



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**SOLUCIÓN PUNTUAL DE COBERTURA PARA SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR GSM  
Y UMTS INSTALADO EN POSTES DE NUEVE METROS EN ÁREAS URBANAS DE LA  
CUIDAD CAPITAL DE GUATEMALA**

**Nelson Enrique Estrada Estrada**

Asesorado por el Dr. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SOLUCIÓN PUNTIAL DE COBERTURA PARA SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR GSM  
Y UMTS INSTALADO EN POSTES DE NUEVE METROS EN ÁREAS URBANAS DE LA  
CUIDAD CAPITAL DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**NELSON ENRIQUE ESTRADA ESTRADA**  
ASESORADO POR EL DR. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Duran Córdova
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Ramírez Ramírez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**SOLUCIÓN PUNTUAL DE COBERTURA PARA SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR GSM  
Y UMTS INSTALADO EN POSTES DE NUEVE METROS EN ÁREAS URBANAS DE LA  
CIUDAD CAPITAL DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha febrero de 2009.



**Nelson Enrique Estrada Estrada**

Guatemala, 4 de Mayo de 2011

Ing. Carlos Guzman  
Coordinador Área Electrónica  
Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Por medio de la presente, me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado: " **Solución Puntual De Cobertura Para Servicios De Telefonía Celular GSM y UMTS Instalado En Postes De Nueve Metros En Áreas Urbanas De La Ciudad Capital De Guatemala**", desarrollado por el señor **Nelson Enrique Estrada Estrada**, dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de trabajo de graduación.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo, como su asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,



Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo  
Asesor Nombrado  
Colegiado 2225





Ref. EIME 36. 2011  
Guatemala, 16 de MAYO 2011.

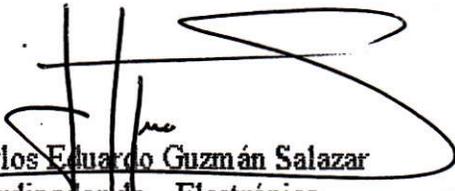
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"SOLUCIÓN PUNTUAL DE COBERTURA PARA SERVICIOS DE  
TELEFONÍA CELULAR GSM Y UMTS INSTALADO EN POSTES  
DE NUEVE METROS EN ÁREAS URBANAS DE LA CIUDAD  
CAPITAL DE GUATEMALA, del estudiante NELSON ENRIQUE  
ESTRADA ESTRADA, que cumple con los requisitos establecidos  
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro





REF. EIME 42. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; NELSON ENRIQUE ESTRADA ESTRADA titulado: "SOLUCIÓN PUNTUAL DE COBERTURA PARA SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR GSM Y UMTS INSTALADO EN POSTES DE NUEVE METROS EN ÁREAS URBANAS DE LA CIUDAD CAPITAL DE GUATEMALA", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Fuente Romero



GUATEMALA, 07 DE JUNIO 2,011.



DTG. 517.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **SOLUCIÓN PUNTUAL DE COBERTURA PARA SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR GSM Y UMTS INSTALADO EN POSTES DE NUEVE METROS EN ÁREAS URBANAS DE LA CIUDAD CAPITAL DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Nelson Enrique Estrada Estrada**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 21 de noviembre de 2011.



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dr. Enrique Edmundo  
Ruiz Carballo**

Por toda su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

**La Facultad de Ingeniería**

Por brindarme durante toda la carrera valiosos conocimientos durante todo mi proceso de formación académica.

**La Universidad de  
San Carlos de Guatemala**

Por haberme albergado estos años en su casa académica.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Quien me dio la vida, las fuerzas y la sabiduría necesaria para finalizar mi carrera.
- Mis padres** Por su apoyo incondicional y haber forjado los cimientos que me ayudaron a lograr esta meta.
- Mi familia** Quienes siempre han estado pendientes de mí, y me han brindado su apoyo moral en los momentos en que lo he necesitado.
- Mi esposa** Por todo su apoyo, amor y paciencia.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	I
GLOSARIO .....	III
RESUMEN.....	V
OBJETIVOS.....	VII
INTRODUCCIÓN .....	IX
1. GENERALIDADES DE GSM y UMTS .....	1
1.1. Conceptos básicos de GSM.....	1
1.1.1. Ventajas de GSM.....	2
1.1.1.1. Los principales beneficios al usuario.....	2
1.1.1.2. Los principales beneficios del operador .....	3
1.1.2. Elementos básicos para una red GSM.....	3
1.1.2.1. Estación base (Celda).....	3
1.1.2.2. Central de conmutación .....	4
1.1.2.3. Controlador de sitio de celda .....	4
1.1.2.4. Móvil/celular .....	4
1.1.2.5. E1 .....	5
1.1.2.6. Parámetros de canales de control .....	5
1.1.2.7. Antena de telefonía móvil.....	6
1.2. Conceptos básicos de UMTS.....	7
1.2.2. Ventajas de UMTS .....	8
1.2.2.1. Principales beneficios para el usuario.....	8
1.2.2.2. Principales beneficios del operador .....	9
1.2.3. Elementos básicos para una red UMTS.....	10
1.2.3.1. Equipo de usuario (UE).....	10

1.2.3.2.	Utran.....	11
1.2.3.3.	Red central .....	11
1.2.3.4.	Nodo B.....	11
1.2.3.5.	RNC ( <i>Radio Network Controller</i> ) .....	11
1.2.3.6.	MSC ( <i>Mobile Switching Center</i> ).....	12
1.3.	Parámetros básicos de telefonía celular GSM y UMTS.....	12
1.3.1.	Tráfico.....	12
1.3.2.	Control de acceso al medio (MAC).....	13
1.3.3.	Calidad de servicio Qos.....	13
1.3.4.	Reutilización de frecuencias .....	13
1.3.5.	Paso de celda.....	14
1.3.6.	Cobertura por celda .....	14
1.4.	Tipos de solución de cobertura de telefonía celular.....	14
1.4.1.	Forma geométrica.....	15
1.4.2.	Tamaño de celda.....	17
1.4.2.1.	Pico celdas .....	17
1.4.2.2.	Micro celdas .....	17
1.4.2.3.	Macro celdas .....	17
2.	IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIÓN DE COBERTURA “POSTE DE NUEVE METROS” .....	19
2.1.	Verificación de niveles de cobertura .....	19
2.2.	Estudio de radio frecuencia .....	23
2.2.1.	Coordenadas geográficas.....	28
2.2.2.	MSNM (Metros Sobre el Nivel del Mar) .....	28
2.2.3.	Anillo de búsqueda .....	29
2.2.4.	Altura .....	29
2.2.5.	Orientación .....	29
2.2.6.	Inclinación mecánica y eléctrica .....	30

