 antenas.

Para iniciar con el primer paso del proceso, consideramos una trayectoria de cable coaxial de 18 metros de longitud desde la RAU hasta la antena, y que en cada RAU se conectarán 2 antenas con la ayuda de un divisor de poder. Esta consideración será válida para cada piso que requiere de implementar una solución, los cuales son del piso 11 al piso 33 del inmueble.

Considerando los valores presentados en la tabla IV.7, y sumando los valores de la ganancia, restando las pérdidas existentes entre la RAU y la antena, y sustituyendo los datos mencionados en la fórmula IV.1, obtenemos los valores de nivel de señal para cada antena:

$$\text{Para la antena 1} \quad \text{NIVEL}_{\text{ANTSERV}} = 20 + (-1.0998) + (-1) + (-3) = 14.90 \text{ dBm}$$

$$\text{Para la antena 2} \quad \text{NIVEL}_{\text{ANTSERV}} = 20 + (-1.0998) + (-1) + (-3) = 14.90 \text{ dBm}$$

$$\text{Para la antena 3} \quad \text{NIVEL}_{\text{ANTSERV}} = 20 + (-1.0998) + (-1) + (-3) = 14.90 \text{ dBm}$$

$$\text{Para la antena 4} \quad \text{NIVEL}_{\text{ANTSERV}} = 20 + (-1.0998) + (-1) + (-3) = 14.90 \text{ dBm}$$

Los valores calculados son válidos para verificar los niveles de señal reales obtenidos a la entrada de la antena de servicio. Comparando entre el valor calculado y el real, podemos confirmar que el nivel de señal del sistema de distribución de antenas se mantiene distribuido de una manera uniforme.

Para el segundo paso, y refiriéndonos a la tabla IV.8, identificamos que el tipo de ambiente predominante en el interior del inmueble es un ambiente ligeramente denso y con regular número de obstáculos, ya que cuenta en su mayoría con 80% de cubículos y 20% oficinas, por lo que el valor estándar considerado como pérdida por materiales será de -33.1 dBm.

Con base en el valor definido el párrafo anterior, en el tercer paso calculamos las pérdidas desde la antena de servicio hasta el punto crítico especificado. Retomando la fórmula IV.3 y IV.4 y sustituyendo valores, tenemos:

Para la antena 1 $L = 38.1 + (-33.1) \times \text{Log} (17) = -75.83 \text{ dBm}$
 $\text{NIVEL}_{\text{PC}} = 14.90 + 3 + -75.83 = \mathbf{-57.93 \text{ dBm}}$

Para la antena 2 $L = 38.1 + (-33.1) \times \text{Log} (20) = -78.16 \text{ dBm}$
 $\text{NIVEL}_{\text{PC}} = 14.90 + 3 + -78.16 = \mathbf{-60.26 \text{ dBm}}$

Para la antena 3 $L = 38.1 + (-33.1) \times \text{Log} (20) = -78.16 \text{ dBm}$
 $\text{NIVEL}_{\text{PC}} = 14.90 + 3 + -78.16 = \mathbf{-60.26 \text{ dBm}}$

Para la antena 4 $L = 38.1 + (-33.1) \times \text{Log} (20) = -78.16 \text{ dBm}$
 $\text{NIVEL}_{\text{PC}} = 14.90 + 3 + -78.16 = \mathbf{-60.26 \text{ dBm}}$

Estos resultados nos permite verificar que el nivel de señal obtenido es válido como nivel mínimo para resolver los problemas de presencia de múltiples señales de diferentes servidores, ya que cumple con lo indicado en las recomendaciones para diseño de una red en GSM, de $C/I \geq 9 \text{ dB}$. Esta recomendación es aplicable para evitar la interferencia Co-canal, por lo que considerando que el nivel de señal más fuerte de los múltiples servidores obtenido durante la evaluación de los problemas dentro del inmueble, se obtuvo en el piso 11 y fue de -70 dBm , como se muestra en la tabla IV.2, por lo que tomando este valor y el nivel de señal mas crítico obtenido del cálculo para la antena 4, aplicamos una suma algebraica de los valores absolutos para obtener la diferencia entre ambos y comparado el resultado contra el valor de la recomendación de C/I , observamos que dicha recomendación se cumple ($70-60.26= 9.74$). Con base a lo anterior determinamos que el arreglo de cuatro antenas será útil para los pisos cerrados que sean similares al diagrama representativo mostrado en la figura IV.23.

Por otro lado, para los pisos en los que se consideran 2 antenas, presentamos la propuesta de la figura IV.24, en la cual las antenas están ubicadas en los extremos de la parte frontal de piso, ya que la parte posterior del piso es abierta y las antenas del piso superior son las que brindaran señal de cobertura.

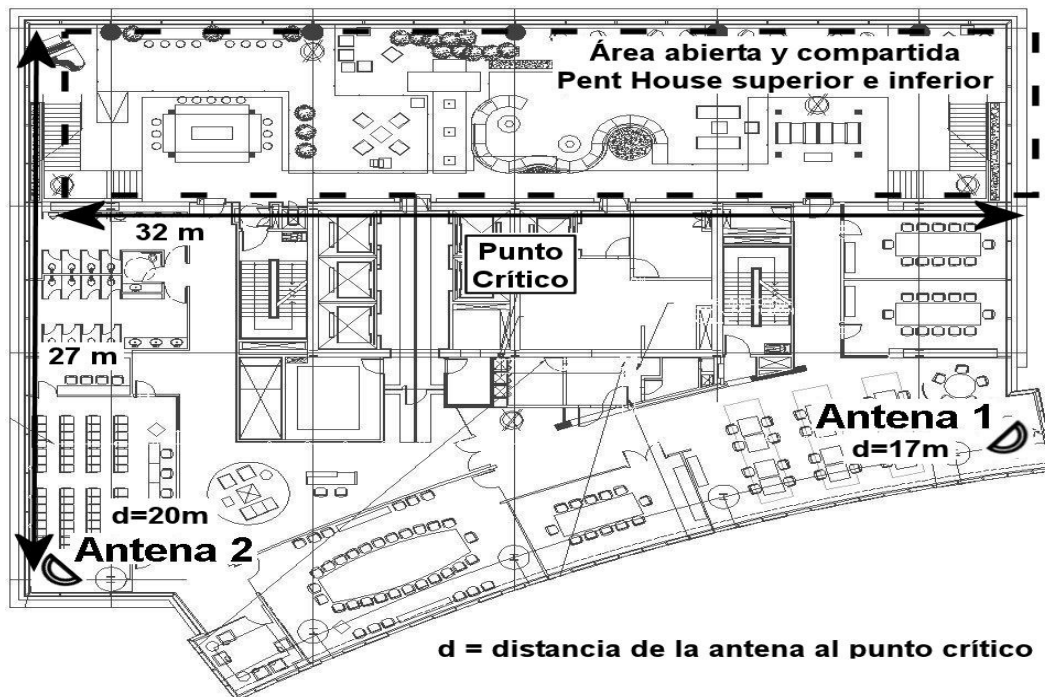


Figura IV.24. Diagrama de ubicación para 2 antenas.

Considerando los valores presentados en la tabla IV.7, sumando los valores de la ganancia y restando las pérdidas existentes entre la RAU y la antena, sustituimos nuevamente en la fórmula IV.1, lo que nos arroja los siguientes niveles de señal en la antena de servicio:

$$\text{Para la antena 1} \quad \text{NIVEL}_{\text{ANTSERV}} = 20 + (-1.0998) + (-1) + (-3) = 14.90 \text{ dBm}$$

$$\text{Para la antena 2} \quad \text{NIVEL}_{\text{ANTSERV}} = 20 + (-1.0998) + (-1) + (-3) = 14.90 \text{ dBm}$$

Los valores calculados son válidos para verificar los niveles de señal reales obtenidos a la entrada de la antena de servicio. Comparando entre el valor calculado y el real, podemos confirmar que el nivel de señal del sistema de distribución de antenas se mantiene distribuido de una manera uniforme.

Para el segundo paso, y refiriéndonos a la tabla IV.8 identificamos que el tipo de ambiente predominante en este piso del inmueble es un ambiente ligeramente denso y con regular

número de obstáculos, ya que cuenta en su mayoría con 80% de cubículos y 20% oficinas, por lo que el valor estándar considerado como pérdida por materiales será de -33.1 dBm.

Con base en el valor definido en el párrafo anterior, en el tercer paso calculamos las pérdidas desde la antena de servicio hasta el punto crítico especificado, para finalmente concluir cual es el nivel de señal en el punto crítico para el MS. Retomando las formulas IV.3 y IV.4, sustituimos los valores y obtenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Para la antena 1} \quad L &= 38.1 + (-33.1) \times \text{Log}(17) = -75.83 \text{ dBm} \\ \text{NIVEL}_{\text{PC}} &= 14.90 + 3 + -75.83 = \mathbf{-57.93 \text{ dBm}} \\ \text{Para la antena 2} \quad L &= 38.1 + (-33.1) \times \text{Log}(20) = -78.16 \text{ dBm} \\ \text{NIVEL}_{\text{PC}} &= 14.90 + 3 + -78.16 = \mathbf{-60.26 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

Observamos que para los pisos abiertos el arreglo de dos antenas direccionales cumple con los niveles mínimos de señal.

Finalmente, para los sótanos, que son pisos subterráneos y que presentan falta de cobertura, así como se muestra previamente en la tabla IV.2, determinaremos el nivel de señal mínimo aceptable según los estándares de MS para GSM, que indican que un MS puede enlazarse a la red GSM y realizar llamadas con un mínimo de señal sin interferencia de -96 dBm, por lo tanto este nivel de señal será el mínimo a cumplir como nivel diseño en los sótanos.

Para proceder con el cálculo, en la figura IV.25 presentamos el diagrama de ubicación de las antenas en los sótanos. Para el diseño en sótanos, proponemos instalar 2 antenas omnidireccionales conectadas cada una a una RAU con un cable coaxial de 20 metros, ya que en los sótanos al ser 100% cerrados no corremos el riesgo de que la señal salga por los laterales, por lo tanto la señal se queda encerrada sin causar interferencias al exterior.

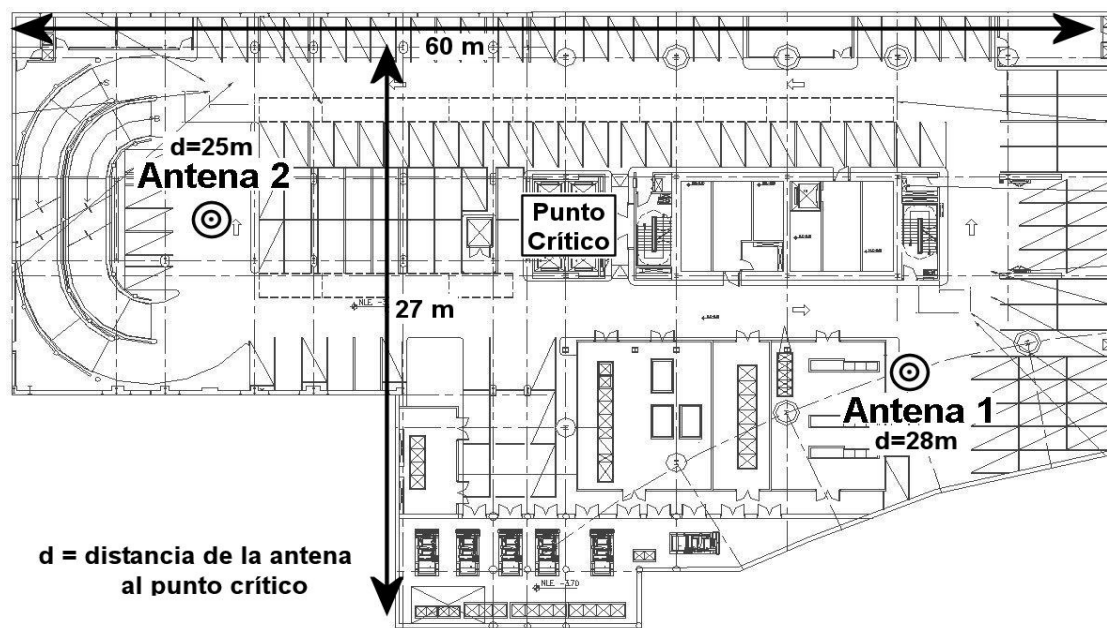


Figura IV.25. Diagrama de ubicación de antenas para los sótanos.

Considerando los valores presentados en la tabla IV.7, sumando los valores de la ganancia y restando las pérdidas existentes entre la RAU y la antena, sustituimos nuevamente en la fórmula IV.1 los valores para cada antena y obtenemos los niveles de señal de servicio:

Para la antena 1 $NIVEL_{ANTSERV} = 20 + (-1.22) + (-1) + (-0) = 17.78 \text{ dBm}$

Para la antena 2 $NIVEL_{ANTSERV} = 20 + (-1.22) + (-1) + (-0) = 17.78 \text{ dBm}$

Los valores calculados son válidos para verificar los niveles de señal reales obtenidos a la entrada de la antena de servicio. Comparando entre el valor calculado y el real, podemos confirmar que el nivel de señal del sistema de distribución de antenas se mantiene distribuido de una manera uniforme.

Para el segundo paso identificamos, de la tabla IV.8, que el tipo de ambiente predominante en este piso del inmueble es un ambiente abierto con pocos obstáculos, ya que es parte de la recepción del inmueble, por lo que el valor estándar considerado como pérdida por materiales será de -30.1 dBm.

Para el tercer paso calculamos las pérdidas desde la antena de servicio hasta el punto crítico especificado y finalmente concluir cual es el nivel de señal en el punto crítico para el MS. Retomando las formulas IV.3 y IV.4, sustituimos los valores y obtenemos:

$$\begin{aligned} \text{Para la antena 1} \quad L &= 38.1 + (-30.1) \times \text{Log}(28) = -62.20 \text{ dBm} \\ \text{NIVEL}_{PC} &= 17.78 + 1 + -62.20 = \mathbf{-43.42 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Para la antena 2} \quad L &= 38.1 + (-30.1) \times \text{Log}(25) = -58.79 \text{ dBm} \\ \text{NIVEL}_{PC} &= 17.78 + 1 + -58.79 = \mathbf{-40.01 \text{ dBm}} \end{aligned}$$

Por los cálculos anteriores concluimos que las dos antenas omnidireccionales son más que suficientes para dar cobertura a cada uno de los sótanos dentro del corporativo, ya que se obtiene un valor del nivel de señal mejor que -96 dBm .

Con base en los cálculos anteriores se determina un diseño que incluye un arreglo de 4 antenas para los pisos 12 al 31 y el piso 33, por ser todos pisos independientes con la misma distribución de oficinas y cubículos; mientras que para los pisos 11 y 32 se propone el arreglo de 2 antenas direccionales en la parte frontal, ya que en la parte trasera reciben cobertura de las antenas del piso superior, y finalmente para los sótanos la propuesta de 2 antenas omnidireccionales es válida para proveer la cobertura.

IV.3.2. Diagrama de diseño

Como respuesta a la necesidad del corporativo de incrementar la calidad de servicio *indoor*, solucionar la presencia de múltiples servidores y brindar una cobertura uniforme dentro del inmueble, definiremos la propuesta de diseño.

Los pisos que contarán con 4 antenas son un total de 21, con un divisor de poder cada dos antenas y dos RAUs por piso; lo anterior nos lleva a un total de 84 antenas direccionales, 42 divisores de poder y 42 RAUs.

Los pisos que contarán con 2 antenas son un total de 4, dos niveles de sótano, y los niveles 11 y 32. En los niveles 11 y 32 se colocarán dos antenas por piso, un divisor de poder por cada dos antenas y un RAU por piso. En los sótanos se usarán antenas omnidireccionales, dos por cada sótano, y serán conectadas directamente a los RAUs; lo anterior nos lleva a un total de 4 antenas direccionales, 4 antenas omnidireccionales, 2 divisores de poder y 6 RAUs.

Para conectar los RAUs a los *EXPANSION HUB* se usará cable de cobre ScTP y para la conexión del divisor de poder a la antena se usará cable coaxial.

Para calcular la cantidad de *EXPANSION HUB* necesarios, primero tenemos que contemplar que entre el piso 11 y los sótanos la distancia es muy larga, por lo que se recomienda que el único tipo de cableado que recorra esa distancia sea la fibra óptica. Teniendo en cuenta que los *EXPANSION HUBs* sólo soportan 8 RAUs, para los 48 RAUs que serán instalados, basta con colocar 6 *EXPANSION HUBs*, pero debido a las distancias que se requieren cubrir para los sótanos es conveniente colocar dos *EXPANSION HUBs* en sótanos en vez de uno solo, por lo tanto serán usados un total de 7 *EXPANSION HUBs*.

Con base en el análisis anterior enlistamos a continuación la cantidad de equipo que será requerido para la implementación de la solución por Microcélula *indoor*:

- 1 Microcélula
- 2 *MAIN HUBs* y 7 *EXPANSION HUBs*
- 48 RAU
- 44 Divisores de poder
- 88 Antenas direccionales y 4 Antenas omnidireccionales
- Cableado: fibra óptica, coaxial y ScTP
- Escalerillas, canaletas, y demás accesorios.

En la figura IV.26 se muestra un diagrama a bloques de la propuesta de diseño para la implementación de una microcélula dentro del corporativo.