2.2.7.	Antena.....	30
2.2.8.	Predicción .....	31
2.2.9.	Objetivos .....	31
2.3.	Consideraciones necesarias previas a la instalación .....	31
2.3.1.	Permisos de las diferentes instituciones .....	32
2.3.2.	Punto cercano para la conexión de energía.....	32
2.3.3.	Acceso a fibra para la transmisión .....	32
2.3.4.	Equipo de transmisión.....	33
2.3.5.	Antenas, soportes y accesorios .....	33
2.3.6.	Plan de frecuencias y vecindades para GSM .....	34
2.3.7.	Plan de frecuencia y vecindades para UMTS .....	44
2.4.	Implementación.....	46
3.	INTEGRACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO .....	47
3.1.	Integración .....	47
3.1.1.	Auditoria del sitio.....	47
3.1.2.	Carga de <i>software</i> .....	48
3.1.3.	Verificación de alarmas.....	49
3.1.4.	Prueba de llamadas (voz y video) y transferencia de datos .....	49
3.2.	Puesta en servicio comercial.....	50
3.2.1.	Encendido temporal para verificación de objetivos de cobertura .....	50
3.2.2.	Optimización de sitio .....	51
3.2.3.	Declaración puesta en servicio comercial .....	52
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	53
4.1.	Análisis financiero .....	54
4.2.	Análisis gráfico .....	55

CONCLUSIONES.....61  
RECOMENDACIONES.....63  
BIBLIOGRAFÍA.....65

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Patrón de radiación .....	15
2.	Solapamiento Hueco y cobertura .....	16
3.	Forma hexagonal con antena direccional.....	16
4.	Equipo para realizar <i>drive test</i> .....	20
5.	Nivel de señal.....	21
6.	Cobertura por BCCH .....	22
7.	Curvas de nivel.....	23
8.	Posición teórica solución micro .....	24
9.	Deficiencias de carretera.....	25
10.	Formato de hoja de diseño de RF .....	26
11.	Soportes y accesorios .....	34
12.	Grupo de celdas .....	35
13.	Canales asignados.....	38
14.	Canal para C4 sector 1.....	39
15.	Dos canales asignados a C4.....	40
16.	Sitio con sus canales de control .....	41
17.	Plan de frecuencia UMTS.....	45
18.	Códigos asignados .....	46
19.	Análisis de inversión inicial.....	56
20.	Análisis de costos anuales por solución .....	57
21.	Análisis de costo anual uniforme equivalente.....	58
22.	Análisis de ahorros anuales .....	59

## TABLAS

I.	Canales de frecuencias.....	37
II.	Canal de control.....	38
III.	Código de estación pendientes.....	42
IV.	Declaración de código de identificación de estación base.....	43
V.	Vecindades.....	44
VI.	Análisis financiero sitio macro.....	54
VII.	Análisis financiero de solución micro.....	55
VIII.	Comparación de inversión inicial.....	56
IX.	Análisis de costos anuales.....	57
X.	Costo anual uniforme equivalente.....	58
XI.	Ahorros anuales.....	59

## GLOSARIO

<b>BCCH</b>	Canal de Control de Broadcast.
<b>BSC</b>	<i>Base Station Controller</i> , (Controlador de Estaciones Base).
<b>BTS</b>	<i>Base Station Transceptor</i> , (Estación Base Transceptora).
<b><i>Drive test</i></b>	Medición de niveles de potencia radiada por una celda de cobertura celular, por medio de un scanner instalado en un vehículo.
<b>GSM</b>	Sistema Global para comunicaciones Móviles.
<b><i>Hand over</i></b>	Esto se presenta cuando un teléfono celular se aproxima al borde del área de cobertura de una celda, la señal pasa inmediatamente a la celda contigua, donde la llamada continúa sin interrupción.
<b>MAC</b>	Control de Acceso al Medio.
<b>Morfología</b>	Estudio de la forma del terreno.
<b>MSC</b>	<i>Mobile Switching Center</i> , (Centro de Conmutación Móvil).
<b>Nodo B</b>	El equivalente a una radio base GSM sólo que para UMTS.

<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i> (Calidad de Servicio). QoS son los mecanismos que aseguran la calidad en la transmisión de los diferentes servicios que brinda un operador.
<b>Solución macro</b>	Este tipo de solución es la que utiliza una estructura física cuya altura es mayor a treinta y seis metros, para poder instalar las antenas que proveen la cobertura móvil celular; es el más utilizado a nivel mundial, ya que sirven para dar cobertura celular a extensas áreas, como: ciudades, villas, etc.
<b>Solución micro</b>	Este tipo de solución es la que utiliza una estructura física cuya altura es menor a quince metros, para poder instalar las antenas que proveen la cobertura móvil celular; sirven para dar cobertura celular a pequeñas áreas, como: tramos de carreteras, residenciales, etc.
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Communication System</i> , (Sistema Universal de Comunicaciones Móviles).
<b>UTRAN</b>	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i> (Red Universal de Acceso de radio terrestre).

## RESUMEN

Guatemala al igual que en el resto del Mundo ha visto un gran crecimiento de servicios de telefonía móvil, esto debido a los constantes cambios de servicios y diferentes medios digitales de comunicación esto hace referencia a los sistemas de Chat, consultas en línea, etc. Estos cambios generan una necesidad para las personas de estar conectados en cualquier lugar que se encuentren y las empresas han logrado que estas necesidades se vayan cubriendo.

Se ha tenido la necesidad de crecimiento de las diferentes redes que reciben y transmiten dicha información, pero este aumento de número de sitios hace que el aspecto visual de algunas áreas se vea afectado, además el crecimiento de las diferentes zonas de la ciudad ha dejado limitadas las áreas para poder colocar nuevas soluciones de cobertura móvil celular, esto ha hecho que las empresas busquen nuevas alternativas para poder llevar sus servicios a los diferentes usuarios y poder aprovechar las áreas con que se cuentan.

Este trabajo de graduación, tiene su enfoque principal en una solución para brindar cobertura móvil celular en áreas pequeñas donde no se puede llegar con una solución macro de cobertura celular, esto consiste en lograr utilizar espacios reducidos para poder instalar un poste de mediano tamaño que nos ayude a poder cubrir la necesidad sin afectar de gran manera el entorno que lo rodea, estas soluciones llevan equipo de pequeñas dimensiones pero que cuenta con la tecnología mas actualizada para poder brindar los servicios de telefonía celular de voz o datos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Dar a conocer una de las nuevas soluciones de cobertura celular para cubrir las deficiencias de señal móvil celular en áreas urbanas de la ciudad de Guatemala las cuales se pueden aplicar a cualquier otra zona urbana.

### **Específicos**

1. Brindar solución de cobertura en zonas urbanas de forma práctica y eficiente.
2. Mostrar el proceso de búsqueda del mejor punto de ubicación para colocar una solución.
3. Describir el análisis de un diseño de radio frecuencia tanto para GSM como para UMTS.
4. Conocer los conceptos básicos para GSM y UMTS, que son esenciales para el buen funcionamiento de una radio base.
5. Ver los parámetros a revisar para la aceptación y puesta en servicio comercial de una solución de telefonía móvil.



## INTRODUCCIÓN

La telefonía celular es parte de la tecnología que se ha hecho una necesidad en todo el mundo, esto debido a que todos quieren estar comunicados en cualquier lugar, dando origen a una competencia entre los diferentes proveedores de servicio y esto con lleva a tener que saldar la necesidad de cobertura en todas la zonas urbanas como rurales y en el caso de Guatemala no es la excepción, debido al gran crecimiento de las zonas urbanas de la ciudad se han hecho importantes las soluciones que logren llegar al usuario sin que afecte su entorno y poder brindar de esa manera un mejor servicio.

En este trabajo de graduación se presenta una de las soluciones de cobertura celular que actualmente se están llevando acabo en varias partes del mundo para poder suplir las necesidades tanto del operador como del usuario final, las empresas que fabrican el equipo de transmisión también se han visto en la necesidad de mejorar su equipo reduciendo tamaño y con mejores tecnologías para poder competir con los diferentes proveedores de servicio de telefonía móvil celular.

El diseño de radio frecuencia es una de las partes mas importantes de ingeniería móvil en las redes de telefonía, debido a que de esto depende la mejor ubicación para poder colocar la solución que cubra los requerimientos, así también poder elegir el mejor tipo de antenas y equipo de transmisión el cual logre acoplarse a todo el entorno que lo rodea y cubrir sus objetivos y expectativas del cliente final. En este trabajo de graduación se presenta una comparación financiera entre dos tipos de soluciones de cobertura móvil celular

y así poder determinar cual es la solución óptima desde el punto de vista financiero.

# 1. GENERALIDADES DE GSM y UMTS

## 1.1. Conceptos básicos de GSM

El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) es una tecnología móvil de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados en una amplia gama de bandas de espectro, entre ellas las de 850, 900, 1800 y 1900 MHz. Es una tecnología digital, además de utilizarse "GSM" como modo genérico para denominar a una familia de tecnologías que incluye GPRS y EDGE, que proveen una evolución fluida y económicamente viable a la tercera generación (3G).

Este sistema permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio utilizando una técnica llamada multiplexado por división de tiempo (TDM), mediante la cual un canal se divide en seis ranuras de tiempo. Para la transmisión, a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás. Este diseño garantiza un uso efectivo del espectro y provee siete veces mayor capacidad que la tecnología analógica o "AMPS", que es una tecnología de primera generación (1G).

También utiliza una técnica llamada "*frequency hopping*" (salto de frecuencias) que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que las intromisiones no autorizadas sean imposibles.

### **1.1.1. Ventajas de GSM**

Las ventajas de GSM con respecto a tecnologías analógicas pueden dividirse en dos categorías principales: beneficios al usuario y beneficios al operador.

#### **1.1.1.1. Los principales beneficios al usuario**

**Cobertura:** GSM es la tecnología inalámbrica más ampliamente disponible en el mundo. Como resultado de ello, los clientes de GSM tienen acceso constante a servicios de voz de alta calidad y servicios optimizados (por ejemplo, mensajería de texto) en su región de residencia y en otras regiones mientras se encuentran de viaje. La extensa cobertura es especialmente atractiva para los ejecutivos de negocios que desean estar accesibles a través del mismo dispositivo móvil y número telefónico mientras se encuentran de viaje.

**Selección:** la cantidad de clientes de GSM ha venido aumentando todos los años. Un mercado con crecimiento de esta manera requiere grandes cantidades de terminales, lo que se traduce en una amplia selección de dispositivos con diversas funciones y precios. Permitiendo de esta manera al usuario poder seleccionar la terminal que se adapte a sus necesidades.

**Voz:** GSM provee una alta claridad de voz en las llamadas. Los datos constituyen una aplicación inalámbrica cada vez más popular pero a pesar de ello, los servicios de voz continuarán siendo el principal motivo por el cual la gente utilice tecnología inalámbrica.

**Flexibilidad:** una singular e innovadora tarjeta llamada Módulo de Identidad del Abonado (SIM), permite que los clientes puedan cambiar de dispositivo

fácilmente sin perder su información almacenada en esta. Además, la tarjeta SIM hace que sea sencillo para el usuario cambiar de operador GSM y mantener el mismo teléfono; la flexibilidad de la tarjeta SIM hace que las redes de datos basadas en GSM, tales como las GPRS, sean atractivas para diversas aplicaciones de datos. A esto se le puede sumar el incremento en los servicios innovadores como los mensajes cortos (SMS), mensajes multimedia, etc.

#### **1.1.1.2. Los principales beneficios del operador**

Flexibilidad: la disponibilidad de terminales y redes funcionales con la misma tecnología para las bandas de espectro más populares, presenta múltiples opciones para los operadores a fin de satisfacer sus necesidades de espectro y de mercado. La normalización también asegura que exista interoperabilidad entre la infraestructura y los dispositivos de múltiples fabricantes, lo que les brinda a los operadores diversas opciones en la selección de equipos.

Rentabilidad: GSM utiliza el espectro de manera eficiente y provee siete veces mayor capacidad que la tecnología analógica o "AMPS", que es una tecnología de primera generación (1G). Lo cual permite mayor número de usuarios logrando que las compañías de telefonía puedan incrementar sus ingresos utilizando de una mejor forma su plataforma aprovechándola al cien por ciento.