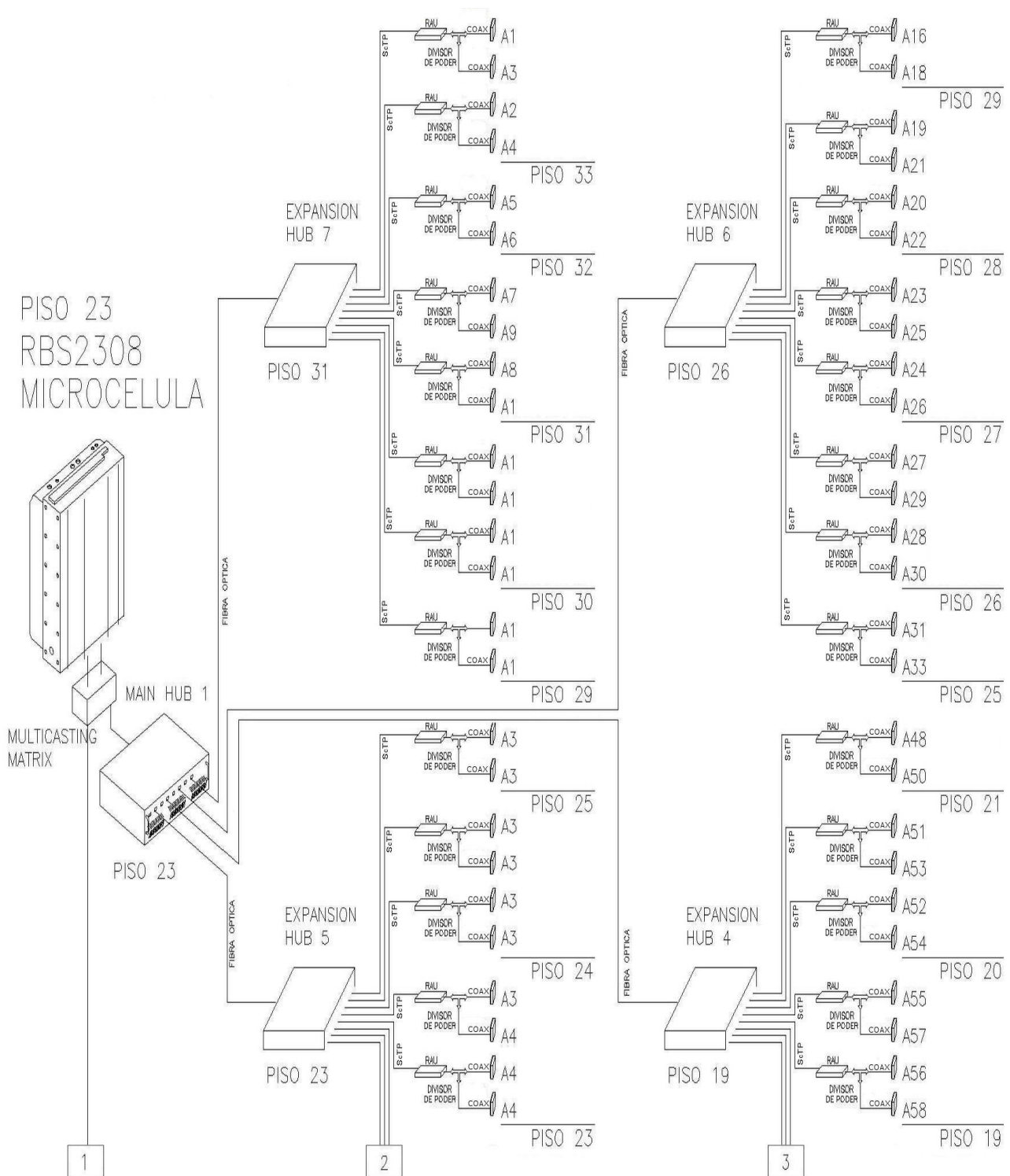


Figura IV.26. Diagrama a bloques para la implementación de la microcélula. (Continúa)

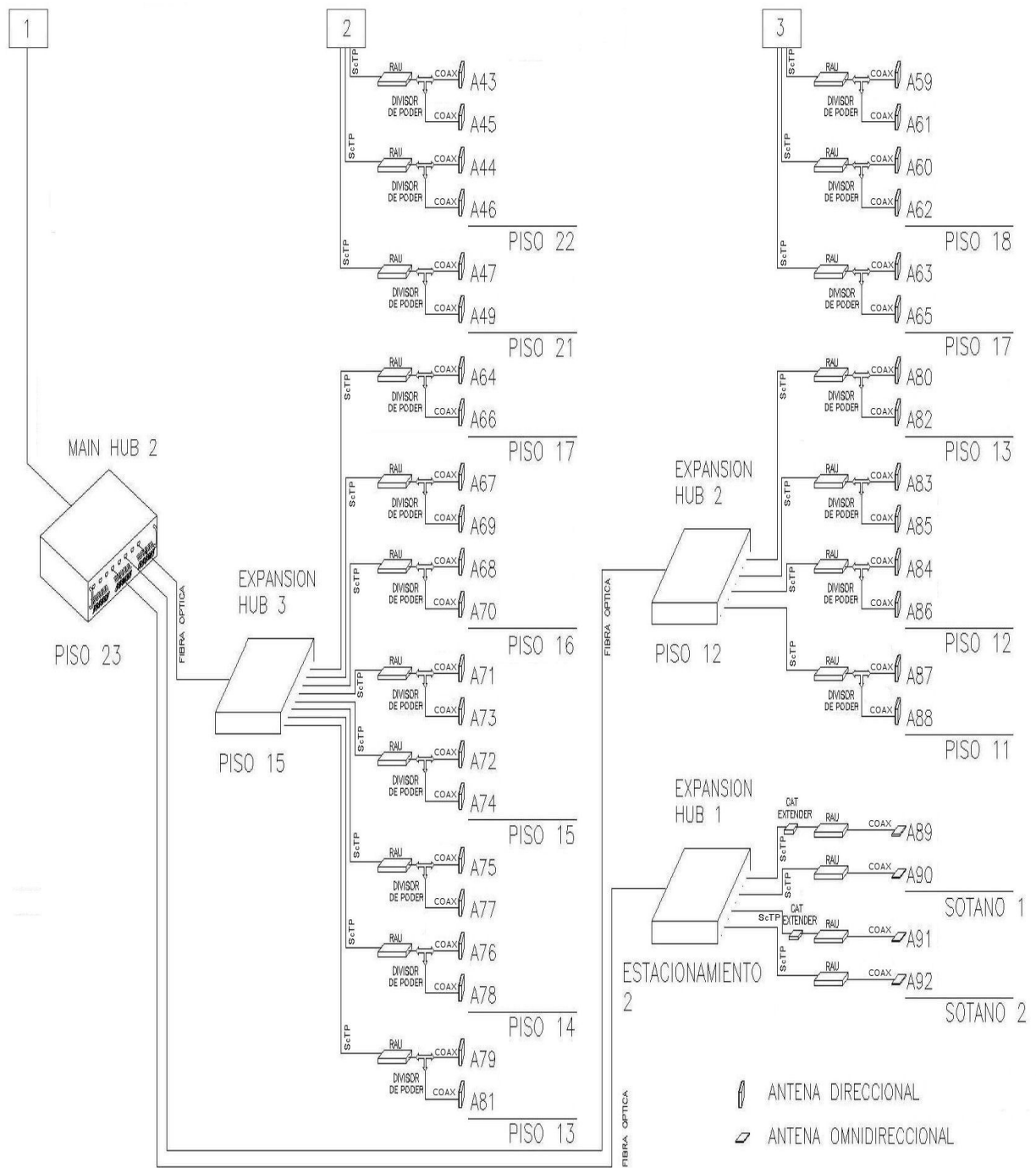


Figura IV.26. Diagrama a bloques para la implementación de la microcélula.

IV.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una parte muy importante dentro de la propuesta de solución es el costo de implementación del proyecto y el tiempo en el que dicha inversión será recuperada por la empresa que presta el servicio de comunicación móvil.

Teniendo en cuenta que el cliente, que en este caso es un corporativo, contrató previamente un servicio de telefonía celular y se encuentra facturando una cierta tarifa mensual por este servicio, no es posible agregar un cargo más por el costo de instalación de una solución que será beneficio del servicio, por tal motivo, los costos de instalación de la microcélula corren a cuenta del prestador del servicio.

Los gastos de instalación son absorbidos por capital de la empresa prestadora de servicio y por tanto tienen que ser recuperados y además generar una ganancia para la compañía. Con este fin, se realiza el análisis de rentabilidad para la implementación de solución por microcélula, previendo una recuperación en un lapso preestablecido de tiempo.

La implementación del proyecto será realizada por un contratista externo. En la tabla IV.10 se muestra una cotización resumida del proyecto, incluyendo costos de equipo, material y mano de obra. En ella se detallan tanto cantidades de material, como precios de los diferentes equipos que se necesitan, los cuales ya se detallaron en el diseño de la microcélula, en el apartado IV.3.

COTIZACIÓN RESUMIDA			
EQUIPO			
<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario (pesos)</i>	<i>Subtotal</i>
Microcélula	1	423,500.00	423,500.00
MAIN HUB	2	59,400.00	118,800.00
EXPANSION HUB	7	52,800.00	369,600.00

Tabla IV.10. Cotización resumida para el proyecto de microcélula indoor. (Continúa)

RAU	48	13,200.00	633,600.00
Divisor de poder	44	825.00	36,300.00
Antena direccional	88	825.00	72,600.00
Antena omnidireccional	4	715.00	2,860.00
Cable coaxial (m)	2268	88.00	199,584.00
Cable ScTP (m)	2658	15.00	39,870.00
Fibra Óptica (m)	182.5	120.00	21,900.00
INSTALACIÓN			
Mano de obra y aditamentos		484,265.00	
Incluye: Accesorios y herramientas para la instalación.			

Total de la Inversión (M.N.) \$2,402,879.00

Tabla IV.10. Cotización resumida para el proyecto de microcélula indoor.

El prestador de servicio desea que la recuperación de la inversión se realice en un periodo no mayor a 3 años; para la recuperación de la inversión en este lapso (36 meses), se requiere un retorno de inversión de \$66,746.64 mensuales. Para lograr esto, con base en experiencias previas y requisitos pedidos por el departamento de finanzas de la compañía, se requiere un tráfico mínimo de 9.8 erlangs y que el corporativo cuente como mínimo con 1400 abonados.

En la tabla IV.11 se muestra la facturación mínima deseada al mes, teniendo en cuenta que, mediante información estadística de la compañía, un erlang de tráfico genera una facturación de \$30,200.00 al mes.

Cantidad mínima de abonados al mes	1400
Tráfico mínimo deseado al mes (erlangs)	9.8
Facturación generada por 1 erlang al mes	\$30,200.00
Facturación mínima deseada al mes	\$295,960.00

Tabla IV.11. Facturación mínima deseada al mes.

La utilidad neta sobre la facturación mensual del corporativo se obtiene después de haber realizado los gastos operativos, costo administrativo y costos de uso de red. Si esperamos una facturación mínima del orden de \$296,000.00 al mes y requerimos un retorno de inversión de \$66,746.64 mensuales, concluimos que estamos dispuestos a destinar el 22.55% de la facturación mensual al retorno de inversión.

Teniendo el diseño del proyecto de microcélula *indoor*, procederemos a la implementación del proyecto que se describe en el capítulo cinco.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACION Y PUESTA A PUNTO

En este capítulo presentaremos el proceso realizado para llevar a cabo la implementación del proyecto de cobertura dentro del corporativo. Presentando los planos de obra correspondientes a la instalación del equipo dentro del inmueble, cableado y posición de las antenas. Incluimos también el proceso de revisión y aprobación de la instalación del equipo y la metodología a seguir para llevar a cabo las pruebas al sistema y poder así liberar el proyecto y que éste se ponga en marcha.

V.1. IMPLEMENTACIÓN

Posterior al diseño del proyecto se procede al proceso de implementación del mismo, éste inicia con la definición de los planos de obra, donde se describe la distribución de los equipos, trayectorias del cableado y la ubicación de antenas.

Los planos de obra están definidos por piso, y en cada uno encontraremos todos los detalles de cómo quedará instalado el equipo, esta agrupación se encuentra en la tabla V.1. En el caso de este trabajo de investigación encontramos que algunos de los pisos tienen la misma

posición de antenas y también la misma trayectoria de cableado, por tal motivo presentamos un solo plano para pisos con similitud y un plano para cada piso que tenga una situación diferente.

Nombre de la Agrupación	Pisos incluidos
<i>Oficinas</i>	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21,22, 23, 24, 25, 26, 27,28, 29, 30, 31 y 33
<i>Penthouse</i>	11 y 32
<i>Sótano</i>	Sótanos 1 y 2

Tabla V.1. Agrupación de pisos.

V.1.1. Trayectoria del cableado

Con el fin de obtener los mejores resultados al final de la instalación del proyecto, es importante que la trayectoria del cableado esté correctamente planeada, con la finalidad de verificar que las longitudes del cable de red blindado, que se utilizará para interconectar el equipo *EXPANSION HUB* con el RAU, no excedan los 100 metros indicados por el fabricante, como límite garantizado para conservar una señal confiable. En el caso de ser necesario que la trayectoria sea mayor a los 100 metros, se requerirá utilizar un dispositivo adicional llamado *CAT EXTENDER*, que se incluirá en la trayectoria del cable de red blindado, para evitar que la señal se atenúe.

En la figura V.1 se muestra el diagrama general a bloques de las conexiones del equipo dentro del inmueble. En el se incluyen los pisos donde serán instalados los equipos, empezando por la microcélula modelo RBS2308 y los *MAIN HUBs*, dentro de un mismo *rack*, en el piso 23 y los *EXPANSION HUBs* (1 al 7) en los pisos 2, 12, 15, 19, 23, 26 y 31 respectivamente.

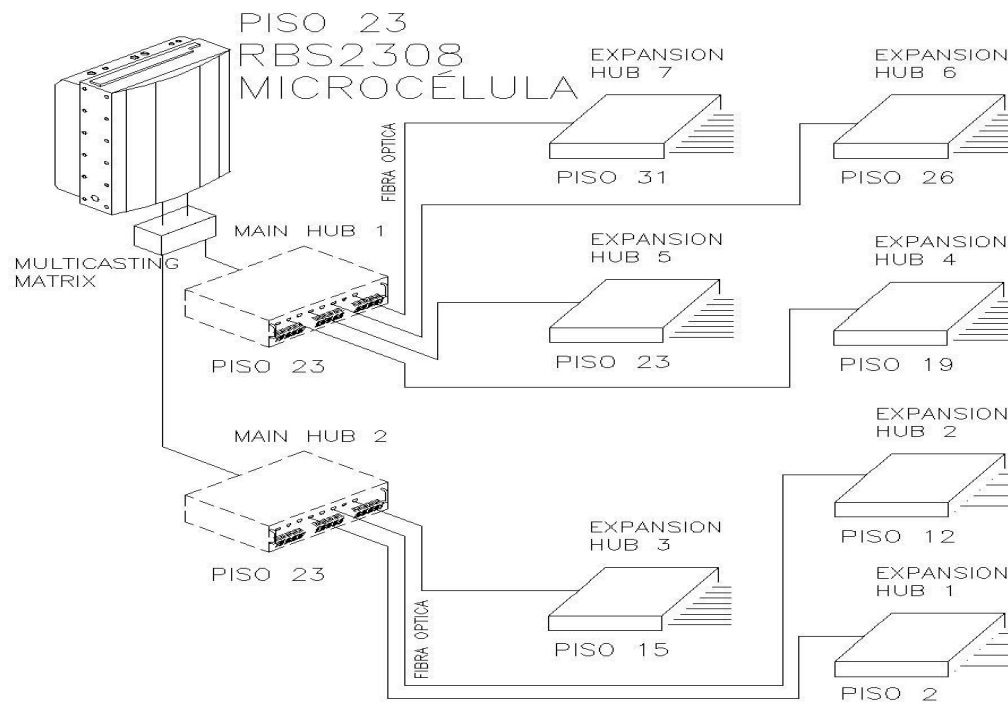


Figura V.1. Diagrama a bloques de distribución del equipo.

A los *EXPANSION HUBS* van conectados los RAU. Los RAUs tienen capacidad para que se les puedan conectar 2 antenas a cada uno, y siempre van en la configuración mostrada en la figura V.2.

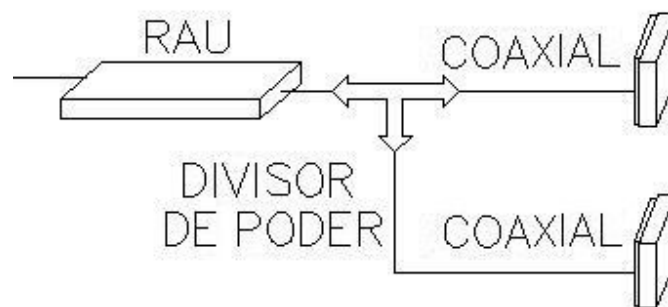


Figura V.2. Conexión típica de antenas a los RAUs.

En la figura V.3 se puede observar que sólo requeriremos el *CAT EXTENDER* en las trayectorias de instalación de cable ScTP para las antenas que darán servicio en los sótanos; estas trayectorias tienen longitud de 115 metros y 120 metros, para los sótanos 1 y 2 respectivamente. Siguiendo las recomendaciones del fabricante de cable ScTP, el *CAT EXTENDER* en cada caso se instala a 80 metros de longitud del *EXPANSION HUB*, mediante ScTP, después del *CAT EXTENDER* se conecta el resto del cable ScTP a la RAU; la conexión del RAU a la antena se hará por cable coaxial.

En lo sucesivo se mostrará en los diagramas a bloques la siguiente nomenclatura: A# (número de antena), ScTP # m (distancia [m] de cable ScTP del *EXPANSION HUB* al RAU), y COAX # m (distancia [m] de cable coaxial del divisor de poder a la antena), cuando no se muestre la distancia de cable coaxial significa que dicha distancia se considera despreciable.

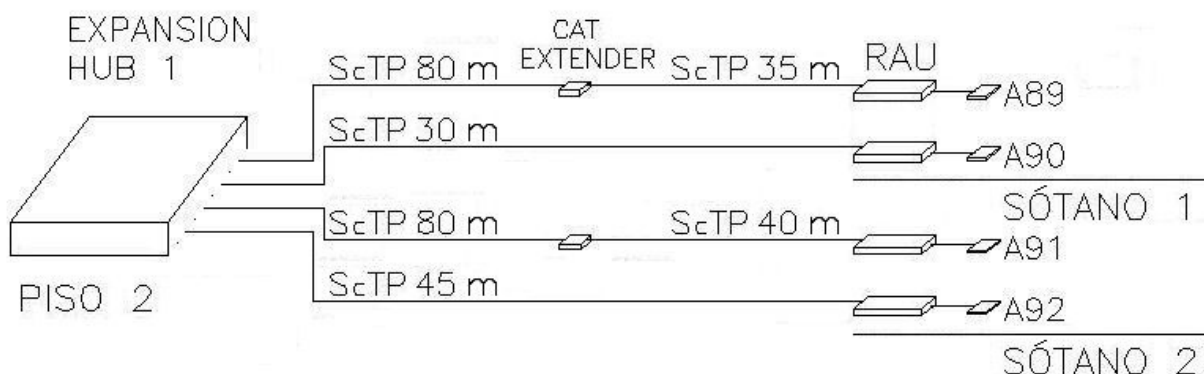


Figura V.3. Distribución de antenas conectadas al *EXPANSION HUB 1*.

En las figuras V.4 a la V.9 se muestran las distribuciones de las antenas conectadas a los 6 *EXPANSION HUBs* restantes: figura V.4, *EXPANSION HUB 2*; figura V.5, *EXPANSION HUB 3*; figura V.6, *EXPANSION HUB 4*; figura V.7, *EXPANSION HUB 5*; figura V.8, *EXPANSION HUB 6* y figura V.9, *EXPANSION HUB 7*.