### **1.1.2. Elementos básicos para una red GSM**

#### **1.1.2.1. Estación base (Celda)**

Es la estación central dentro de una celda de telefonía celular, conocida como BTS (*Base Transceiver Station*), realiza el enlace de radio frecuencia a los terminales celulares, transmite información entre la celda y la estación de

control y conmutación, monitorea la comunicación de los usuarios. Está conformado por: unidad de control, unidad de energía, antenas sectoriales.

#### **1.1.2.2. Central de conmutación**

El Centro de Conmutación Electrónico (*Switch*) es un conmutador telefónico digital y es el corazón de los sistemas de telefonía móvil celular. El conmutador realiza dos funciones básicas:

1. Controla la conmutación entre la red telefónica pública y los sitios de celda para todas las llamadas que se realizan desde una línea fija a un móvil, de un móvil a una línea fija o de una terminal móvil a otra terminal móvil.
2. Se encarga de procesar la información recibida de los controles de un sitio de celda que contiene el estado de la terminal móvil, información de diagnóstico y compilación de facturas.

#### **1.1.2.3. Controlador de sitio de celda**

Todo sitio de celda contiene un controlador de sitio de celda que opera bajo la dirección del *Switch*. El controlador de sitio de celda administra cada uno de los canales de radio en el sitio, supervisa llamadas, enciende y apaga el transmisor y receptor de radio, inyecta información a los canales de control y usuario, realiza pruebas de diagnóstico en el equipo del sitio de la celda.

#### **1.1.2.4. Móvil/celular**

El teléfono móvil o celular es un dispositivo inalámbrico electrónico que permite tener acceso a la red de telefonía celular. Se denomina celular debido a

las antenas repetidoras que conforman la red, cada una de las cuales es una célula, si bien existen redes telefónicas móviles satelitales. Su principal característica es su portabilidad, que permite comunicarse desde casi cualquier lugar. Aunque su principal función es la comunicación de voz, como el teléfono convencional, su rápido desarrollo ha incorporado otras funciones como son cámara fotográfica, agenda, acceso a *Internet*, reproducción de video, mp3 e incluso GPS.

#### **1.1.2.5. E1**

Es un formato de transmisión digital; su nombre fue dado por la administración de la (CEPT). Es una implementación de la portadora-E.

Un enlace E1 opera sobre dos juegos separados de cable, usualmente es un cable coaxial o fibra óptica. Una señal nominal de 2,4 voltios es codificada con pulsos usando un método que evita períodos largos sin cambios de polaridad. La tasa de línea es de 2,048 Mbps (*full duplex*, o sea, 2,048 Mbps en cada sentido), la cual está abierta en 32 segmentos de tiempo (llamados *Time Slots*), y cada uno tiene un turno direccionado de 8 bit.

De esa manera cada casilla envía y recibe un número de 8 bits muestreado 8 000 veces por segundo ( $8 \times 8000 \times 32 = 2\,048\,000$ ). Esto es ideal para llamadas telefónicas de voz, en donde la voz es muestreada en un número de 8 bit a esa tasa de datos y es reconstruida en el otro extremo.

#### **1.1.2.6. Parámetros de canales de control**

Categorías de canales de control:

- Difusión ("*broadcast*" ó BCCH)

- Canales de control comunes (CCCH)
- Canales de control dedicados (DCCH)

Cada canal de control consiste en varios canales lógicos distribuidos en el tiempo para proporcionar las funciones de control necesarias en GSM. Los canales de control *downlink* BCCH y CCCH se implementan sólo en ciertos canales ARFCN (números de canales de radiofrecuencia absolutas) y se localizan en *Slots* de tiempo de una forma específica.

Concretamente, estos canales se localizan sólo en el TS 0 y se emiten sólo durante ciertas tramas dentro de una secuencia repetitiva de 51 tramas (llamada multitrama de control del canal) sobre aquellos ARFCNs que se diseñan como canales "*broadcast*". Desde TS1 hasta TS7 se lleva canales de tráfico regulares. Y los canales de control bidireccionales utilizados para prestar los servicios de señalización y supervisión al usuario DCCH.

#### **1.1.2.7. Antena de telefonía móvil**

En una antena típica de telefonía móvil, la emisión radioeléctrica se efectúa hacia el frente y en horizontal, en forma de un haz sensiblemente plano, y abarca un sector entre 60 y 120 grados. Las emisiones son casi inexistentes en el resto de direcciones (atrás, abajo y arriba).

Las antenas de telefonía móvil suelen instalarse sobre elementos que las elevan como torres o mástiles incluso directamente sobre edificios. En la práctica, se suelen instalar varias antenas en una ubicación para dar cobertura circular. En la configuración de 3 antenas dirigidas a un mismo sector, sólo emite la antena central, estando dedicadas las dos laterales únicamente a mejorar la recepción, sin que efectúen ningún tipo de emisión.

Las características de las antenas y las condiciones en que éstas son instaladas habitualmente, hacen que los niveles de emisión suelen ser muy bajos sobre el lugar en el que se ubican. La intensidad de las emisiones disminuye rápidamente con la distancia (proporcionalmente al cuadrado de ésta). Según los cálculos efectuados por fabricantes, operadores y entidades independientes, el respeto de los límites de protección sanitaria está asegurado, de manera general, considerando un sistema aislado, a partir de unos cinco metros.

En el caso de agrupamiento de múltiples sistemas de telefonía móvil de un operador en una misma ubicación, dicha distancia podría incrementarse hasta unos diez metros. Estas distancias están referidas siempre en el sector de emisión de cada antena y en horizontal, en otras direcciones, las distancias son mucho menores.

## **1.2. Conceptos básicos de UMTS**

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) es un estándar europeo desarrollado para redes móviles, siglas en inglés que hace referencia a los servicios universales de comunicaciones móviles de tercera generación.

UMTS se desarrolla a partir del sistema GSM, que es la tecnología inalámbrica más ampliamente utilizada en el mundo. Ésta permite introducir muchos más usuarios a la red global del sistema, y además permite incrementar la velocidad a 2 Mbps por usuario móvil.

La tercera generación acelera hasta 200 veces la transmisión de datos desde una red inalámbrica de segunda generación (GSM), es posible realizar

videoconferencias, descargar vídeos, el intercambio de postales electrónicas, paseos "virtuales" por casas en venta, etc., todo desde el móvil.