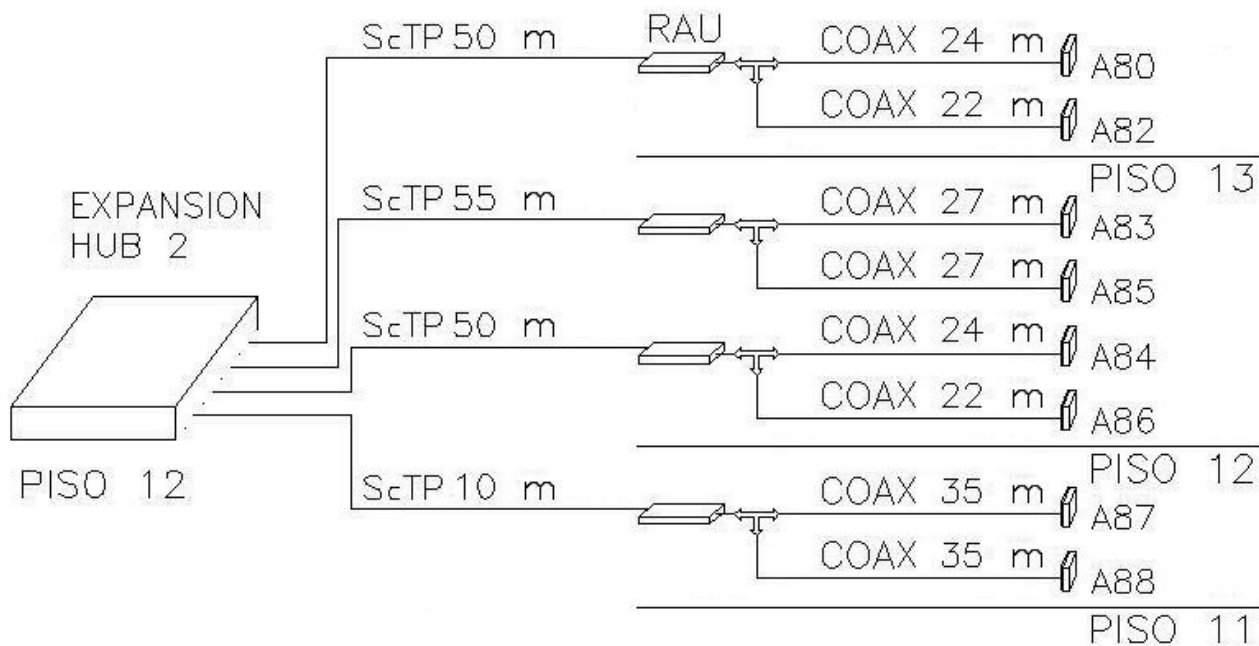


Figura V.4. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 2.

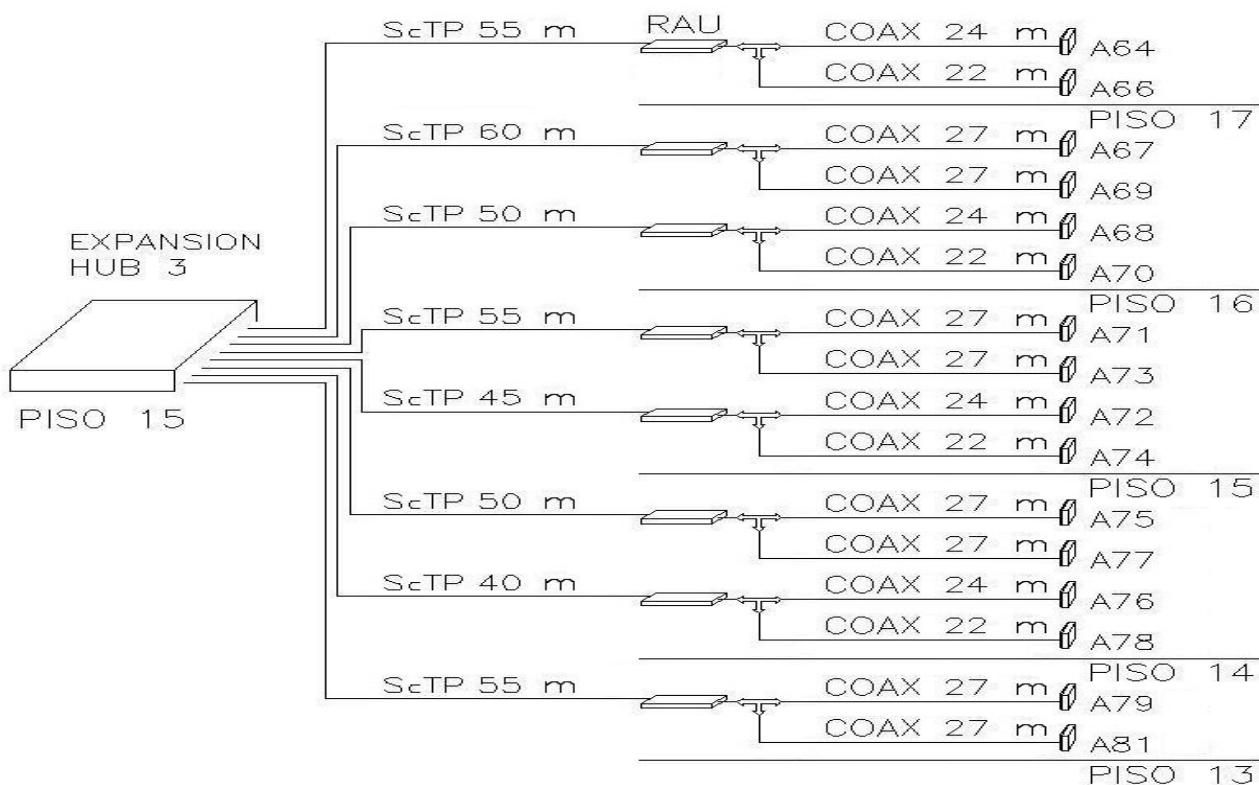


Figura V.5. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 3.

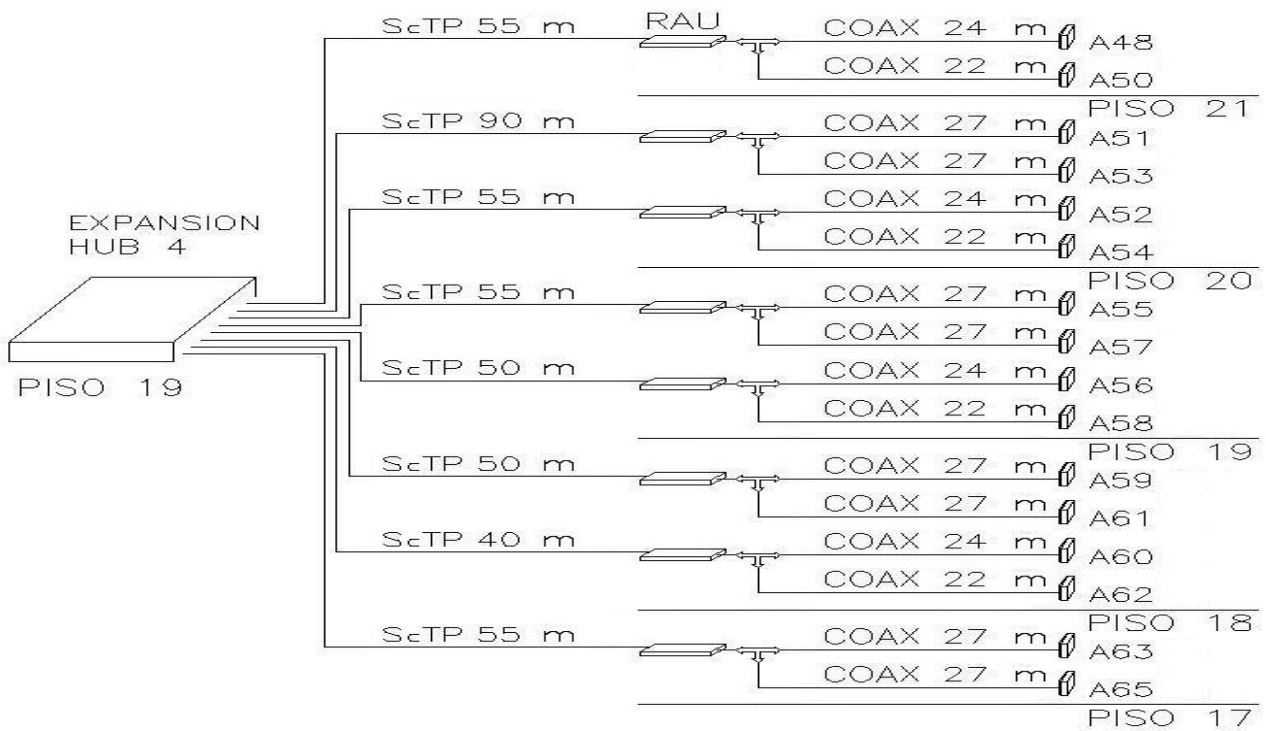


Figura V.6. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 4.

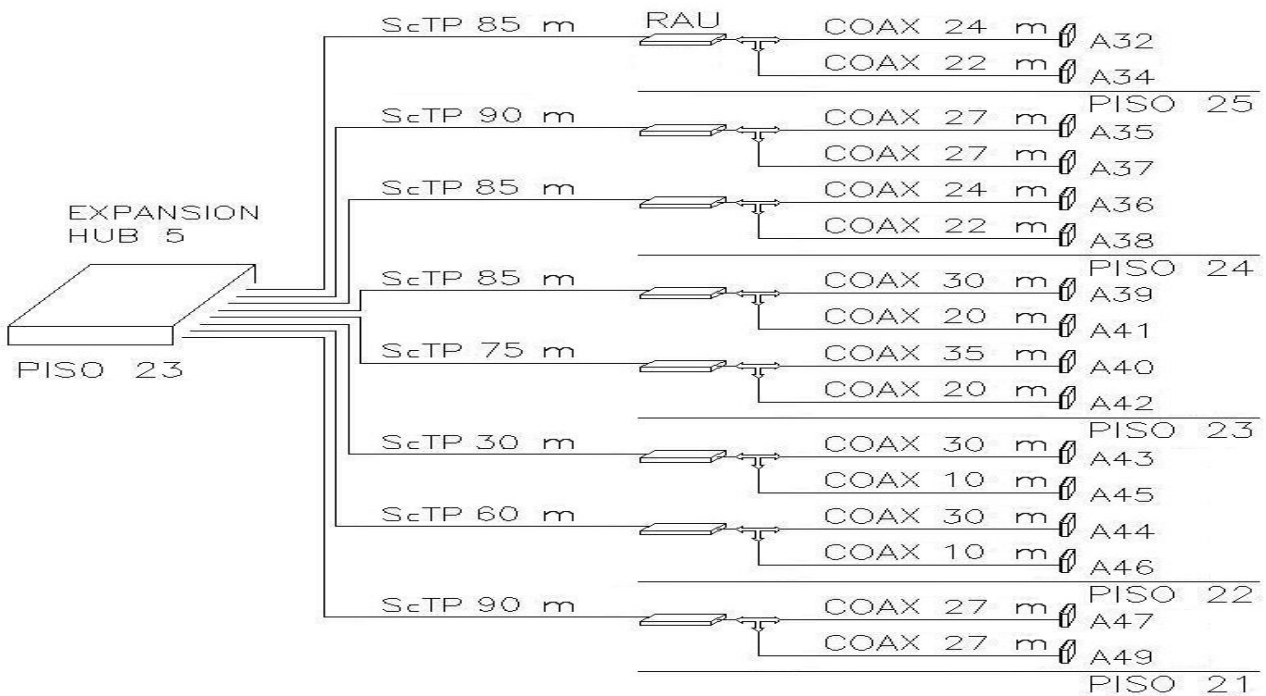


Figura V.7. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 5.

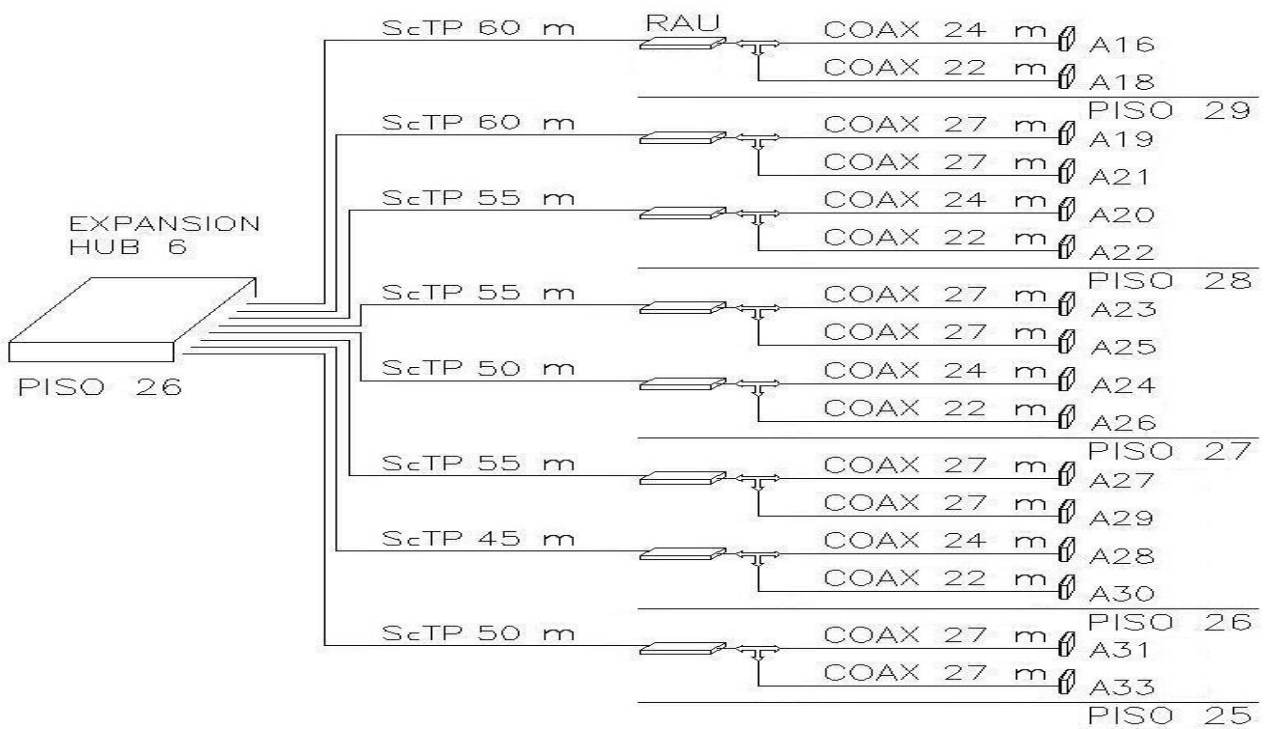


Figura V.8. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 6.

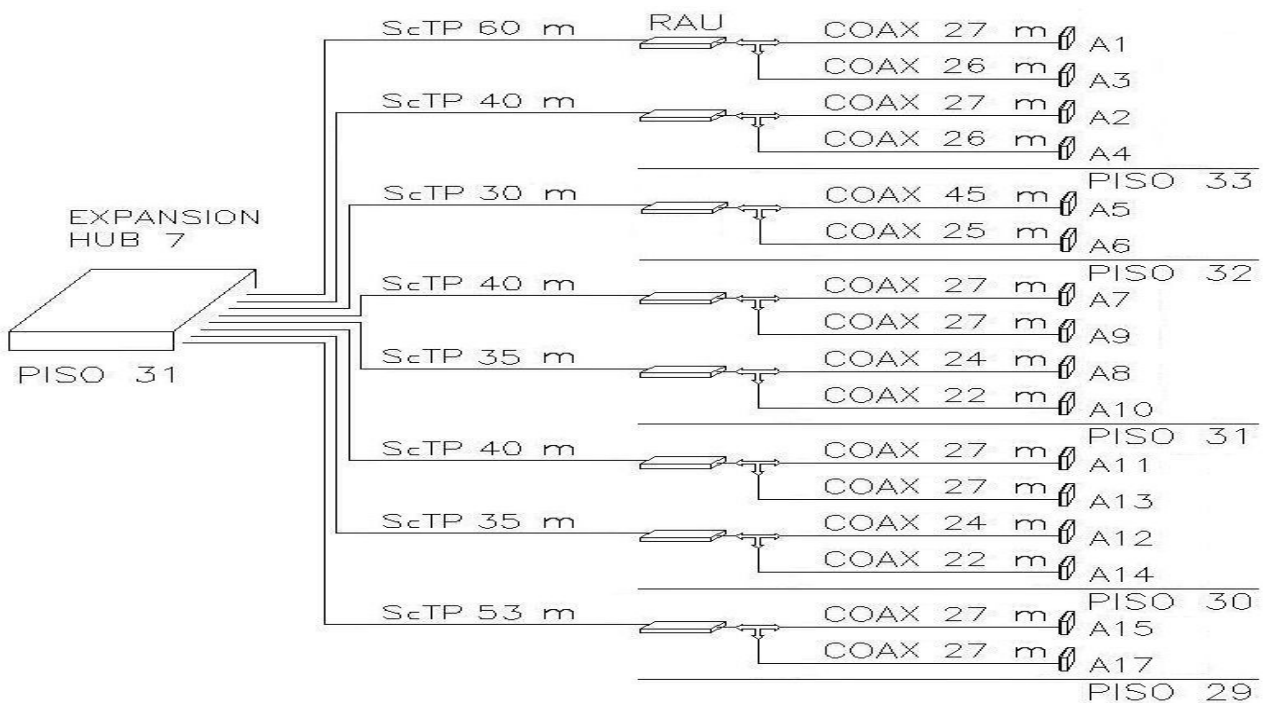


Figura V.9. Distribución de antenas conectadas al EXPANSION HUB 7.

Siguiendo la planeación de los diagramas de bloques previos, se realiza la distribución de antenas por piso. Algunos pisos fueron planeados para tener 4 antenas y otros solamente 2, por ese motivo mostraremos únicamente los planos por tipo de agrupación de pisos.

En la figura V.10 mostramos el plano tipo para la distribución de cableado estructurado en cada piso que cuenta con 4 antenas; los pisos que se encuentran en este caso son los pisos de oficinas.

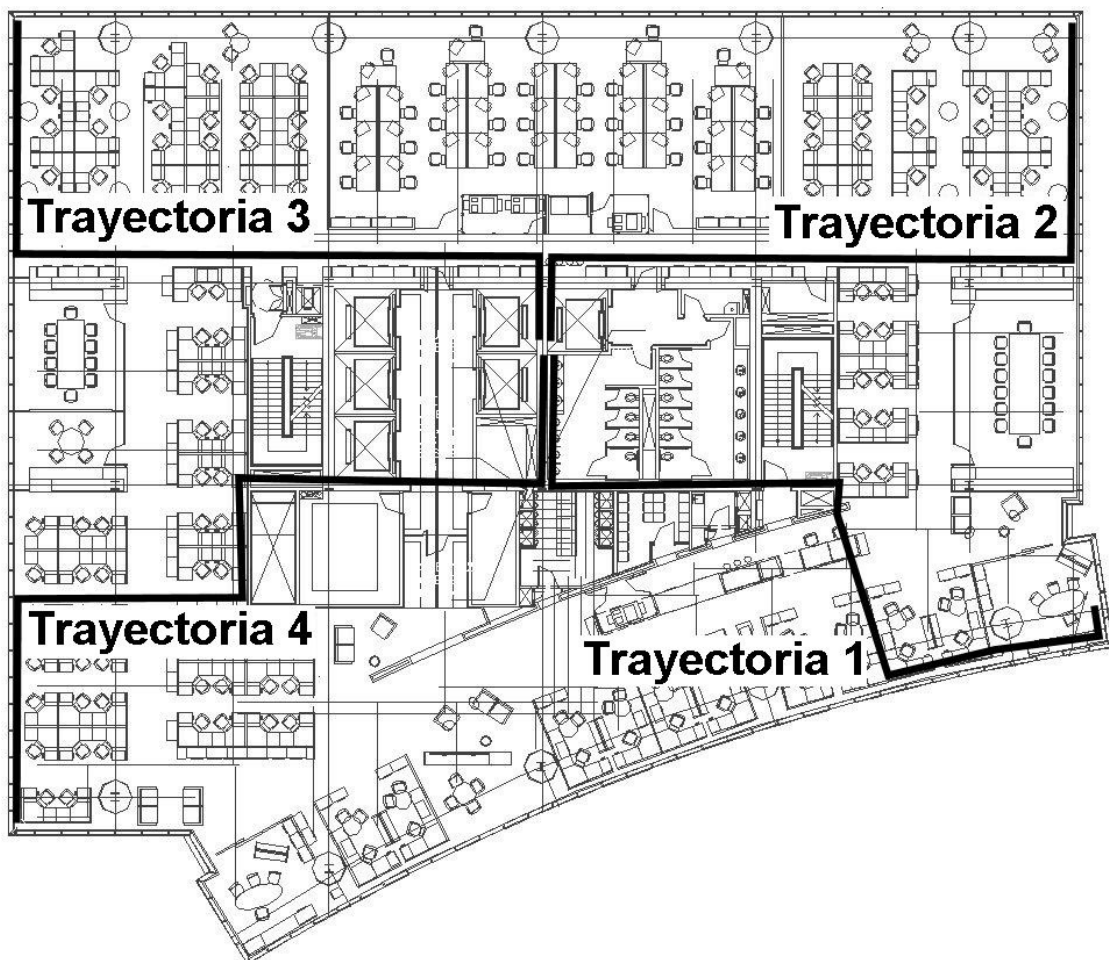


Figura V.10. Distribución de cableado para pisos de oficinas.