### **1.2.2. Ventajas de UMTS**

Al igual que en GSM, esta tecnología tiene sus ventajas con respecto de las tecnologías analógicas que se pueden también dividir en beneficios obtenidos por el usuario así como por el operador.

#### **1.2.2.1. Principales beneficios para el usuario**

Velocidad: UMTS como se mencionó anteriormente soporta velocidades máximas de 2 Mbps cuando el usuario se encuentra en un lugar fijo y 384 Kbps cuando se encuentra en movimiento. La velocidad promedio es de 220 a 320 Kbps, que es lo suficientemente rápido como para soportar una amplia gama de servicios de datos avanzados, incluidos audio y video de alta calidad, acceso rápido a *Internet* y descarga de grandes archivos.

Conexión activa: al igual que la banda ancha por cable y el DSL, UMTS ofrece una conexión permanente a *Internet*, de modo que los usuarios no tienen que conectarse cada vez que necesitan el acceso, y pueden recibir servicios de notificaciones de *Internet*.

Costo: UMTS es basada en una tecnología que trabaja a base de paquetes de datos, lo que constituye una forma más eficiente brindar servicio por parte de los operadores. Esos ahorros pueden ser trasladados a los usuarios en forma de tarifas más bajas.

Compatibilidad: es compatible con EDGE y GPRS, esto permite que los usuarios cuando salgan de la cobertura de 3G sean conmutados automáticamente a una red EDGE o GPRS sin ningún problema de compatibilidad, los únicos factores tales como disponibilidad de la red y cantidad de ancho de banda requerida para la aplicación de que se trate podrían ser una limitante. De este modo, los usuarios de UMTS siempre tienen asegurado algún nivel de servicio de datos en paquetes ya sea que estén en su área original o de viaje.

*Roaming:* UMTS es la tecnología 3G líder en todo el mundo, y se encuentra desplegada sobre redes licenciadas, lo que permite el *roaming* global con compatibilidad regresiva a GPRS y/o EDGE.

#### **1.2.2.2. Principales beneficios del operador**

Facilidad de actualización: utiliza las inversiones previas más importantes, en particular la infraestructura de la red de datos en paquetes desplegada para GPRS.

Eficiencia en el uso del espectro y flexibilidad: UMTS funciona en varias bandas del espectro nuevas y existentes, incluida la de 1900 MHz. También hace un uso altamente eficiente del espectro debido a la combinación de las tecnologías CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y TDMA (Acceso Múltiple por División del Tiempo).

Compatibilidad: UMTS es compatible con EDGE y GPRS, lo que permite a los usuarios salir de un área con cobertura UMTS y sean conmutados automáticamente a una red 2G existente con la cual tenga cobertura.

Control de calidad: UMTS incluye avanzados mecanismos de calidad de servicio que les dan a los operadores un mayor control y que permiten asegurar que cada aplicación o usuario reciba la cantidad de ancho de banda que necesita.

Cantidad de usuarios: se incrementa el número de usuarios para la red de UMTS ya que se aprovecha al máximo el ancho de banda por control de paquetes de datos. Logrando incrementar los ingresos al aprovechar la plataforma al máximo.

### **1.2.3. Elementos básicos para una red UMTS**

Una red de UMTS tiene una arquitectura que se pueden dividir de la siguiente manera:

- Equipo de Usuario (UE)
- Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN)
- Red Central

En estas capas destacan los siguientes elementos Nodo B, RNC, MSC. Lo importante de esta red es que puede utilizar estructuras ya existentes o implementadas de otras tecnologías como GSM.

#### **1.2.3.1. Equipo de usuario (UE)**

Al igual que en GSM a esta capa es a la que se le asigna el nombre de terminal o móvil, este es el equipo que utiliza un usuario de red de telefonía celular para lograr la comunicación con una estación base en el momento que desee siempre que exista cobertura para realizar una llamada.

### **1.2.3.2. Utran**

El UTRAN consiste en un conjunto de subsistemas de redes de radio (RNS) que son el modo de comunicación de la red UMTS. Un RNS ofrece la localización y liberación de recursos de radio específicos para establecer modos de conexión. Un RNS es el responsable de los recursos y de la transmisión / recepción en un conjunto de celdas. Un RNS está compuesto de un RNC, y uno o varios nodos B.

### **1.2.3.3. Red central**

Es la red encargada de administrar todos los elementos de conmutación de circuitos y paquetes de datos, así también los accesos a redes de telefonía fija y a la red de otro operador de telefonía móvil existente.

### **1.2.3.4. Nodo B**

Se utiliza este nombre para referirse a las estaciones base BTS de la red de telefonía dedicadas a la propagación de la cobertura para UMTS. El cual se encarga de realizar el enlace de radio frecuencia a los móviles.

### **1.2.3.5. RNC (*Radio Network Controller*)**

Es el encargado de controlar varios nodos b, así como llevar e manejo del recurso de transporte de la interfaz que se encarga de acceder al medio utilizando WCDMA. Lleva también el manejo de la información del sistema y de los horarios de la información del mismo, el manejo de tráfico en los canales comunes y el manejo de los reportes.

#### **1.2.3.6. MSC (*Mobile Switching Center*)**

Es la pieza central de una red basada en la conmutación de circuitos. Este es el mismo tipo de *Switch* utilizado por el sistema GSM. Este se encarga de la coordinación de las llamadas, de un móvil a otro, móvil a línea fija, línea fija a móvil. Asignación dinámica de los recursos, lleva el registro de ubicación de las terminales y también encargado de coleccionar los datos para el centro de facturación.

### **1.3. Parámetros básicos de telefonía celular GSM y UMTS**

Todas las redes de telefonía tienen diferentes parámetros a tomar en cuenta en la implementación de una nueva solución de cobertura, algunos de estos se describen a continuación:

#### **1.3.1. Tráfico**

Este termino hace referencia al grado de utilización y aprovechamiento de los recursos utilizados para la generación de una llamada, cuando se efectúa una llamada todos los elementos de la red buscan lograr mantener esta en la mejor condición posible para que el usuario generador de llamada pueda quedar satisfecho con el servicio prestado.

El nivel de tráfico telefónico se mide en ERLANG, y se define como el número de llamadas realizadas o intentos de generación de llamada, por unidad de tiempo.

### **1.3.2. Control de acceso al medio (MAC)**

El principal propósito con el que se diseñan los sistemas móviles es brindar servicio al mayor número de usuarios y poder cursar el mayor volumen de tráfico posible en cada instante.