Para los pisos tipo *penthouse* sólo se requieren 2 antenas, esta distribución de cableado se muestra en la figura V.11.

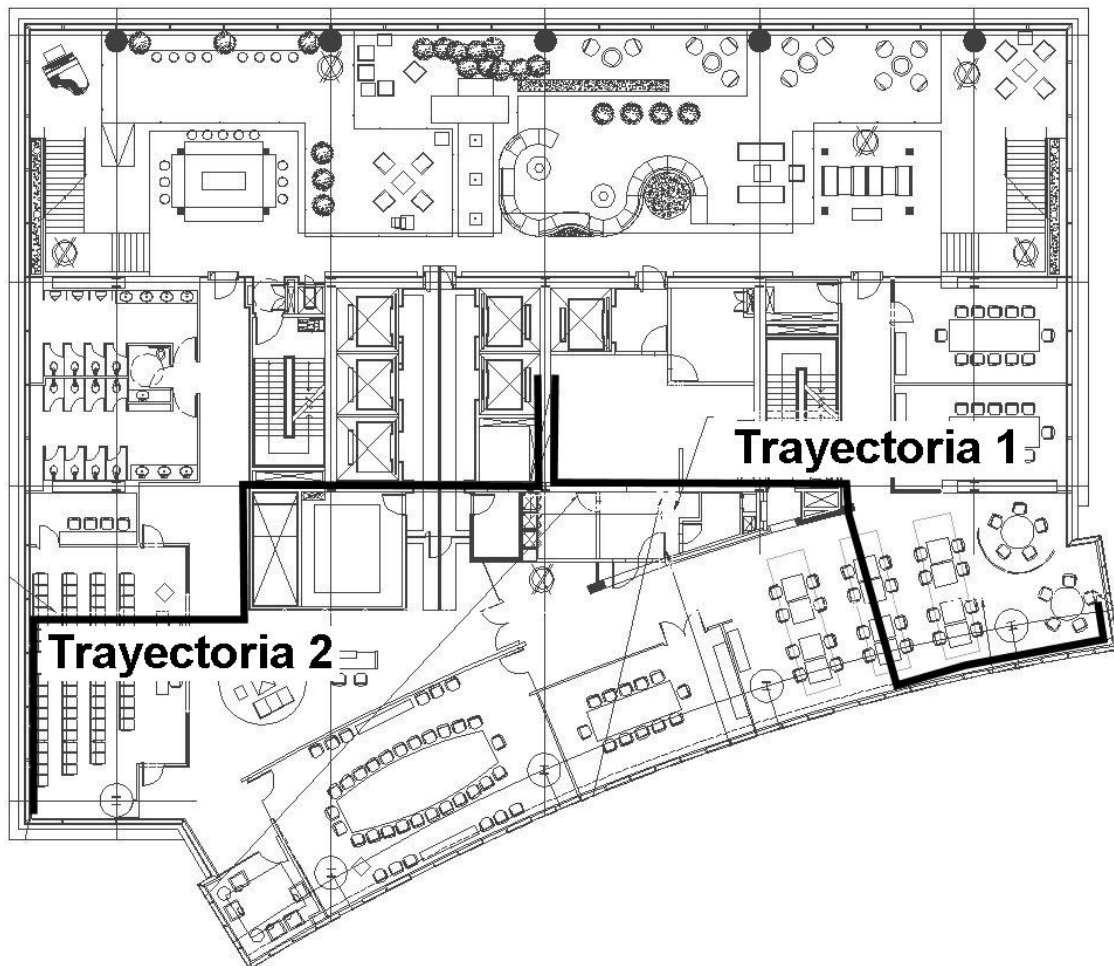


Figura V.11. Distribución de cableado para pisos tipo penthouse.

En el caso de los sótanos también se ocupan 2 antenas cuya distribución de cableado se muestra en la figura V.12.

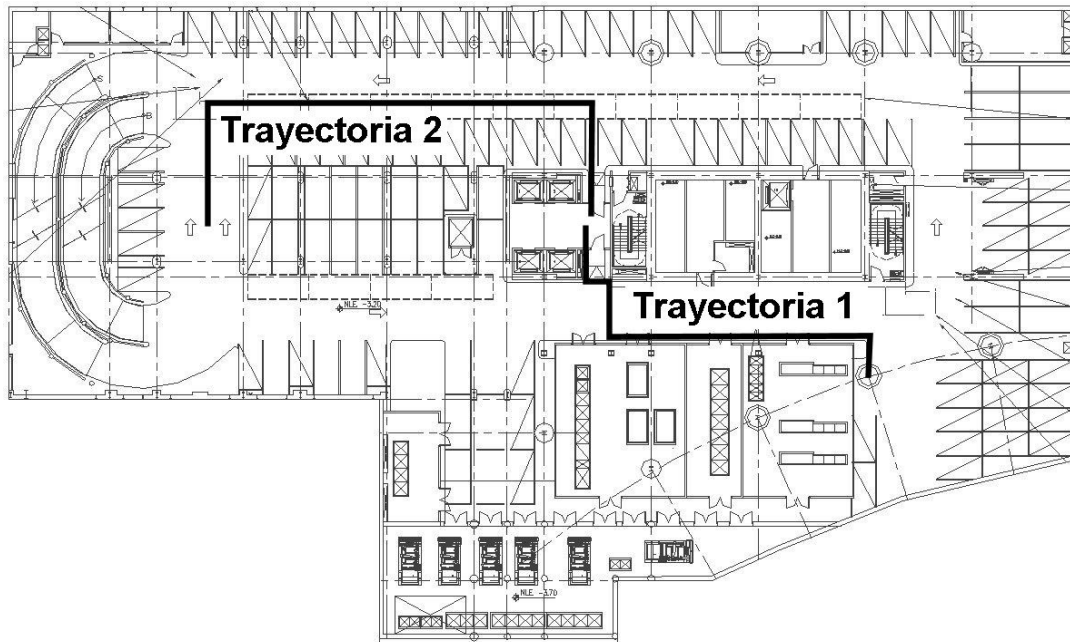


Figura V.12. Distribución de cableado para sótanos.

V.1.2. Ubicación de las Antenas

De la misma manera que se realizó la verificación de las trayectorias de cable para obtener los mejores resultados, se tiene que verificar que se haya respetado la posición de diseño que se determinó para las antenas, ya que éstas son las encargadas de distribuir la señal de cobertura.

En la figura V.13 presentamos el plano tipo para los casos de ubicación de 4 antenas, para los pisos de oficinas; para los pisos tipo *penthouse* se instalaron 2 antenas, se muestra su ubicación en la figura V.14, y para los sótanos presentamos la figura V.15 y fueron instaladas también 2 antenas.

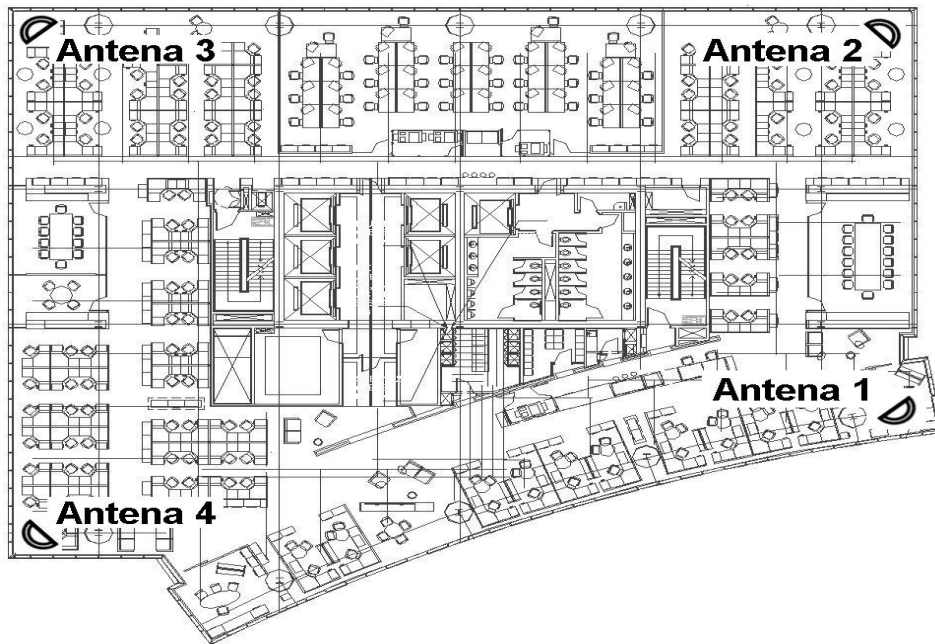


Figura V.13. Posición de 4 antenas para pisos de oficina.

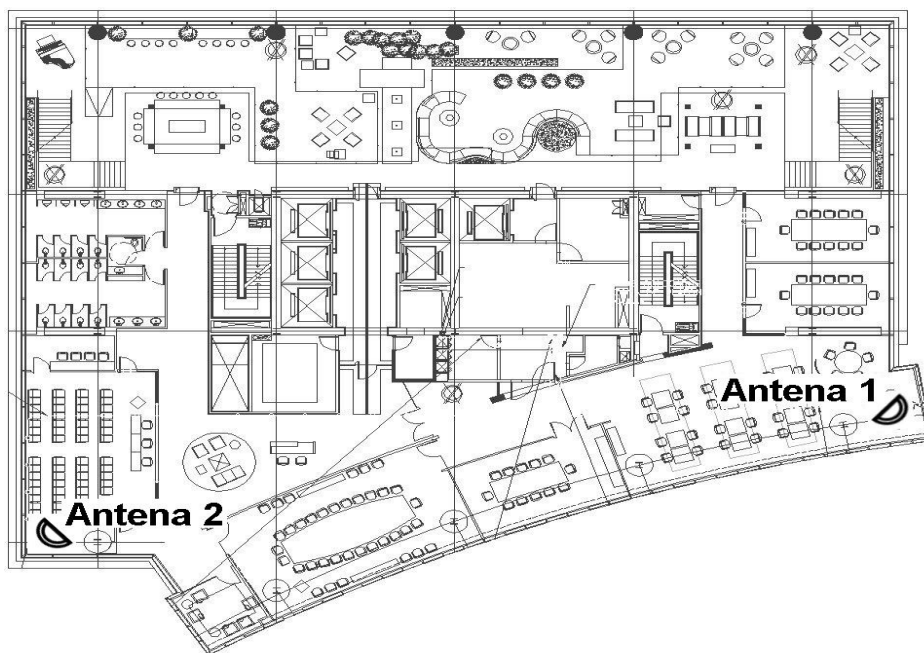


Figura V.14. Posición de 2 antenas para pisos tipo penthouse.

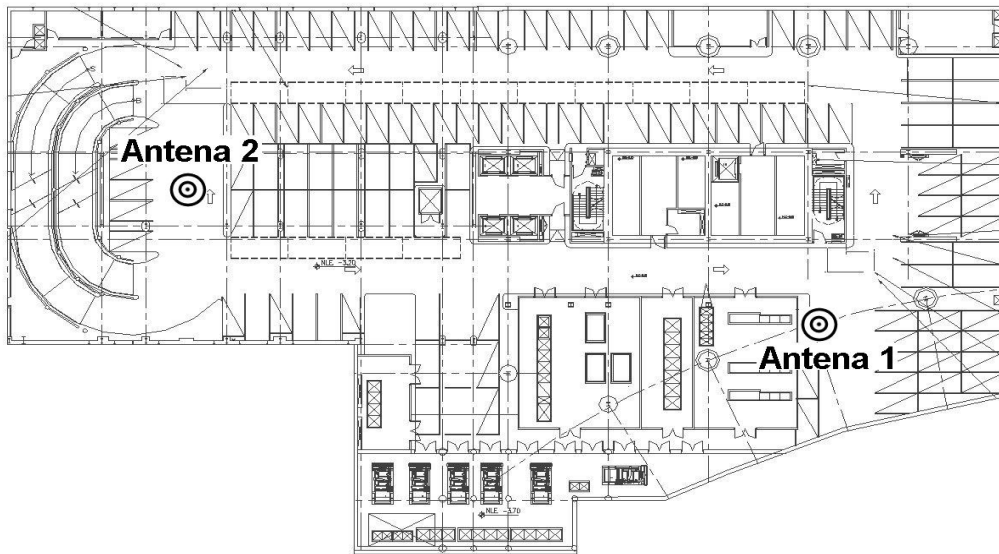


Figura V.15. Posición de 2 antenas en sótanos.

Cabe mencionar que el cableado es realizado por el falso plafón en el techo de cada piso, por lo que las antenas van colocadas justamente en el techo, de preferencia en las esquinas para aprovechar sus patrones de radiación direccionales.

V.2. APROBACIÓN DE INSTALACIÓN

Una vez que contamos con los planos para la implementación del diseño, es de gran importancia aprobarlos para proceder a la instalación de equipos dentro del inmueble.

Cabe destacar que el proceso de aprobación de dichos planos contempla la evaluación únicamente de dos aspectos:

- Debe coincidir la ubicación de las antenas tanto en los planos como en el diseño.
- Las distancias de las trayectorias del cableado deben ser menores a 100 metros, en el caso que las distancias sean mayores debemos verificar que exista un *CAT EXTENDER* en dichas trayectorias.

Después de haber analizado los planos de obra, habiendo verificado los aspectos citados en el párrafo anterior, determinamos que:

- Las trayectorias para todos los pisos tienen distancias menores a 100 metros. Sin embargo, las trayectorias de los dos sótanos exceden los 100 metros de distancia, pero para evitar la atenuación de la señal en dichas trayectorias se incluyeron *CAT EXTENDER* en cada una de ellas.
- Se corrobora que la ubicación de las antenas notificadas en cada piso de los planos corresponde con la ubicación que se estableció en el diseño.

Finalmente, con estas observaciones concluimos que se cumplieron las definiciones de trayectoria de cable de red y la posición de las antenas. Por lo que los planos son aprobados y aceptados para su instalación.

Una vez que los planos de obra han sido aprobados, estos se turnan a la empresa encargada de la instalación. Posteriormente, cuando dicha empresa ha liberado el proyecto, y da por concluida la etapa de instalación, es necesario realizar pruebas en las que verificaremos la correcta ubicación y funcionamiento de los equipos, mismas que son detalladas a continuación.

V.3. PUESTA A PUNTO

Para llevar a cabo las pruebas al proyecto de cobertura *indoor*, se procede a realizar una visita al interior de las instalaciones del inmueble, con el fin de inspeccionar que los planos se hayan respetado, tanto en trayectorias como en ubicación de antenas.

Cabe destacar que la ubicación de las antenas no puede ser modificada deliberadamente, ya que cualquier cambio modificaría la cobertura dentro del inmueble. Provocando con ello mayor atenuación de la señal y por ende, tendríamos como resultado datos fuera de los rangos de diseño establecidos. Debemos tener especial cuidado en aquellos pisos en donde existen niveles de señal de los múltiples servidores, en ellos se debe conservar estrictamente la posición indicada en los planos.

V.3.1. Revisión de posición física de equipo y antenas

Una vez estando dentro del inmueble, se verificó que cada uno de los equipos se localiza en la ubicación correcta que fue aceptada en los planos de obra, dado que cualquier cambio de posición puede provocar modificaciones importantes al diseño total del sistema, como lo es aumentar la longitud del cable de red o alterar la posición de las antenas, lo cual resultaría en una degradación en el desempeño de la microcélula.

Durante la visita se concluyó que los equipos se encuentran ubicados en la posición correcta en los pisos solicitados, lo cual se muestra en la tabla V.2.

EQUIPO	UBICACIÓN	EQUIPO	UBICACIÓN
<i>Microcélula MULTICASTING MATRIX MAIN HUB 1 MAIN HUB 2 EXPANSION HUB 5</i>	Piso 23	<i>EXPANSION HUB 3</i>	Piso 15
		<i>EXPANSION HUB 4</i>	Piso 19
<i>EXPANSION HUB 1</i>	Piso 2	<i>EXPANSION HUB 6</i>	Piso 28
<i>EXPANSION HUB 2</i>	Piso 12	<i>EXPANSION HUB 7</i>	Piso 31

Tabla V.2. Listado de posiciones finales de equipos dentro del inmueble.

También se verificó la correcta posición de cada antena en cada piso, así como su orientación y la ubicación de cada RAU con su correspondiente divisor de potencia.

V.3.2. Mediciones de potencia

Posterior a la verificación física de equipos y antenas se procede a verificar que el canal asignado sea el correcto, esto se realiza con un equipo marca SAGEN, el cual nos indica niveles de señal y el canal del cual procede dicha señal. Se continúa con las mediciones de potencia en los puntos que se indican en la figura V.16. El punto 1 nos indica la salida de potencia de la microcélula, esta medición debe cumplir con una salida de 26 dBm, ya que éste es el nivel estandarizado que cumple con los requerimientos de nivel indicados por el fabricante como óptimos tanto para su desempeño como para una vida útil mayor. En el

punto 2 se confirma que el sistema de antenas distribuidas nos esté entregando 20 dBm, que son la potencia de salida que entrega al operar correctamente.

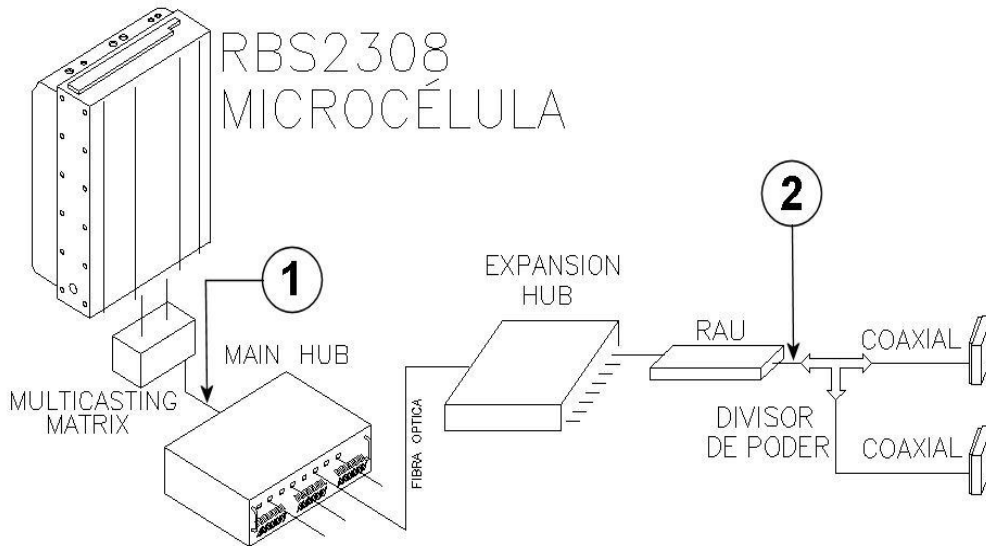


Figura V.16. Puntos de medición de potencia.

Las mediciones de potencia en el punto 1 se realizaron con un analizador de señales, modelo SA-2400, marca BIRD. En la figura V.17 se muestra la conexión esquemática de dicho equipo a la salida de la microcélula. La potencia medida fue de 26.2 dBm, lo cual supera por 0.2 dBm el estándar para este equipo.

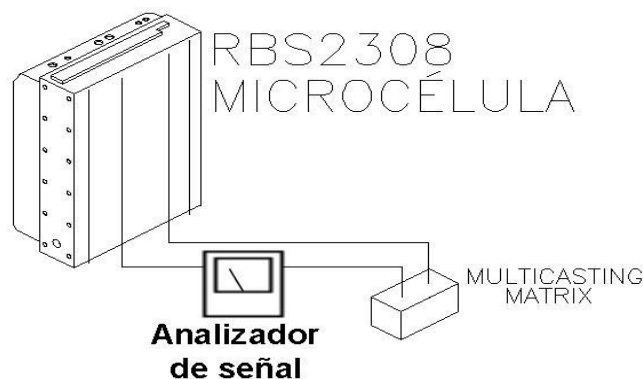


Figura V.17. Medición de potencia a la salida de la microcélula.

Para la medición de potencia a la salida del sistema de antenas distribuidas, la medición se realiza con el mismo equipo SA-2400, entre la RAU y el divisor de potencia, como se muestra en la figura V.18.



Figura V.18. Medición de potencia a la salida de la RAU.

Estas mediciones se hacen a la salida de cada RAU, por lo que se deben hacer 48 mediciones, las cuales se muestran en la tabla V.3.

Número RAU	POTENCIA (dBm)	Número RAU	POTENCIA (dBm)	Número RAU	POTENCIA (dBm)	Número RAU	POTENCIA (dBm)
1	20.6	13	20.6	25	20.05	37	20.3
2	20.8	14	20.7	26	20.7	38	20.4
3	21.02	15	20.01	27	20.06	39	20.6
4	20.04	16	20.6	28	21.01	40	20.08
5	20.4	17	20.03	29	20.05	41	20.7
6	20.6	18	20.5	30	20.8	42	20.3
7	20.3	19	20.04	31	20.5	43	21.01
8	21.4	20	20.4	32	20.3	44	20.6
9	20.5	21	20.7	33	20.06	45	20.2
10	20.01	22	20.2	34	20.4	46	20.3
11	20.03	23	20.9	35	20.5	47	20.8
12	20.4	24	20.3	36	20.7	48	20.4

Tabla V.3. Medición de potencia para cada RAU.

De la tabla anterior podemos observar que todas las RAUs cumplen con el estándar de 20 dBm de potencia de salida para la entrega de señal para cada antena, llegando incluso a un nivel de 21.02 para la RAU número 3.

Finalmente, al concluir la revisión física del equipo y haber realizado mediciones de potencia, en cada punto de interés, se procede a evaluar el proyecto a nivel operativo. Esta evaluación consiste en pruebas, en las que se toman en cuenta las condiciones de cobertura, condiciones de tráfico y condiciones de interferencia que se presentan en el inmueble después de la puesta en marcha de nuestra solución, comprobando así los valores reales de potencia correspondientes al sistema de cobertura *indoor*.

V.3.3. Evaluación final de la cobertura

Se realizaron nuevamente pruebas de medición de intensidad de señal para cada uno de los pisos del inmueble. Los puntos en los cuales se realizaron las mediciones fueron al pie de cada una de las antenas implementadas y en los puntos críticos por piso, los cuales se ilustran en las figuras IV.20, IV.21 y IV.22 (ver capítulo IV).

Al revisar los resultados arrojados por los equipos, *Nokia 6820 GSM* y *Motorola V400 PTT*, pudimos observar que aún están presentes las señales que inicialmente se recolectaron, sumando a estas una nueva señal perteneciente al nuevo canal que se está utilizando en la microcélula instalada, el cual es el mismo para los pisos del 11 al 33 y los sótanos 1 y 2.

Los resultados de las lecturas de señal promedio para cada piso se muestran en la tabla V.4, en ella podemos observar los niveles de potencia de la nueva señal recibida, correspondientes a la microcélula.

NIVEL MEDIDO DENTRO DEL INMUEBLE	NÚMERO DE ANTENA	NIVEL RECIBIDO A PIE DE ANTENA (dBm)	NIVEL DE SEÑAL EN PUNTO CRÍTICO (dBm)
SÓTANO 1	92	-43	-75
	91	-42	
SÓTANO 2	90	-40	-75
	89	-46	
PISO 11 OFICINAS	88	-39	-81
	87	-42	
PISO 12 OFICINAS	86	-40	-79
	85	-47	
	84	-44	
	83	-44	
PISO 13 OFICINAS	82	-40	-85
	81	-45	
	80	-45	
	79	-43	
PISO 14 OFICINAS	78	-41	-85
	77	-39	
	76	-41	
	75	-44	
PISO 15 OFICINAS	74	-42	-86
	73	-43	
	72	-45	
	71	-41	
PISO 16 OFICINAS	70	-42	-78
	69	-44	
	68	-44	
	67	-43	
PISO 17 OFICINAS	66	-42	-83
	65	-45	
	64	-42	
	63	-41	
PISO 18 OFICINAS	62	-39	-87
	61	-40	
	60	-44	
	59	-44	
PISO 19 OFICINAS	58	-41	-78
	57	-42	
	56	-38	
	55	-42	

Tabla V.4. Lecturas de Intensidad de señal GSM dentro del inmueble. (Continúa)

NIVEL MEDIDO DENTRO DEL INMUEBLE	NÚMERO DE ANTENA	NIVEL RECIBIDO A PIE DE ANTENA (dBm)	NIVEL DE SEÑAL EN PUNTO CRÍTICO (dBm)
PISO 20 OFICINAS	54	-42	-80
	53	-40	
	52	-40	
	51	-47	
PISO 21 OFICINAS	50	-39	-77
	49	-42	
	48	-43	
	47	-41	
PISO 22 OFICINAS	46	-48	-90
	45	-55	
	44	-53	
	43	-46	
PISO 23 OFICINAS	42	-52	-80
	41	-52	
	40	-48	
	39	-47	
PISO 24 OFICINAS	38	-42	-85
	37	-43	
	36	-41	
	35	-43	
PISO 25 OFICINAS	34	-40	-86
	33	-39	
	32	-41	
	31	-42	
PISO 26 OFICINAS	30	-44	-79
	29	-45	
	28	-43	
	27	-42	
PISO 27 OFICINAS	26	-43	-82
	25	-41	
	24	-42	
	23	-41	
PISO 28 OFICINAS	22	-43	-80
	21	-44	
	20	-44	
	19	45	
PISO 29 OFICINAS	18	-41	-89
	17	-43	
	16	-45	
	15	-44	

Tabla V.4. Lecturas de Intensidad de señal GSM dentro del inmueble. (Continúa)

NIVEL MEDIDO DENTRO DEL INMUEBLE	NÚMERO DE ANTENA	NIVEL RECIBIDO A PIE DE ANTENA (dBm)	NIVEL DE SEÑAL EN PUNTO CRÍTICO (dBm)
PISO 30 OFICINAS	14	-43	-84
	13	-41	
	12	-45	
	11	-43	
PISO 31 OFICINAS	10	-42	-82
	9	-40	
	8	-42	
	7	-40	
PISO 32 PH INFERIOR	6	-43	-84
	5	-41	
PISO 33 PH SUPERIOR	4	-42	-85
	3	-43	
	2	-42	
	1	-44	

Tabla V.4. Lecturas de Intensidad de señal GSM dentro del inmueble.

Al comparar los niveles de intensidad de señal se puede observar que los nuevos niveles obtenidos son de mucho mayor intensidad que los medidos inicialmente.

De acuerdo a los resultados encontrados, comprobamos que se cuenta con un excelente nivel de cobertura dentro de todo el inmueble, desde los sótanos hasta los *penthouse*.

Debido a los nuevos niveles de intensidad de señal encontrados, se observó que los MS se alojan al nuevo servidor encontrado, por ser la señal con mayor intensidad encontrada.

V.3.4. Evaluación final de la calidad

Ya obtenidos los resultados de la cobertura real dentro del inmueble, es necesario revisar los resultados obtenidos para los parámetros de calidad que debe cumplir el enlace de microcélula. De la misma manera que en el capítulo IV, se estudiaron las condiciones de cobertura y de interferencia en el inmueble. En este apartado consideraremos las condiciones de calidad de comunicaciones una vez implementada nuestra solución, para verificar el correcto funcionamiento de la microcélula.

V.3.4.1. Evaluación de la calidad por tráfico

Para este análisis se procedió a monitorear el consumo por parte de los usuarios dentro del corporativo durante un período de tiempo que va desde el 1º de enero al 15 de marzo de 2006, con la microcélula 0998861 ya operativa. Con estos datos se obtiene una gráfica de consumo diario, que nos lleva a determinar si el equipo considerado durante el diseño de la solución es el adecuado o si éste resultó inadecuado para el consumo que se observa en el inmueble.

Por otro lado, cabe aclarar que el tráfico dentro del corporativo se presentará en una sola gráfica, dado que la microcélula funge como una BTS de un sector único que provee de servicio al edificio. Dicha gráfica se muestra en la figura V.19, ahí se puede apreciar que el tráfico diario no sobrepasa el consumo esperado para esta microcélula, sino que se mantiene en un rango promedio de 45 Erlangs, siendo la capacidad total del equipo de 60 Erlangs.

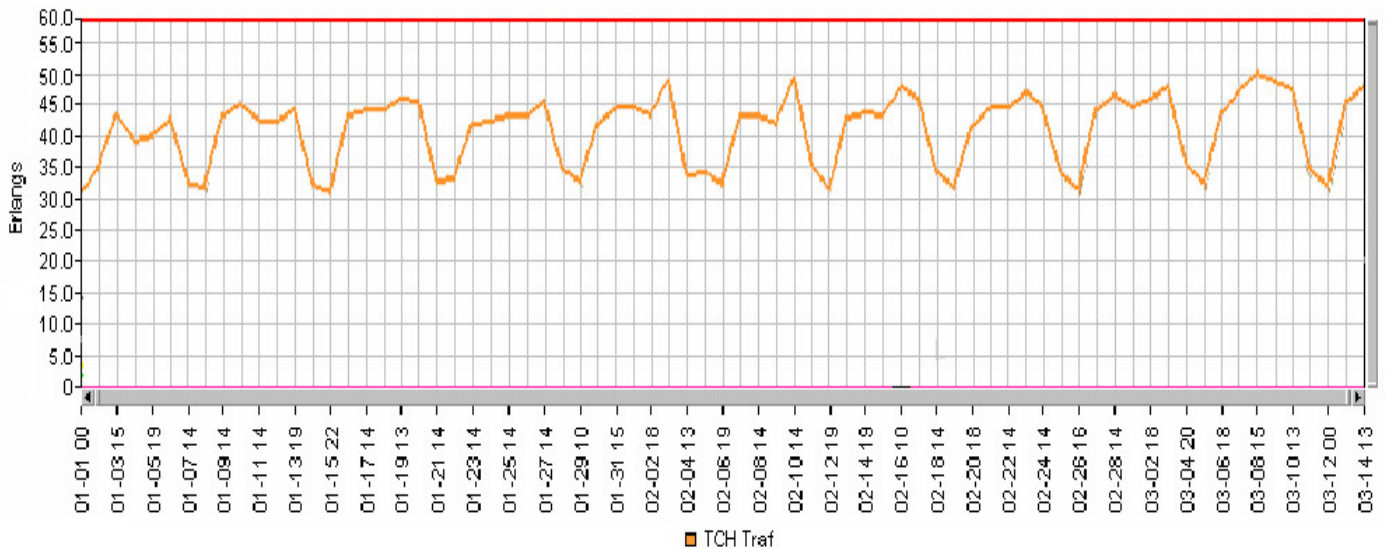


Figura V.19. Gráfica de tráfico para la microcélula.

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la microcélula está teniendo un desempeño bastante aceptable en lo que a consumo se refiere, dado que mantiene un nivel

de tráfico adecuado a su capacidad y que, incluso, le permitirá tener un margen de disponibilidad para el futuro crecimiento del corporativo.

V.3.4.2. Evaluación de la calidad por interferencia

Otro aspecto a evaluar después de la implementación de la microcélula es la interferencia. En este apartado verificaremos si la interferencia continúa siendo un problema dentro del inmueble.

Con base en la tabla V.4, que contiene las mediciones que se han realizado después de la puesta en marcha de la microcélula, se identifica que además de las señales existentes antes de la implementación, existe la presencia de un nuevo canal, y es precisamente la señal con mayor potencia de todas las lecturas. Dicho canal es el 099886I, con una potencia promedio de -82 dBm en los puntos críticos, este canal corresponde a la microcélula, el cual proporciona señal en los sótanos y del piso 11 hasta el 33.

Es importante recalcar que con la implementación de la microcélula no anulamos las señales de los múltiples servidores, únicamente se genera un nuevo canal sin intermitencias y con mayor potencia. Por lo que las señales por múltiples servidores son ignoradas por el móvil al momento de elegir un canal donde alojarse. Sin lugar a duda este canal es el de la microcélula.

Por otra parte, para los pisos del 1 al 10 se encontró que se cuenta con cobertura sin problemas de interferencia y es una señal única proveniente de la BTS DF5330. Por lo que un MS no tendrá ningún tipo de problemas para realizar o recibir llamadas desde cualquier punto dentro del inmueble.

Antes de la implementación de la microcélula, en los pisos superiores del inmueble se contaba únicamente con la presencia de señales de múltiples servidores de baja potencia. Esta situación hacía imposible que el móvil se pudiera alojar en algún servidor para realizar alguna llamada. Sin embargo, con la implementación de la microcélula logramos eliminar el

problema de interferencia presente en el inmueble, ya que ahora el móvil cuenta con una señal con potencia suficiente en la que puede alojarse en todos los niveles del corporativo.

Completada la implementación y puesta a punto del sistema, en el siguiente capítulo presentaremos los resultados así como las conclusiones de nuestra tesis.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo presentaremos los resultados finales obtenidos del trabajo de tesis. Analizaremos los objetivos planteados y presentaremos las conclusiones a las que nos llevan los resultados sobre la puesta en marcha de la propuesta de microcélula *indoor*. Finalmente, se agrega un apartado donde se comentan otros posibles usos que se le da en la industria y en la vida cotidiana a la implementación de una microcélula.

VI.1. RESULTADOS

En el desarrollo del trabajo de tesis nos hemos enfocado al análisis e implementación formal de una microcélula *indoor*, con el fin específico de poder dar cobertura total a un corporativo con problemas en el servicio de telefonía celular. Para poder llegar a este objetivo, se siguieron una serie de pasos precisos, que nos guiaron en el desarrollo del tema.

En un principio, se abordaron conceptos básicos, que giraban alrededor del problema que nos ocupaba, esto es, la tecnología GSM y los servicios que cubre, así como la forma en que esta tecnología es proporcionada al usuario final. De este modo nos enfocamos en la revisión de las señales de RF, la teoría de antenas y el funcionamiento de la tecnología GSM. Con todos estos conceptos ya explorados, nos dimos a la tarea de analizar, de manera general,

los problemas más relevantes alrededor de la telefonía celular y los motivos por los que dichos problemas se presentan. Una vez hecho esto, concordamos en la necesidad de buscar una solución global a todos esos problemas; para ello, analizamos tres posibles soluciones: por optimización de recursos, por repetidor y por microcélula. De estas tres, presentamos las principales características que las conforman, mostrando tanto ventajas como desventajas de cada una de ellas.

El siguiente paso consistió en el análisis del caso específico del corporativo con problemas de cobertura. Dicho inmueble fue descrito desde todos los aspectos técnicos que nos atañen: la zona en la que se ubica, la infraestructura del mismo, las BTSs que lo circundan, así como el volúmen de tráfico en ellas. Para ello se hicieron mediciones precisas que nos mostraron la forma en que se le da cobertura a este inmueble y las zonas en las que dicha cobertura se vuelve deficiente.

Ya con todos estos datos a la mano, se tuvo un panorama completo del inmueble y la manera en que había que atacar el problema, por lo que sólo faltaba decidir, cual de las soluciones habría que elegir. Después de analizar todas las variables, se optó, finalmente, por la solución por microcélula *indoor*. Esta solución, aun cuando es la más costosa, fue la única que nos proporcionaba las características necesarias para poder brindar una cobertura limpia y uniforme en todo el inmueble, sin afectar la cobertura ya existente en sus alrededores.

Con la solución elegida, se procedió a realizar el diseño y desarrollo de cálculos, con base en los cuales se realizaría la implementación. Para ello, primero se tuvo que hacer una selección del equipo que se usaría, basándonos, tanto en acuerdos comerciales como en la calidad del equipo. Los cálculos se hicieron de acuerdo a normativas ya establecidas por los fabricantes, y con base en la estructura del inmueble, esto es, éste estaba diseñado de manera tal que los pisos mostraban una estructura muy parecida, por lo que se optó por realizar cálculos genéricos sobre todos aquellos pisos que tuvieran estructura similar. De ahí

que, finalmente, se tuvieron 3 tipos de pisos: Oficinas, *Penthouse* y Sótanos, y por lo tanto, 3 cálculos genéricos para cada uno.

Para poder solventar los costos de la implementación, se tuvo que realizar un análisis de rentabilidad, que nos indicara el tiempo estimado y el real para la recuperación de la inversión, lo cual arrojó que el tiempo real sería de una cuarta parte del tiempo estimado en un inicio. Esto, considerando desde el punto de vista de la empresa de telefonía celular, es un tiempo bastante bajo.

Finalmente, se procedió a la implementación de la microcélula, para lo cual se trabajó en conjunto con un contratista, el cual se encargó de la instalación de cableado y equipo, de acuerdo al diseño establecido. Dicha instalación fue supervisada y aprobada por nosotros, una vez hechas las respectivas pruebas de potencia en cada uno de los equipos finales y haber comprobado el buen estado de las conexiones. Con ello, se hizo la puesta a punto de la microcélula, y se realizaron pruebas de cobertura final, así como de calidad. Dichas pruebas nos mostraron resultados satisfactorios en todo el inmueble; piso por piso, la cobertura medida fue mayor al mínimo establecido. Se demostró, a su vez, que la calidad de la señal también estaba por encima de los estándares, y el volumen de tráfico se mantenía en un promedio de 45 Erlangs, 15 por debajo del máximo para esta microcélula, lo cual le da un margen para el futuro crecimiento del corporativo, sin necesidad de implementar nuevo equipo. Se demostró también que la interferencia provocada, en un principio, por la presencia de múltiples servidores, se había eliminado; aun cuando estos seguían presentes en el inmueble, el nivel de potencia de la señal de la microcélula implementada era mucho mayor a todos ellos, y por lo tanto, los opacaba.