El medio de transmisión de información utilizado por los sistemas de telefonía móvil es el medio radioeléctrico, este es un medio compartido para diferentes aplicaciones como la radio, televisión, bancos, el ejército, etc., por lo que es preciso establecer las reglas adecuadas para que los usuarios puedan comunicarse sin colisionar o interferirse entre ellos. Estas reglas constituyen el control de acceso al medio.

Por otra parte, el espectro radioeléctrico es un recurso escaso y las técnicas de control de acceso al medio deben usarlo eficientemente. La eficiencia se mide en *throughput* (cantidad de información transmitida con éxito por unidad de tiempo) y retardo de las transmisiones.

### **1.3.3. Calidad de servicio Qos**

Es una parte importante en los sistemas de telefonía móvil para garantizar la transmisión de cierta cantidad de datos de información en un tiempo dado, esto para garantizar un buen servicio de video o voz.

### **1.3.4. Reutilización de frecuencias**

Debido al crecimiento de las redes GSM las empresas de telefonía móvil se ven en la necesidad de reciclar las frecuencias, y se utiliza un factor de

reutilización para determinar que tan seguido se puede utilizar la misma frecuencia en la misma red.

### **1.3.5. Paso de celda**

En un sistema de telefonía móvil como su nombre lo indica los usuarios que lo utilizan se encuentran en constante movimiento dentro de la red, esto ocasiona que constantemente se vea la necesidad de pasar de la cobertura de una celda a otra, a este efecto es al que llamamos Paso de Celda.

### **1.3.6. Cobertura por celda**

En la red móvil se tienen varias celdas, éstas tienen un rango de cobertura en el cual se puede garantizar un buen nivel de señal para que el usuario pueda hacer uso de todos los servicios disponibles.

## **1.4. Tipos de solución de cobertura de telefonía celular**

En la actualidad la creciente cantidad de usuarios en zonas urbanas a obligado a las empresas de telefonía a utilizar diferentes soluciones de cobertura para lograr brindar un buen servicio y calidad de señal, las diferentes formas se adecuan a la distribución geométrica de las estaciones base, por capacidad, calidad y cobertura geográfica para dicho servicio. Por lo que la soluciones pueden dividirse por su forma geométrica y el tamaño de la celdas.

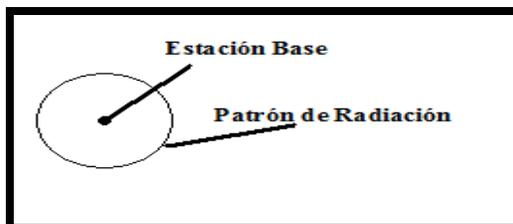
### 1.4.1. Forma geométrica

Esta forma depende del tipo de antena que se esté utilizando así como también de la potencia emitida por cada radio base, regularmente se utilizarán dos tipos de antenas, cuyo patrón de radiación tiene un diagrama horizontal omnidireccional y las que son completamente directivas.

En el primero de los casos que se utilizaran antenas omnidireccionales darían un patrón de radiación de forma circular, pero en el momento que se tenga necesidad de cubrir un área cercana a la que se encuentra cubierta actualmente se puede generar solapamiento lo cual no es recomendado cuando no se dispone de un ancho de banda muy amplio pues puede generar interferencias entre las celdas del mismo operador así como el desperdicio de frecuencias.

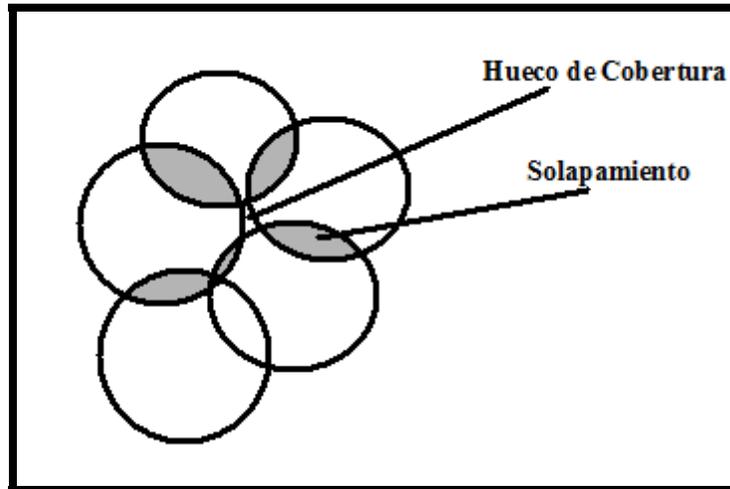
En las figuras se muestra el patrón de radiación emitido desde una estación base por medio de la antena omnidireccional (Ver figura 1), así como el solapamiento que existiría si se colocan dos sitios de celda cerca con antenas omnidireccionales y los huecos de cobertura que podrían surgir al trabajar con este tipo de antena (Ver figura 2).

Figura 1. **Patrón de radiación**



Fuente: elaboración propia.

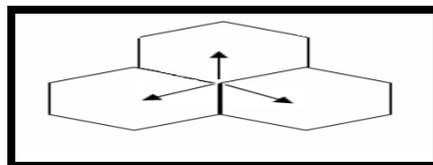
Figura 2. **Solapamiento y hueco de cobertura**



Fuente: elaboración propia.

Cuando del tipo de antena utilizada es direccional, se logra reducir la interferencia y obtener mayores ganancias para favorecer la unión de celdas nuevas para lugares de cobertura difícil. En este caso se trata de utilizar un sistema que contenga un juego de antenas que serán llamadas sectores, que se dividen en tres, por lo que a cada sector le correspondería cubrir ciento veinte grados para una celda genérica, con esto se logra que cada sector forme un hexágono lo cual servirá para evitar los solapamientos (Ver figura 3).

Figura 3. **Forma hexagonal con antena direccional**



Fuente: elaboración propia.

## **1.4.2. Tamaño de celda**

Por su tamaño las celdas pueden dividirse en:

### **1.4.2.1. Pico celdas**

Estas celdas reciben el nombre debido al pequeño tamaño físico y de cobertura que pueden brindar, uno de sus principales usos es para brindar cobertura dentro de algún nivel de un edificio o sótanos. El tamaño físico puede llegar a ser tan pequeño que puede pasar desapercibido fácilmente. Por todo esto podemos decir que este tipo de celdas son de servicio dedicado, esto quiere decir que sirve para brindar un servicio de voz o de datos a un pequeño grupo de personas en un área establecida.