Con los resultados obtenidos, observamos que el proyecto de implementación de un sistema de comunicaciones *indoor* para un corporativo, fue desarrollado exitosamente, ya que alcanzamos el objetivo medular de nuestro trabajo de tesis, al brindar una cobertura de calidad al inmueble en cuestión.

VI.1.1. Retorno de inversión esperado

En el capítulo cuatro se realizó un estudio de evaluación económica que pretendía la recuperación de la inversión en un lapso no mayor a 3 años posteriores a la instalación; dicho estudio nos sugirió como requisitos mínimos contar con 1400 abonados y 9.8 erlangs de tráfico al mes, generando con esto una facturación de \$295,960.00 mensual y destinando el 22.55% de dicha facturación a retorno de inversión.

En la tabla VI.1 se muestra la facturación real obtenida posterior a la instalación de la microcélula durante el primer mes de servicio.

Cantidad de abonados	2400
Tráfico mensual promedio (erlangs)	43
Facturación generada por 1 erlang al mes	\$30,200.00
Facturación mensual	\$1,298,600.00

Tabla VI.1. Facturación obtenida durante el primer mes de servicio de la microcélula.

Ahora bien, como mencionamos anteriormente, el retorno de inversión que estamos dispuestos a destinar de la facturación mensual del corporativo es el 22.55%, esto equivale a un retorno de inversión de \$292,834.30 mensuales, lo que nos indica que la inversión de la implementación de la microcélula dentro del corporativo, recordando que el proyecto tuvo un costo de \$2,402,879.00, espera ser recuperada en un lapso de poco más de 8 meses aproximadamente, debido a que la información de tráfico es un promedio y puede variar mensualmente; después de ese periodo de recuperación de inversión el 22.55% de la facturación que había sido destinado a retorno de inversión se convertirá en ganancia neta para la compañía.

En la tabla VI.2 mostramos un comparativo de la situación mínima esperada para que la implementación de microcélula sea rentable en el corporativo contra la situación obtenida durante el primer mes de servicio dentro del corporativo posterior a la instalación de dicha microcélula.

	Mínima deseada	Primer mes de servicio
Número de usuarios	1400	2400
Cantidad de tráfico en erlangs	9.8	43
Facturación mensual del corporativo	\$295,960.00	\$1,298,600.00
Retorno de inversión	\$66,746.64	\$292,834.30
Tiempo de recuperación de inversión (meses)	36	8

Tabla IV.2. Comparativo de situación mínima deseada contra primer mes de servicio.

De la tabla VI.2 concluimos que la implementación de la solución por microcélula *indoor* para este corporativo en particular es rentable para la compañía, sobre todo debido a que el retorno de inversión se genera en poco más de una cuarta parte del mínimo tiempo estimado, el tráfico por hora claramente es mucho mayor y existen muchos más usuarios a comparación del mínimo requerido.

VI.2. CONCLUSIONES

Para el caso de comunicaciones dentro de un corporativo, se requería de una infraestructura de red que fuera capaz de satisfacer las necesidades de comunicación y que ofreciera un soporte confiable mediante nuevas tecnologías de redes de comunicación inalámbrica personal, dentro de un espacio cerrado. Estas razones dieron origen a nuestro proyecto. Como hemos mencionado en el apartado anterior, el principal objetivo de nuestra tesis es ampliar la cobertura a los pisos superiores del corporativo. Con base en este objetivo, diseñamos una solución basada en la implementación de una microcélula, capaz de brindar cobertura de señal GSM de calidad en todo el corporativo. Esta solución atiende a las necesidades comunicación de los usuarios que laboran en dicho inmueble.

VI.2.1. Ventajas de la solución implementada a nivel usuario

Dado que el hecho de ser nuestra solución un sistema diseñado para cubrir las necesidades de comunicación celular específicas del corporativo, dicho sistema no solamente representa ventajas de aspecto técnico, también proporciona grandes ventajas a los usuarios.

Algunas de las ventajas que identificamos a nivel usuario son:

- Dentro del corporativo en el que hemos implementado nuestra solución, no sólo se brinda cobertura a los usuarios corporativos, sino también a todos aquellos usuarios que cuentan con un teléfono celular GSM.
- Los usuarios muestran más confianza al utilizar sus móviles, ya que la principal ventaja que nuestra solución proporciona a nivel usuario, es que sus móviles puedan percibir una señal de GSM. Esto implica comunicación oportuna y disponible de manera inmediata desde cualquier lugar ubicado dentro del corporativo, hacia cualquier cliente ubicado en cualquier parte del país. Y no sólo en cuanto a llamadas se refiere, sino también en aquellos servicios GSM que los abonados tengan contratados.
- Las llamadas se realizan con más alta calidad en este tipo de comunicaciones, ya que no es necesario reducir la capacidad de los canales debido a que el tráfico también ha sido canalizado a una sola BTS (microcélula), la cual cuenta con mayor capacidad de tráfico en comparación con las BTS's vecinas del inmueble.
- Otro de los beneficios que se proporciona al usuario, es poder trasladarse dentro de su centro de trabajo realizando una llamada sin intermitencias ni pérdida como anteriormente ocurría, ya que la microcélula brinda cobertura completa y de calidad en cualquier área dentro del corporativo.

Sin lugar a duda estos beneficios proporcionados a los usuarios, contribuyen al buen desempeño de sus labores. Por ende la empresa, podrá resolver en tiempo y forma todas las problemáticas que requieran el respaldo de un sistema de telefonía celular eficiente, basado en tecnologías disponibles en nuestro país.

Ahora bien, es importante destacar que debido al proceso que implica la implementación de la solución, desde el análisis hasta la puesta a punto, de acuerdo a nuestra propuesta, se requiere de una inversión de tiempo considerable. Sin embargo, es un proceso necesario que requiere de dicha inversión para brindar la solución que proporcione comunicación a los usuarios.

Los beneficios, debidos a la implementación del sistema de cobertura *indoor* en el corporativo, son perceptibles tanto a nivel usuario como a nivel empresa. Hemos considerado las ventajas a nivel usuario, por lo que en el siguiente apartado nos enfocamos en los impactos y beneficios de este proyecto a nivel empresarial.

VI.2.2. Impactos y beneficios empresariales

Para toda empresa, el estar comunicado en todo momento es esencial, esta necesidad la han cubierto la telefonía local, el Internet, pero sobre todo la telefonía celular.

Ahora bien, económicamente hablando, los beneficios empresariales son extensos. Como se mencionó en capítulos previos, el avance tecnológico ha sido bastante amplio en los últimos años, lo que ha generado que la telefonía celular se haya convertido en una de las más importantes en el mundo actual.

Actualmente las empresas mexicanas, ya sean grandes corporativos o pequeños negocios, cuentan con planes de comunicación celular con distintos operadores dentro del país, cada uno de ellos ofrece distintos servicios y una tarifa especial para sus abonados.

El objetivo del operador es dar el mejor servicio a sus abonados, con la finalidad, en primer lugar, de mantener a los usuarios existentes satisfechos, y como segundo punto, obtener más contratos, en especial de empresas, ya que éstas facturan muchos usuarios en un solo contrato, esto se traduce en mayores ganancias para el operador.

Como vimos previamente, la implementación de una microcélula *indoor* es una solución práctica y rentable para ofrecer una mejor cobertura a un inmueble; se redujo el efecto de múltiples servidores, se aumentó la cobertura a la parte alta del edificio sin incrementar la radiación fuera de él, impidiendo la aparición del efecto de múltiples servidores en inmuebles cercanos. La inversión es fuerte, pero se recuperara en un lapso no mayor a un año; el corporativo tendrá servicio ininterrumpido para todo el personal que labore y visite el

inmueble, y esto logra que el cliente este satisfecho con el servicio y, que por la cantidad de usuarios que factura, los precios sean competitivos dentro del mercado.

Concluimos que para la empresa que presta el servicio de comunicación móvil es una buena inversión contar con la tecnología necesaria para hacer implementaciones como la presentada en este trabajo de tesis (instalación de una microcélula *indoor*), de esta manera logra no sólo satisfacer al cliente y mantener un buen nivel de servicio, también el operador adquiere una exclusividad de contrato con la empresa a la que esta instalando la solución de microcélula.

Ahora bien, para el corporativo al que se le implementa esta solución le resulta de igual manera rentable. Como se ha mencionado en el capítulo IV, la inversión del proyecto corre por cuenta del operador y no del corporativo, de manera que sin haber realizado ningún gasto se mejora la calidad de su comunicación telefónica móvil y puede buscar tarifas más económicas que permitan agregar más usuarios al contrato con el operado.

VI.4. OTRAS ÁREAS DE APLICACIÓN

Una técnica como lo es la implementación de una microcélula, presentada en este trabajo, podría abordarse para cualquier otro inmueble que tenga problemas de cobertura similares y en los que, una vez realizado el respectivo análisis, el perfil encaje con el tipo de solución que estamos presentando.

Aún cuando la red celular tiene una cobertura que abraza grandes zonas de la población, dicha red no puede garantizar la cobertura en todos los puntos (100%), ya que existen múltiples obstáculos físicos, arquitectónicos, de emplazamientos e incluso técnicos, que hacen que en algunos momentos se creen zonas de sombras, de las cuales, aunque algunas son temporales, las más son permanentes.

Uno de estos casos puede ser el de un centro de convenciones o de entretenimiento masivo (estadios, centros deportivos, etc.), en el que se pueden presentar dos casos: que haya

cobertura dentro del inmueble pero que, por falta de capacidad en la red, ésta no llegue a abastecer a toda la concurrencia presente en un evento o que, debido a la gran extensión del inmueble, las BTS's cercanas no lleguen a proveer de cobertura a todo el recinto. Para cualquiera de estos casos, la implementación de una microcélula, además de dotarlo de cobertura, brindaría una excelente calidad de servicio, tanto a los usuarios permanentes como a aquellos visitantes y huéspedes que, por lo general, son *roamers* internacionales. Además de ello, tendría la capacidad de manejar, en un momento dado, la gran cantidad de llamadas generadas a lo largo de un evento. Esto solucionaría dos problemas, por un lado, pondría remedio al problema de cobertura dentro del inmueble y por otro lado, aliviaría el volumen de tráfico que se presentaría en las BTS's cercanas en caso de que la microcélula no estuviera presente.

Los centros comerciales son un caso ideal para la puesta en marcha de una microcélula, dado que es un centro que además de cubrir una gran área geográfica, es un centro de atracción de usuarios, que desean en todo momento tener todos los servicios a la mano. Es por ello que contar con una buena calidad de señal en este tipo de lugares, implicará que el cliente no necesite salir del recinto para comunicarse, prolongando de esta forma su estadía en el lugar y su satisfacción con el servicio prestado. Además de los beneficios que esto implica, el sistema de antenas distribuidas que ofrece la microcélula puede ofrecer al centro comercial servicios tales como la localización de personas, transmisión de datos de alta velocidad, alarmas y seguridad, etc.

Otro centro masivo de comunicaciones lo son los aeropuertos. En ellos, la ventaja de nuestra solución es directa: los usuarios de *roaming* internacional. Es claro que una de las primeras cosas que hace un pasajero al salir del avión es comunicarse con su familia y/o clientes. La cobertura de un aeropuerto por medio de una microcélula es clave al momento de captar usuarios de roaming, pues el portátil del usuario se conectará a la portadora de mejor señal presente en el momento que se encienda.

Otro caso especial es el del Sistema de Transporte Colectivo, METRO, en el cual, debido a su misma infraestructura, es imposible que se registre cobertura dentro del mismo. En un caso así, la microcélula se convertiría en un proyecto de gran envergadura, dado que se estaría hablando de una cobertura subterránea que se extendería por más de 201 km de vías a lo largo de 175 estaciones, y que daría servicio a más de 4.2 millones de usuarios diarios, lo cual implicaría una demanda bastante grande de recursos, pero también de grandes beneficios a largo plazo.

El caso de los hospitales y clínicas es un tema bastante sensible, debido a la dificultad que provoca el manejo de señales de RF cerca de los equipos e instrumental médico presentes. Aún así, la solución por microonda sería viable, dada la posibilidad de regular, de manera puntual, la potencia que se transmite a cada antena dentro del inmueble, lo que garantizaría que los niveles de señal RF no provoquen ningún riesgo para la operación de los equipos médicos instalados ni para los pacientes internados. Además de ello, se estaría hablando del potencial que implica que los familiares de pacientes puedan hacer uso de los sistemas de comunicación GSM, a toda hora y en cualquier zona del hospital (con las debidas restricciones por cada área) para estar en contacto con sus allegados.

Como podemos constatar, el uso de una microcélula ofrece grandes ventajas para un gran número de usuarios finales, en una variedad de lugares dentro de una zona metropolitana. La viabilidad de su implementación, así como su costo y beneficios a largo plazo estarán dictados por las características propias de cada caso y son objeto de un análisis particular. Es así que este trabajo de tesis es una plataforma en la que se presenta de manera detallada el análisis con el respaldo técnico y económico que impulsa la implementación de una microcélula. Una técnica como ésta debe servir de motor para la creación de nuevas soluciones e implementaciones que puedan resolver los problemas futuros, derivados de nuevas tecnologías y aplicaciones, que, como lo hemos constatado a lo largo de los últimos años, están a un paso de distancia.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- Akaiwa, Y., *“Introduction to Digital Mobile Communication”*, Ed. John Wiley & Sons, Estados Unidos, 1997, pp. 365-368.
- Connor, A. et al, *“Telecomunicaciones Móviles”*, Ed. Alfa Omega, España, 1993.
- Ferrel, G., *“Sistemas de comunicación”*, Ed. Alfaomega.
- Hall, M. et al, *“Radiowave Propagation”*, Ed. IEE Electromagnetic Waves Series, Inglaterra, 1989, pp. 1-9, 13-14, 16-21.
- Herrera, E. et al, *“Introducción a las telecomunicaciones modernas”*, Ed. Limusa México, 2001, pp. 279-289.
- Parsons, J., *“The Mobile Radio Propagation Channel”*, Ed. John Wiley & Sons Inglaterra, 1999, pp. 1-33.
- Parsons, J., *“Mobile Communication Systems”*, Ed. Halsted Press, Inglaterra, 1989 pp. 15-23, 25-26, 68-89.
- Raymond, S., *“GSM, CDMA ONE and 3G Systems”*, Gould, Ed.Wiley.
- Rey, E., *“Telecomunicaciones Móviles”*, Ed. Alfaomega, España, 1995, pp. 103-110.
- Smillie, G. *“Analogue and Digital Comunication Techniques”*, Ed. Arndd, 1999.
- Tomasi, W. *“Sistemas de comunicaciones electrónicas”*, Ed. Prentice Hall, México, 1996, pp. 303-305, 359-366.

MANUALES

- *“Apis Training & Seminar”, GSM System Overview Intensive, APIS Technical Training AB, Sweden, 2002.*
- *Melendez, M., “Teoría de Antenas Curso TI 2.01”, Radio Club de Costa Rica, San José Costa Rica, 2001.*
- *“TDMA Systems Ericsson Telecom SA de CV”, ERICSSON, México, 2001.*

DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://en.wikipedia.org/>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang_unit
- <http://informatica.uv.es/iiguia/AER/Tema1.pdf>
- [http://telecom.fi-b.unam.mx/Telefonia/Telefonia_Celular2.htm#II.1.%20Primera%20Generación%20de%20Teléfonos%20Celulares.](http://telecom.fi-b.unam.mx/Telefonia/Telefonia_Celular2.htm#II.1.%20Primera%20Generación%20de%20Teléfonos%20Celulares)
- <http://www.cypsela.es/especiales/pdf170/entrevista.pdf>
- http://www.diagnosticstrategies.com/papers/Traffic_Modeling.pdf
- http://www.epcom.net/Productos/cable_coaxial_belden.htm
- <http://www.erlang.com/whatis.html>
- <http://www.google.com/>
- http://www.kemt.fei.tuke.sk/predmety/KEMT414_AK/_materialy/Cvicenia/GSM/OVERVIEW/overview.htm
- <http://www.monografias.com/trabajos30/cableado/cableado.shtml#sctp>
- <http://www.monografias.com/trabajos5/ponchado/ponchado.shtml>
- <http://www.nortel.com/news>
- http://www.portalgsm.com/documentacion_extendida/
- http://www.portalgsm.com/documentacion_extendida/99_0_17_0_C/
- http://www.radioptica.com/Fibra/tipos_fibra_optica.asp

- http://www.setravi.df.gob.mx/vialidades/transporte_vialidad.html
- <http://www.tarrani.net/mike/docs/TrafficEngineering.pdf>
- <http://www.telcel.com:13124/telcelinternet.nsf/frmDispNoticias?OpenForm#>
- <http://www.umtsforum.net/default.asp>
- <http://www.upv.es/antenas/>
- <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1487271>
- <http://www.yio.com.ar/fo/db.html>

APÉNDICE A

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- AMPS** *Sistema de Telefonía Móvil Avanzado (Advanced Mobile Phone System).* Es un sistema de telefonía móvil de primera generación (1G, voz analógica) desarrollado por los laboratorios Bell. Se implementó por primera vez en 1982 en Estados Unidos. Se llegó a implantar también en Inglaterra y en Japón, aunque con otros nombres TACS y MCS-L1, respectivamente.
- BNC** *Conector de tipo coaxial y de bayoneta (Bayonet Neil Councelman).* Cable conector utilizado en televisión, estaciones de trabajo y cables coaxiales, posee una forma cilíndrica que se ajusta con movimiento de espiral.
- BSC** *Controlador de Estaciones Base (Base Station Controller).* Se encarga de todas las funciones centrales y de control del subsistema de estaciones base.
- BTS** *Estaciones Base (Base Transceiver Station).* Se encarga de proporcionar, vía radio, la conectividad entre la red y las estaciones móviles.

- CCH** *Canales de Control (Control Channels). Canales que transportan señalización y sincronización entre la estación base y la estación móvil. Sus funciones y formas varían según el enlace.*
- CDMA** *Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access). Es un estándar digital que soporta velocidades de comunicación de datos de alrededor de 14.4 kbps vía conmutación de paquetes y vía conmutación de circuitos. Es un método de transmisión móvil celular de espectro extendido, que permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de radiofrecuencia por asignación de un código único a cada usuario activo.*
- CEPT** *Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications). Es un organismo internacional que agrupa a las entidades responsables en la administración pública de cada país europeo de las políticas y la regulación de las comunicaciones, tanto postales como de telecomunicaciones.*
- CSD** *Circuito de Datos Conmutado (Circuit Switch Data). Es una conexión de datos a través de circuitos conmutados o canales de voz, en donde se puede enviar y recibir información (e-mails, imágenes, gráficos, etc.).*
- D-AMPS** *Sistema Digital de Telefonía Móvil Avanzado (Digital Advanced Mobile Phone System). Es una actualización del estándar analógico AMPS.*
- EIR** *Centro de Autenticación de Estaciones Móviles (Equipment Identity Register). Las terminales móviles tienen un identificador único, el IMEI (International Mobile Equipment Identity), el EIR se utiliza para mantener una relación de las identidades de los equipos abonados, a través de él resulta posible identificar aquellos usuarios autorizados.*

- ETSI** *Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones Europeo (European Telecommunications Standards Institute)*. Organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial.
- FCC** *Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission)*. Su principal función es la de mantener el control sobre el amplio sector de las telecomunicaciones en los Estados Unidos.
- FDD** *División de Frecuencia Dúplex (Frequency Division Duplexing)*. Modo de frecuencia en el cual existen dos portadoras por canal de radio, estas portadoras son utilizadas para las transmisiones del enlace ascendente y descendente; el enlace de subida utiliza una banda de frecuencias diferente al que utiliza el enlace de bajada.
- FDMA** *Acceso Múltiple por División de Frecuencia (Frequency Division Multiple Access)*. Estándar de telefonía celular analógica de 1G (1ª Generación) basado en AMPS y TACS. FDMA divide los canales de radio en una gama de radiofrecuencias. Asigna un canal por usuario y no pueden acceder otros mientras la conversación esté activa.
- FEC** *Factor de Corrección de Errores (Forward Error Correction)*. Es una técnica de corrección de errores que toma un conjunto de símbolos que representan la información a la entrada y les añade redundancia, produciendo símbolos de salida diferentes y más grandes. Permite recuperar la información perdida a costa de requerir un ancho de banda mayor en la transmisión.
- FSK** *Modulación por Corrimiento de Frecuencia (Frequency Shift Keying)*. Modulación de frecuencia digital utilizada en la transmisión de información de control en el estándar TACS.

- GMSK** *Modulación Gaussiana por Desplazamiento Mínimo (Gaussian Minimum Shift Keying)*. Modulación digital de frecuencia con filtro gaussiano de premodulación, utilizada en el sistema celular de segunda generación.
- GPRS** *Servicio General de Paquetes de Radio (General Packet Radio Service)*. Es una mejora de la red GSM que introduce la transmisión de datos por conmutación de paquetes. Utiliza el espectro de radio disponible de manera más eficiente, permitiendo un acceso a mayor ancho de banda que el de las conexiones estándar. Puede aplicarse también en las redes TDMA.
- GSM** *Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile communications)*. Estándar mundial de telefonía celular digital para comunicaciones móviles de segunda generación desarrollado en Europa, con la colaboración de operadores, administraciones públicas y empresas. También es formalmente conocido como Grupo Especial Móvil (*Group Special Mobile*).
- HCS** *Circuito Conmutado de Datos de Alta Velocidad (High Speed Circuit Switch Data)*. Es una conexión de datos a través de circuitos conmutados o canales de voz pero con mayor velocidad que CSD y con las mismas características, a excepción de que podrás utilizar de 1 hasta 3 canales de voz para la transmisión dependiendo de la disponibilidad de los mismos en la red, ofreciendo así una mayor capacidad de transmisión de datos (ancho de banda) y por ende una mayor velocidad. La velocidad promedio de transmisión depende de la disponibilidad de los canales y de las características del equipo celular, variando de 14.4 kbps hasta 43.2 kbps.
- HLR** *Registro de Posiciones Base (Home Location Register)*. Es una base de datos que contiene y administra la información de los abonados, mantiene y actualiza la posición del móvil y la información de su perfil de servicio.

- HTML** *Lenguaje de Etiquetas de Hipertexto (Hyper Text Markup Language)*. Lenguaje utilizado para crear documentos en la WWW. Sólo permite la distribución de textos y fotos.
- IMTS** *Servicio de Telefonía Móvil Mejorado (Improved Mobile Telephone System)*. Es un sistema de comunicación móvil analógico que fue implementado en los años 60's, con muy poco éxito. Pertenece a la generación uno de telefonía móvil, también conocida como G0.
- ISDN** *Red Digital de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Network)*. La ISDN ó RDSI utiliza el par de cobre en el acceso y las centrales digitales de conmutación existentes en la red, para transportar los nuevos servicios a la terminal del cliente. La RDSI ofrece dos tipos de acceso: acceso básico y acceso primario.
- LAN** *Redes de Área Local (Local Area Network)*. Conjunto de computadoras y otros dispositivos comunicados entre sí dentro de una área pequeña.
- MMS** *Servicio de Mensajería Multimedia (Multimedia Messaging Services)*. Servicio con el cual se pueden enviar y recibir imágenes, clips de audio y texto, en un único mensaje; no sólo de teléfono a teléfono, sino también a una dirección de correo o viceversa.
- MOU** *Memorandum de Entendimiento (Memorandum of Understanding)*. Documento legal que describe un acuerdo realizado entre distintas empresas o sociedades.
- MS** *Estaciones Móviles (Mobile Station)*. Es el punto de entrada a la red móvil inalámbrica. Es el equipo físico usado por el usuario GSM para acceder a los servicios proporcionados por la red.

- MSC** *Central de Conmutación de Móviles (Mobile Services Switching Center).* Se encarga de enrutar el tráfico de llamadas entrantes y salientes, y de la asignación de canales de usuario en la interfaz entre el MSC y las BSCs.
- MSK** *Modulación por Desplazamiento Mínimo (Minimum Shift Keying).* Es un método de modulación digital derivado de la modulación por desplazamiento de fase y que se utiliza en el sistema GSM de telefonía celular.
- MTSO** *Central de Conmutación de Telecomunicaciones Móviles (Mobile Telecommunications Switching Office).* Maneja todas las llamadas desde y para celulares y la tarificación. Tiene una operación semejante a las centrales telefónicas convencionales.
- NMT** *Sistema de Telefonía Móvil Nórdico (Nordic Mobile Telephony).*
- NTT** *Compañía de Teléfonos y Telégrafo Japonés.*
- PLMN** *Servicios de Red Pública Móvil Terrestre (Public Land Mobile Network).* Una red establecida y operada por una administración con la finalidad específica de proveer servicios móviles.
- PSTN** *Red Pública Telefónica Conmutada (Public Switched Telephone Network).*
- RF** *Radiofrecuencia.* Ondas electromagnéticas comprendidas en un rango de frecuencia entre 30 kHz y 300 GHz.
- ScTP** *Par Trenzado de Papel Metálico (Screened Twisted Pair).* El ScTP consiste, básicamente, en cable UTP envuelto en un blindaje de papel metálico.
- SHF** *Frecuencias Super Altas (Super High Frequencies).*

- SMS** *Servicios de Mensajes Cortos (Short Message Services)*. Es la tecnología que permite enviar mensajes de texto y recibirlos a través de teléfonos móviles, maquina de fax y/o direcciones IP.
- STP** *Par Trenzado Blindado (Shielded Twisted Pair)*. Es formado por una capa exterior plástica aislante y una capa interior de papel metálico, dentro de la cual se sitúan normalmente cuatro pares de cables, trenzados par a par, con revestimientos plásticos de diferentes colores para su identificación. Combina las técnicas de blindaje, cancelación y trenzado de cables.
- TACS** *Sistema de Comunicación de Acceso Total (Total Access Communication System)*. Sistema analógico de telefonía celular utilizado principalmente en Europa. Su diseño es posterior al desarrollo del sistema AMPS en Estados Unidos.
- TCH** *Canales de tráfico (Traffic Channels)*. Canal lógico de tráfico en el sistema GSM.
- TDMA** *Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access)*. Permite multiplexar varias llamadas sobre una portadora de radio, mediante la división de la frecuencia portadora en intervalos de tiempo, cada uno de los cuales constituye un circuito telefónico independiente. Cada llamada es asignada a un intervalo de tiempo.
- UHF** *Frecuencias Ultra Altas (Ultra High Frequency)*. Es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.
- UMTS** *Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System)*. Sistema europeo de tercera generación (3G) para comunicaciones móviles. Utiliza tecnologías W-CDMA y TD-CDMA.

- UTP** *Par Trenzado no Blindado (Unshielded Twisted Pair)*. Está compuesto por cuatro pares de hilos, trenzados par a par, y revestidos de un aislante plástico de colores para la identificación de los pares. Cada par de hilos se encuentra aislado de los demás. Al igual que el cable STP, el cable UTP debe seguir especificaciones precisas con respecto a cuanto trenzado se permite por unidad de longitud del cable.
- VHF** *Frecuencias Muy Altas (Very High Frequency)*. Banda de frecuencias de radio comprendidas entre 30 y 300 MHz.
- VLR** *Registro de Posiciones de Visitante (Visitor Location Register)*. Diseñado para no sobrecargar el HLR. Guarda localmente la misma información que el HLR, cuando el abonado se encuentra en modo *roaming*.
- WAN** *Redes de Cobertura Amplia (Wide Area Network)*. Conjunto de computadoras y otros dispositivos comunicados entre sí, colocados dentro de un espacio geográfico de amplias dimensiones.
- WAP** *Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas (Wireless Application Protocol)*. Permite a los dispositivos móviles (adaptados a esta tecnología) adecuar el acceso a páginas Web.
- WML** *Lenguaje de Marcado para Telefonía Inalámbrica (Wireless Markup Language)*. Lenguaje basado en XML (*eXtensible Markup Language*).

APÉNDICE B

DECIBEL

El Decibel (dB) es una unidad de medida adimensional y relativa (no absoluta), que es utilizada para facilitar el cálculo y poder realizar gráficas en escalas reducidas, permite expresar ganancias o pérdidas de potencia y se define como:

$$G[dB] = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (B.1)$$

En donde:

G = Ganancia [dB]

P_1 = Potencia de salida [W]

P_2 = Potencia de entrada [W]

Si la potencia de salida es menor que la potencia de entrada se obtiene una ganancia con signo negativo, normalmente eso es conocido como atenuación, en este caso la letra G es sustituida por la letra A. En el caso de utilizar la letra G se utiliza una G positiva para ganancia y G negativa para atenuación, ahora bien en el caso de usar la letra A, una A positiva se refiere a atenuación y una A negativa se refiere a ganancia.

Por otra parte, debe quedar claro que el dB es una unidad de medida relativa, ya que mide una potencia con relación a otra.

Cabe mencionar que, en mediciones de potencia, se debe conocer la atenuación de la señal a salida del sistema a comparación de la potencia que tiene dicha señal a la entrada; por este motivo, el valor de -3 dB es muy importante, debido a que nos indica una atenuación a la salida de la mitad de la potencia de entrada.

Otra unidad de medida es el dBm, aunque en este caso se trata de una unidad de medida absoluta referida a 1mW. Una potencia en dBm está definida por:

$$G[dBm] = 10 \log \frac{P_1}{1mW} \quad (B.2)$$

En donde:

G = Ganancia [dB]

P₁ = Potencia de salida [mW]

Esta unidad es importante debido a que no se necesita conocer la potencia de la señal de entrada al sistema, y es un dato técnico que el fabricante de equipo de comunicación suele ofrecer al usuario. 0 dBm entonces equivale a 1 mW, esto es que por cada mW que tengamos a la entrada obtendremos 1 mW a la salida. Obviamente que pueden expresarse potencias en dBm con signo negativo, es decir, aquellas que equivalen a menos de 1 mW.

Otra unidad de potencia absoluta es el dBW, que se define igual que el dBm pero referido a 1W. De la misma forma definimos el dBr, pero en vez de tomarse una potencia de referencia de 1 mW o 1 W, se establece una potencia X de referencia.

APÉNDICE C

ERLANG

El Erlang es una unidad adimensional, utilizada en telecomunicaciones para representar el volumen de tráfico telefónico por unidad de tiempo. Su nombre proviene del ingeniero danés, A. K. Erlang, creador de teorías de probabilidades referentes al consumo telefónico.

El volumen de tráfico se determina por el número de servicios requeridos por unidad de tiempo y el intervalo de uso de cada servicio; dado que el Erlang es una unidad adimensional, esto quiere decir que la unidad de tiempo empleada depende únicamente de los intervalos que se quieran manejar. De este modo, si se quiere calcular el consumo en Erlangs por hora, esto se hace de acuerdo a la fórmula C.1.

$$C_E = N_h \times D_h \quad (C.1)$$

En donde:

C_E = consumo dado en Erlangs

N_h = número de llamadas en una hora

D_h = duración de cada llamada en horas

De este modo, podemos decir que 1 Erlang equivale al consumo de una línea telefónica durante una hora de uso continuo.

Existen diferentes modelos de tráfico, derivados del Erlang, usados para estimar el número de líneas requeridas en una red de telecomunicaciones o las líneas necesarias para derivar hacia la central telefónica. Entre los más importantes se encuentran el Erlang B, el Erlang B extendido y el Erlang C.

Erlang B. Este es el modelo de tráfico más usado en telecomunicaciones y sirve para identificar cuantas líneas telefónicas son requeridas a partir del esquema de tráfico durante las horas pico de consumo. Con este modelo, se calcula la probabilidad de llamadas bloqueadas por el sistema (tono de ocupado) y que se convierten, a su vez, en llamadas pérdidas, dado que se asume que todas las llamadas bloqueadas son desechadas inmediatamente. El cálculo para la probabilidad de bloqueo de llamadas está dado en la fórmula C.2.

$$P_b(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (C.2)$$

En donde:

$P_b(N, A)$ = probabilidad de bloqueo

N = número de líneas telefónicas

A = volumen de tráfico dado en Erlangs

En general, se considera que una P_b del 1% es el máximo permitido para un desempeño óptimo en una PSTN o una troncal PBX.

Erlang B extendido. Este modelo es una mejora del Erlang B, dado que para éste se intuye que un porcentaje de las llamadas bloqueadas reintentarán su reconexión posteriormente. De la fórmula C.3 a la C.7 se muestran los pasos para calcular el Erlang B extendido, el cual se basa en iteraciones para el volumen de tráfico. Para su cálculo es necesario contar con la

capacidad total en Erlangs del sistema, el número de líneas y el porcentaje de llamadas bloqueadas que reintentarán el marcado.

Partiendo de la fórmula C.2 para Erlang B, se obtiene una probabilidad P_b , de ahí, se calculan los siguientes datos:

$$Be = N \times P_b \quad (C.3)$$

$$B = Be \times FR \quad (C.4)$$

$$C = (N - Be) + B \quad (C.5)$$

$$T_{CB} = C + B \quad (C.6)$$

$$N_i = N + B \quad (C.7)$$

En donde:

B_e = cantidad de Erlangs bloqueados

N = volumen de tráfico original

P_b = probabilidad de bloqueo

B = volumen de tráfico desechado

FR = factor de reintento de llamada

C = volumen de tráfico transportado

T_{CB} = suma de volumen de tráfico transportado mas el desechado

N_i = suma del volumen de tráfico original mas el tráfico desechado y que será la nueva N para la siguiente iteración

Aun cuando este proceso es el más complicado de los tres modelos, es el más preciso para la mayoría de las situaciones reales, ya que se basa en el hecho de que un usuario al escuchar el tono de ocupado, intentará marcar de nuevo.

Erlang C. A diferencia del modelo B, en éste se asume que todas las llamadas bloqueadas permanecerán en el sistema hasta que se logre su conexión. Este esquema sirve principalmente para el diseño de *Call Centers*, ya que toma en cuenta que si las llamadas no son atendidas inmediatamente, entran a un proceso de llamada en espera (*queuing*) hasta

que un servidor esté disponible. Con la fórmula C.8 se calcula la probabilidad P_c de que una llamada tenga que esperar por el servicio si N agentes o servidores están asignados para atender el volumen de tráfico A .

$$P_c(N, A) = \frac{\frac{A^N N}{N!(N-A)}}{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{A^i}{i!} + \frac{A^N N}{N!(N-A)}} \quad (C.8)$$

En donde:

$P_c(N, A)$ = probabilidad de bloqueo

N = número de agentes o servidores

A = volumen de tráfico dado en Erlangs

De la fórmula anterior, al considerar N agentes, se obtiene una probabilidad de bloqueo dada; ahora bien, si se parte de una probabilidad P_c deseada, se debe aproximar el número de agentes N para dicha probabilidad, lo que en realidad nos arrojaría en realidad cuantos agentes son necesarios en un *Call Center*, si se quiere dar un servicio de una calidad predefinida por la probabilidad de bloqueo de llamadas.

Aun cuando el Erlang no es una medida registrada en el Sistema Internacional, es de suma importancia para el manejo de tráfico en telecomunicaciones, ya que nos da un estimado de la cantidad de líneas telefónica que deben considerarse en el diseño de una red o en la interconexión entre varias redes.

APÉNDICE D

ZONAS DE FRESNEL

En los sistemas de comunicación móvil, un criterio para verificar si no hay obstáculos en el trayecto radioeléctrico entre la BTS, y el móvil y considerar la propagación en el espacio libre, es tener limpia de obstáculos la primera zona de Fresnel, como se ve en la figura D.1.

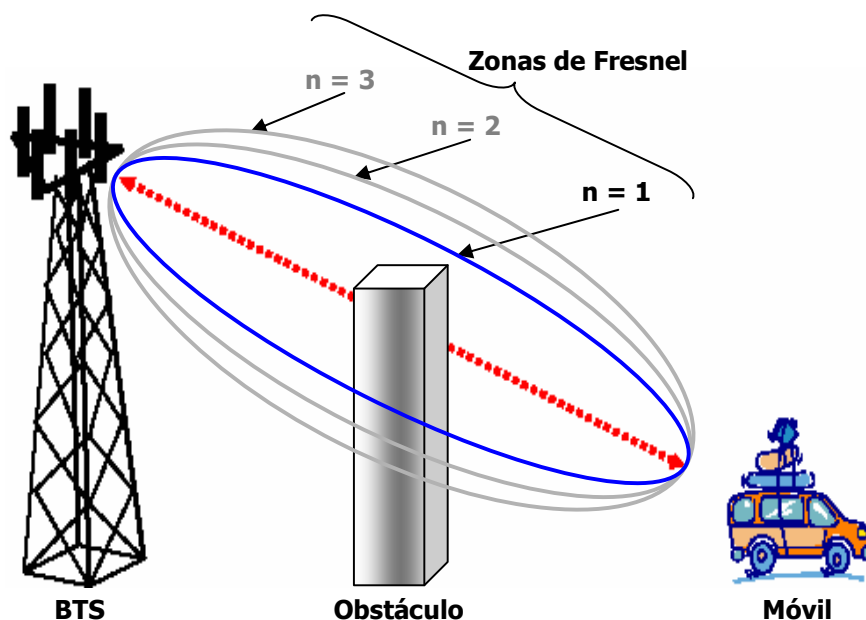


Figura D.1. Zonas de Fresnel entre el móvil y la BTS.

Para explicar las zonas de Fresnel, vamos a ayudarnos de un ejemplo gráfico. Consideremos la situación de la figura D.2 en que el transmisor y receptor están separados una distancia R. A una distancia d1 del transmisor, donde se halla el obstáculo, se define un plano P infinito, perpendicular a la línea que une a la antena transmisora con el móvil.