### **1.4.2.2. Micro celdas**

Este tipo de celdas tienen un propósito similar a las pico celdas con la diferencia principal de que estas sirven para brindar una cobertura exterior de mediano tamaño, se utilizan para cubrir pequeños tramos de carretera o residenciales de pequeño tamaño esto con el propósito de mejorar los niveles de cobertura en el área de interés, este tipo de celdas es el que veremos en este trabajo.

### **1.4.2.3. Macro celdas**

Este tipo de celdas son las más utilizadas a nivel mundial, ya que sirven para cubrir extensas áreas de ciudades, villas, etc. Estas celdas tienen un tamaño físico mayor que los otros dos tipos de celdas mencionados, así también tienen mayor capacidad para manejar tráfico de voz y datos.



## **2. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIÓN DE COBERTURA “POSTE DE NUEVE METROS”**

Un requerimiento de cobertura puede deberse a dos factores, los cuales son:

- Capacidad
- Calidad

Dependiendo de este requerimiento se procede a la implementación de una solución viable para mejorar el área en cuestión. Para el tipo de solución que se está analizando en un poste de pequeño tamaño como estructura física se puede definir que es una micro celda la cual tendría como principal objetivo mejorar la calidad de cobertura de una zona o carretera.

En Guatemala el terreno es bastante irregular lo que hace que se requieran de este tipo de soluciones para poder remover los inconvenientes provocados por esto, ya que las macro celdas debido a su estructura física es de un alto costo y necesitan mucho espacio para poder ejecutarse.

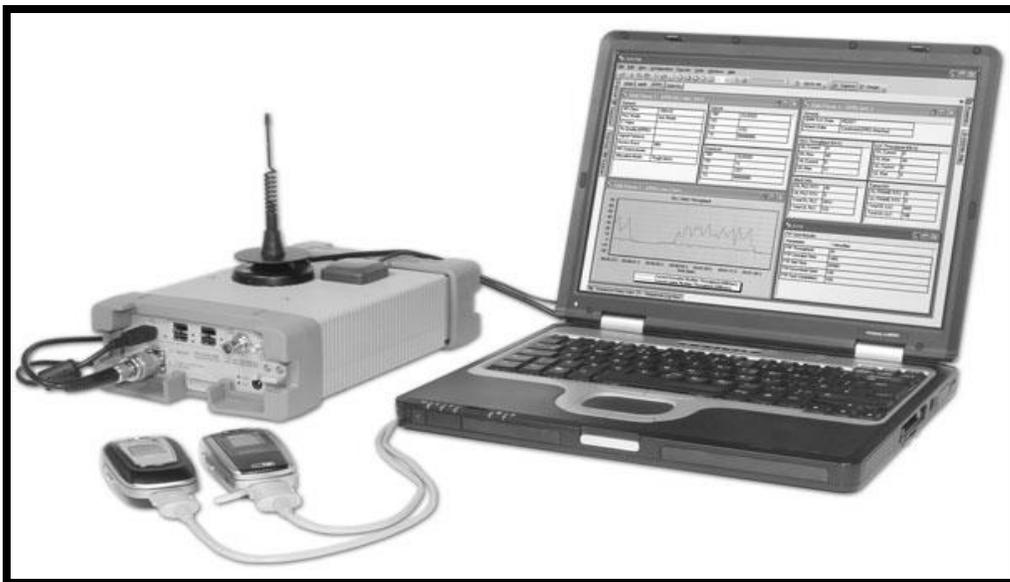
### **2.1. Verificación de niveles de cobertura**

Para poder llevar a cabo esta verificación es necesario contar con un escáner, una computadora, un GPS y teléfonos de prueba. Como se muestra en la figura 4.

Este equipo se implementa en un vehículo para poder realizar mediciones de potencia de la señal radiada por un operador de telefonía móvil a través de

las diferentes celdas que se encuentren instaladas en el área a analizar, para nuestro caso en la ciudad de Guatemala. A esta medición se le llama comúnmente como “*Drive Test*”, al momento de realizar un *drive test* se tendría como resultado una imagen como la que se muestra en la figura 5.

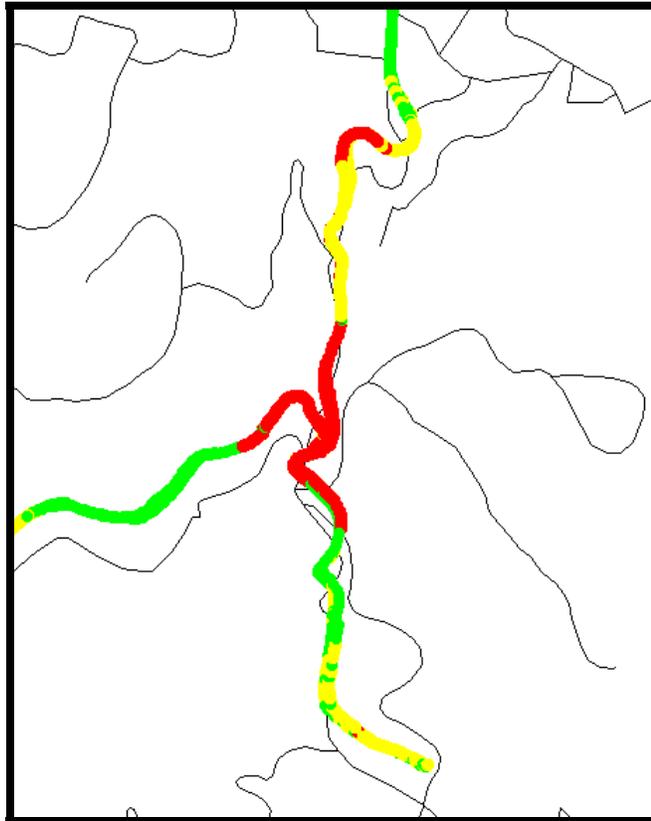
Figura 4. **Equipo para realizar *Drive Test***



Fuente: solintelco

Donde cada color indica un diferente rango de nivel de potencia en dbm, de las diferentes celdas servidoras; la información que se colecta es muy importante para poder identificar donde se encuentran las deficiencias de la señal así como también identificar si se tienen declaradas todas las posibles vecindades para poder realizar el paso de una celda a otra.