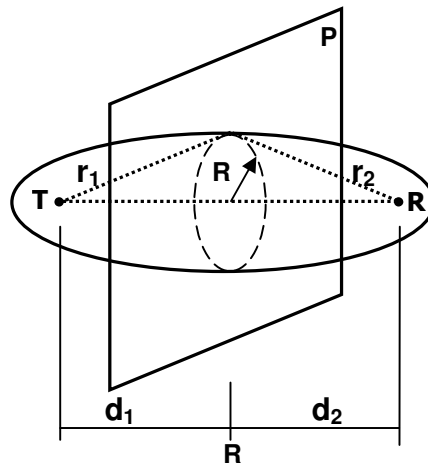


Figura D.2. Zona de Fresnel con un plano ubicado como obstáculo.

Se definen las zonas de Fresnel como la región definida por los puntos del espacio que cumplen con la siguiente relación:

$$(r_1 + r_2) - R = n \frac{\lambda}{2} \quad (D-1)$$

En donde:

n = Número de la zona de Fresnel

λ = Longitud de onda de la frecuencia de operación

La propagación de las ondas de radio entre los dos puntos no se propaga en línea recta, sino que debido a consideraciones de dispersión, la propagación se realiza en un área elíptica por encima y debajo de la línea recta del pasaje visual entre los dos puntos a interconectar. Esta zona elíptica se llama la zona de Fresnel. Las zonas de Fresnel son elipsoides de revolución cuyo eje mayor tiene una longitud de $R + n\lambda/2$. La intersección de las zonas de Fresnel con el plano P son circunferencias, las cuales se muestran en la figura D.3.

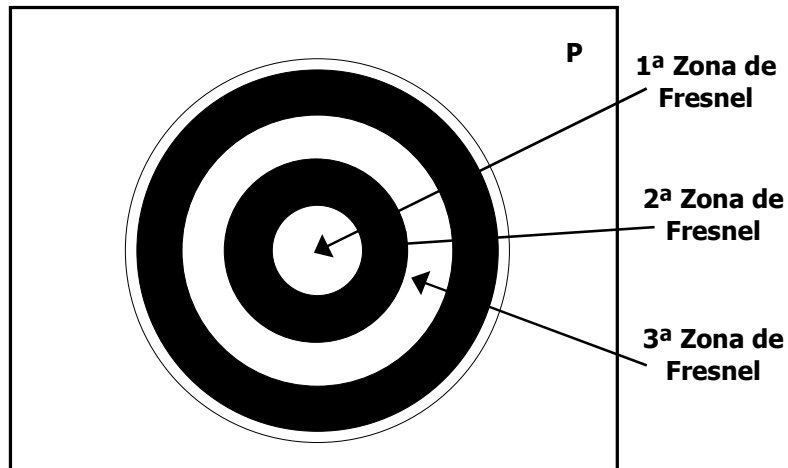


Figura D.3. Cortes al plano P, con las tres primeras zonas de Fresnel.

Para calcular los radios de las circunferencias que forman las elipsoides de las zonas de Fresnel, al ser cortadas por el plano P, para el caso que dicho radio sea mucho menor que d_1 y d_2 , se tiene la siguiente expresión:

$$R_n = \sqrt{n\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (D-2)$$

En donde:

R_n = Radio de la n-ésima zona de Fresnel

El radio de la primera zona de Fresnel permite definir la condición de visibilidad entre transmisor y receptor, de tal forma que mientras no exista un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel se considera que la trayectoria no ha sido obstruida. Por el contrario, cuando el obstáculo se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel existirá una disminución apreciable en la potencia recibida, por lo que se considera que la trayectoria ha sido obstruida y deberá considerarse el efecto de la difracción. En consecuencia, las obstrucciones en el paso de la primera zona de Fresnel deterioran la calidad de la transmisión, como también la reducción de la distancia operacional entre los dos puntos. El estándar de la industria es el de mantener alrededor del 60% de la zona de Fresnel libre de cualquier obstáculo.

APÉNDICE E

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este apéndice se presentan las características técnicas que describen los equipos utilizados en el diseño del proyecto de cobertura GSM para el interior de un corporativo.

Los equipos y materiales que se incluyen en este apéndice son:

Equipo principal

Microcélula E.2

Sistema de Distribución de antenas

MAIN HUB E.3

EXPANSIÓN HUB E.4

RAU E.6

Antenas Direccionales E.7

Antenas Omnidireccionales E.8

MICROCÉLULA

RBS 2308 *Micro RBS*

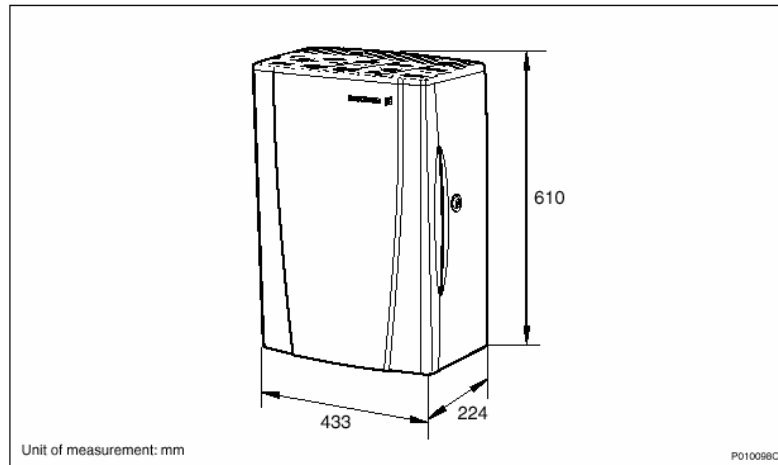


Table 1 Dimensions for the RBS, With and Without Options

Dimension	Basic RBS 2308	RBS 2308, Maximum Dimensions
Height	610 mm	790 mm ⁽¹⁾
Width	433 mm	433 mm
Depth	224 mm	270 mm ⁽²⁾

(1) With Integral Omni Antenna or Fan Unit.

(2) With RXBP or Integral Sector Antenna.

The following estimated output power is valid for RBS 2308:

Table 8 Estimated Output Power

Frequency	Output Power
GSM 800	34.0 dBm
E-GSM 900	34.0 dBm
GSM 1800	33.5 dBm
GSM 1900	33.5 dBm

Transmission

The RBS 2308 supports the E1 and T1 transmission compliant with the G.703 standard.

Characteristics of the E1 standard are:

- 2048 kbit/s
- 75 Ω or 120 Ω

Characteristics of the T1 standard are:

- 1544 kbit/s
- 100 Ω

MAIN HUB

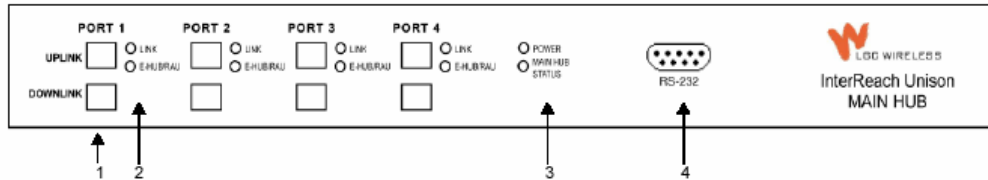
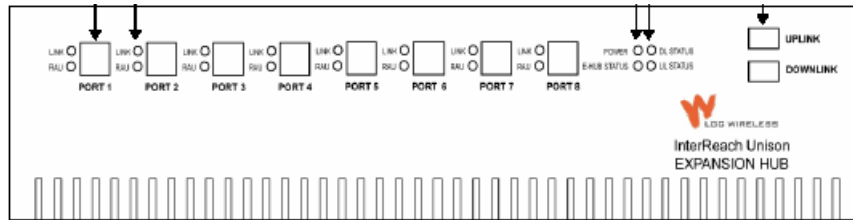


Table 3-3 Main Hub Specifications

Specification	Description
Enclosure Dimensions (H × W × D):	44.5 mm × 438 mm × 305 mm (1.75 in. × 17.25 in. × 12 in.)
Weight	< 3 kg (< 6.5 lb)
Operating Temperature	0° to +45°C (+32° to +113°F)
Non-operating Temperature	-20° to +85°C (-4° to +185°F)
Operating Humidity, non-condensing	5% to 95%
External Alarm Connector (contact closure)	1 9-pin D-sub, female Maximum: 40 mA @ 40V DC Typical: 4 mA @ 12V DC
Serial Interface Connector	1 RS-232 9-pin D-sub, male
Fiber Connectors	4 Pair, SC/APC ^a
RF Connectors	2 N-type, female
LED Fault and Status Indicators	Unit Status (1 pair): <ul style="list-style-type: none"> • Power • Main Hub Status Downstream Unit/Link Status (1 pair per fiber port): <ul style="list-style-type: none"> • Link • E-Hub/RAU
AC Power	Rating: 100–240V, 0.5A, 50–60 Hz Operating Range: 85–250V, 2.4–0.8A, 47–63 Hz
Power Consumption (W)	30
MTBF	106,272 hours

- a. It is critical to system performance that only SC/APC fiber connectors are used throughout the fiber network, including fiber distribution panels.

EXPANSION HUB



Operating Frequencies

Freq. Band	RF Passband	
	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)
A & D Band	1930–1950	1850–1870
D & B Band	1945–1965	1865–1885
B & E Band	1950–1970	1870–1890
E & F Band	1965–1975	1885–1895
F & C Band	1970–1990	1890–1910
DCS1 Band	1805–1842.5	1710–1747.5
DCS2 Band	1842.5–1880	1747.5–1785
DCS4 Band	1815–1850	1720–1755
–	869–894	824–849
–	851–869	806–824
–	925–960	880–915
–	2110–2145	1920–1955
–	2125–2160	1935–1970
–	2135–2170	1945–1980

- Eight standard Cat-5/6 ScTP cable RJ-45 connectors (labeled **PORT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8**)
- Eight sets of RJ-45 port LEDs (one set per port)
 - One LED per port for link status (labeled **LINK**)
 - One LED per port for downstream unit status (labeled **RAU**)
- One set of unit status LEDs
 - One LED for unit power status (labeled **POWER**)
 - One LED for unit status (labeled **E-HUB STATUS**)
- One set of fiber connection status LEDs
 - One LED for fiber downlink status (labeled **DL STATUS**)
 - One LED for fiber uplink status (labeled **UL STATUS**)
- One fiber optic port which has two connectors
 - One standard female SC/APC connector for MMF/SMF output (labeled **UPLINK**)
 - One standard female SC/APC connector for MMF/SMF input (labeled **DOWNLINK**)

(Continúa)

EXPANSION HUB (continuación)

Table 4-3 Expansion Hub Specifications

Specification	Description
Enclosure Dimensions (H × W × D)	89 mm × 438 mm × 305 mm (3.5 in. × 17.25 in. × 12 in.)
Weight	< 5 kg (< 11 lb)
Operating Temperature	0° to +45°C (+32° to +113°F)
Non-operating Temperature	-20° to +85°C (-4° to +185°F)
Operating Humidity, non-condensing	5% to 95%
Cat-5/6 Connectors ^a	8 shielded RJ-45, female (Cat-5/6)
Fiber Connectors ^b	1 Pair, SC/APC
LED Alarm and Status Indicators	Unit Status (1 pair): <ul style="list-style-type: none"> • Power • E-Hub Status Fiber Link Status (1 pair): <ul style="list-style-type: none"> • DL Status • UL Status RAU/Link Status (1 pair per RJ-45 port): <ul style="list-style-type: none"> • Link • RAU
AC Power (Volts) (47–63 Hz)	Rating: 115/230V, 5/2.5A, 50–60 Hz Operating Range: 90–132V/170–250V auto-ranging, 2.2–1.5A/1.2–0.8A, 47–63 Hz
Power Consumption (W)	4 RAUs: 120 typ/148 max 4 RAUs & 4 Extenders: 137 typ/172 max 8 RAUs: 170 typ/212 max 8 RAUs & 8 Extenders: 204 typ/260 max
MTBF	78,998 hours

a. It is important that you use only Cat-5/6 ScTP cable with shielded RJ-45 connectors.

b. It is critical to system performance that only SC/APC fiber connectors are used throughout the fiber network, including fiber distribution panels.

UNISON REMOTE ACCESS UNIT (RAU)



Specification	Description
Dimensions (H x W x D)	44 mm x 305 mm x 158 mm (1.7 in. x 12 in. x 6.2 in.)
Weight	< 1 kg (< 2 lb)
Operating Temperature	-25° to +45°C (-13° to +113°F)
Non-operating Temperature	-25° to +85°C (-13° to +185°F)
Operating Humidity, non-condensing	5% to 95%
RF Connectors	1 shielded RJ-45, female (Cat-5/6) ^a 1 SMA, male (coaxial)
LED Alarm and Status Indicators	Unit Status (1 pair): • Link • Alarm
Maximum Heat Dissipation (W)	16 max (from Expansion Hub)
MTBF	282,207 hours

a. For system performance, it is important that you use only Cat-5/6 ScTP cable with shielded RJ-45 connectors.

- off
- steady green
- steady red

There is no off state when the unit's power is on.

Table 5-2 Remote Access Unit LED States

	LED State	Indicates
LINK ○ ALARM ○	Off Off	• RAU is not receiving DC power
LINK ● ALARM ●	Green Green	• RAU is powered and is not indicating a fault condition. Communication with Expansion Hub is normal; but the system test may need to be performed or a warning condition could exist (use AdminManager to determine)
LINK ● ALARM ●	Green Red	• RAU is indicating a fault or lockout condition, but communication with the Expansion Hub is normal
LINK ● ALARM ●	Red Red	• RAU is reporting a fault or lockout condition, and it is not able to communicate with the Expansion Hub

ANTENA DIRECCIONAL



1900 MHz Whisper

Directional In-Building Antenna

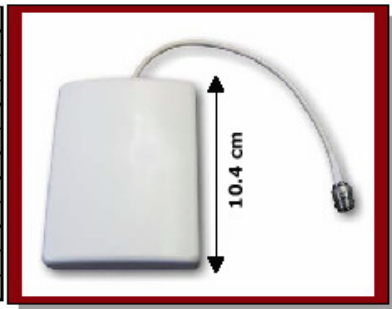
Model Number:

Indoor - ID1900

Outdoor - IDO1900

Specifications:

Element Type	Air-Loaded Patch
Frequency Range	1850 - 1990 MHz
Peak Gain	8.5 dBi
Polarization ¹	Linear
Azimuth 3dB Beamwidth	80°
Elevation 3dB Beamwidth	60°
Impedance	50 ohms
Maximum Input Power	50 watts
VSWR (Min. Performance)	2.0:1
Dimensions (L x W x H)	10.4 x 13.5 x 3.6 cm
Housing	Luran ²
Operating/Storage Temperature	-40° to +70°C



Mounting:

- Wall-mount bracket & screws included
- **Indoor Optional Brackets:** 2" Indoor Pan/Tilt Mount (IMI-02A) & 5" Indoor Pan/Tilt Mount (IMI-05A)
- **Outdoor Optional Brackets:** 5" Outdoor Metal Pan/Tilt Mount (IMO-05A)

Cables & Connectors:

Model #	Reference #	Plenum Rated Coax	Connector
ID1900-SM36	CAF95996	36" RG-142	SMA-Male
ID1900-NF12	CAF95979	12" RG-142	N-Female
ID1900-NF36	CAF94330	36" RG-142	N-Female
IDO1900-SM12	CAF94138	12" RG-142	SMA-Male
IDO1900-SM36	CAF95993	36" RG-142	SMA-Male



IMI-05A



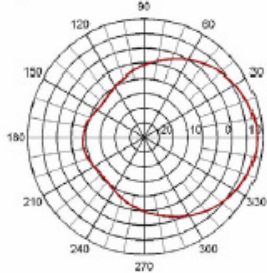
IMO-05A



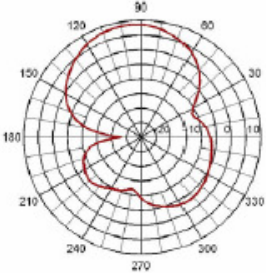
IMI-02A



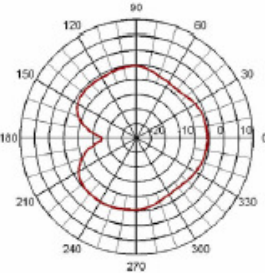
Pattern data files for SitePlanner are available at www.centurion.com or www.wirelessvalley.com.



Azimuth Plane



Elevation Plane
phi=0



Elevation Plane
Phi=90

Specifications subject to change without notice.

ID1900a - 5/17/04



3425 N.44th Street, LINCOLN, NE 68504 USA
 PHONE: 402.467.4491 • FAX: 402.467.4528
 TECHNICAL SUPPORT: 888.454.6914

www.centurion.com • sales@centurion.com

Copyright © 2004 Centurion Wireless Technologies, Inc. All Rights Reserved



ANTENA OMNIDIRECCIONAL



1900 MHz MicroSphere
Omnidirectional In-Building Antenna

Model Number:
IF1900

Specifications:

Element Type	Microstrip
Frequency Range	1850-1990 MHz
Peak Gain	3 dBi
Polarization	Linear
Impedance	50 ohms
Maximum Input Power	50 watts
VSWR (Min. Performance)	1.5:1
Dimensions (L x W x T)	5.6 x 3.5 x 0.25 cm
Coating	Acrylic
Operating/Storage Temperature	-40° to +70°C



Mounting:

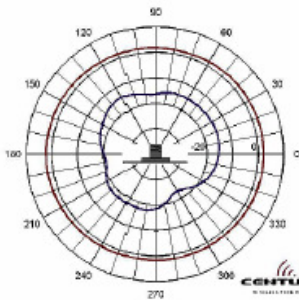
- Includes nylon screws for mounting to ceiling tile or finished ceiling

Cables & Connectors:

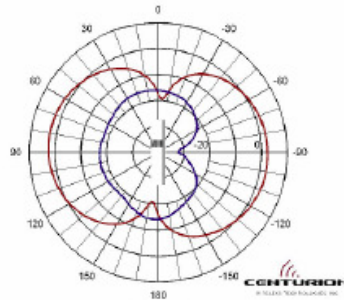
Model Number	Reference Number	Connector
IF1900-SF00	CAF95955	SMA Female Panel



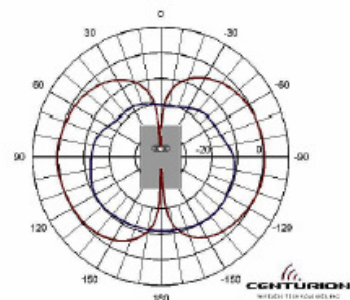
Pattern data files for SitePlanner are available at www.centurion.com or www.wirelessvalley.com.



Azimuth Plane
 Cut perpendicular to the antenna, parallel to the connector/cable exit, perpendicular to the polarization



Elevation Plane
 Cut perpendicular to the antenna, parallel to the connector/cable exit, parallel to the polarization axis



Omni Plane
 Cut in the plane of the antenna perpendicular to the connector/cable exit

Specifications subject to change without notice.

IF1900a - 4/28/04



3425 N.44th Street, LINCOLN, NE 68504 USA
 PHONE: 402.467.4491 • FAX: 402.467.4528
 TECHNICAL SUPPORT: 888.454.6914



www.centurion.com • sales@centurion.com

Copyright © 2004 Centurion Wireless Technologies, Inc. All Rights Reserved