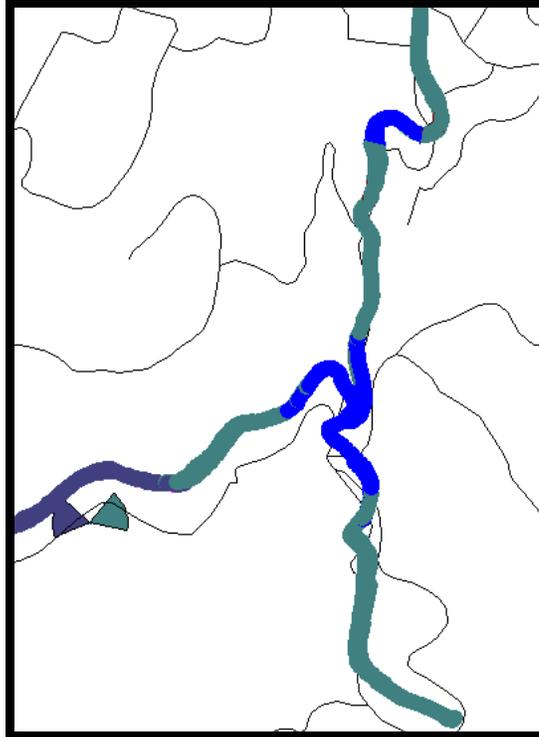
Figura 5. Nivel de señal



Fuente: elaboración propia.

Los colores llevan un significado similar al de un semáforo, donde las partes que se aprecian en verde son las áreas con buenos niveles de señal, las partes en amarillo indican que la señal es regular y las partes rojas que estos niveles son malos y deben de mejorarse. En un *drive test* también se puede identificar cual es exactamente la celda dominante o a la que se engancha el teléfono al verificar el BCCH de la celda que está brindando el servicio y esto también puede apreciarse por colores tal como podemos observar en la figura 6.

Figura 6. Cobertura por BCCH



Fuente: elaboración propia.

En la ciudad de Guatemala la forma del terreno es bastante complicada ya que tiene varios valles, lomas, montículos y otros obstáculos que impiden que la cobertura celular tanto de GSM como de UMTS logren llegar a cubrir todos los objetivos previstos, como en el caso de lo que hemos visto en el *drive test*. En la figura 1 y 2, pudimos apreciar que en la mayoría del área se tiene como dominante a uno de los sectores pero se tiene una área sin cubrir debido a un obstáculo dado por el terreno.

Y es en estos casos donde es de gran ayuda poder instalar una solución micro que logre cubrir los lugares donde una solución macro no ha logrado

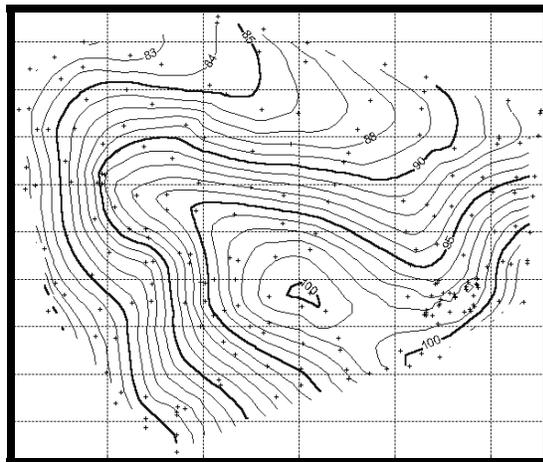
llegar. De esta forma es como se puede llegar a determinar los puntos con deficiencias.

## 2.2. Estudio de radio frecuencia

Se le llama estudio de radio frecuencia al análisis que se realiza para poder ubicar el mejor punto donde se puede instalar una solución de cobertura celular, la altura que requiere la estructura para lograr cubrir los requerimientos, así también determinar el tipo de antena a utilizar.

Luego de identificar los lugares con deficiencias se realiza un estudio viendo las curvas de nivel del terreno como se observa en la figura 7.

Figura 7. **Curvas de nivel**



Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 4, el lugar es una loma que se extiende de una manera que el mismo terreno provoca sombra en la parte baja, por lo que

al realizar el *drive test* se observa que es allí donde se encuentra la deficiencia ya que la solución macro se encuentra en la cumbre.

Luego de ver la forma del terreno se debe determinar el punto adecuado para colocar la solución micro que pueda atender esta necesidad. Se realiza un diseño en oficina el cual debe posteriormente verificarse en campo antes de la ejecución del proyecto. (Figura 8).

Figura 8. **Posición teórica solución micro**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 8, la solución se pretende instalar en una coordenada que aproveche la misma forma del terreno para poder cubrir la



Para realizar la búsqueda del punto teórico es necesario contar con un formato de búsqueda para la verificación del punto en campo. Como el que se muestra en la figura 10.

Figura 10. Formato hoja de diseño RF

## DISEÑO RF

Identificador: \_\_\_\_\_

Nombre del sitio: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

	GSM		
	UMTS.		

Ing. RF: \_\_\_\_\_ Cel: \_\_\_\_\_

Coordenada:      Latitud: \_\_\_\_\_      Longitud: \_\_\_\_\_

Departamento: \_\_\_\_\_      Altura Estructura: \_\_\_\_\_

Municipio: \_\_\_\_\_      Radio de Anillo de Búsqueda: \_\_\_\_\_

Tipo de Solución: \_\_\_\_\_      Altura Sobre El Nivel del Mar (M): \_\_\_\_\_

GSM					
Sector	Altura	Orientación	Inclinación Mecanica	Inclinación Electrica	Antena
Alfa					
Beta					
Gama					

UMTS					
Sector	Altura	Orientación	Inclinación Mecanica	Inclinación Electrica	Antena
Alfa					
Beta					
Gama					

Predicción Sitio Teorica

GSM

N

UMTS

N

Objetivos

Sector Alfa \_\_\_\_\_

Sector Beta \_\_\_\_\_

Sector Gama \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10, se puede observar un ejemplo de una hoja de diseño, la cual contiene el número de identificación es el que será ingresado en el *switch*, así también el nombre; el cual hará referencia a los objetivos de cobertura, esta también incluye el nombre del ingeniero de radio frecuencia que realiza el estudio así como su número de celular, la fecha en que se realizó el estudio, tipo de tecnología que debe contener el nuevo sitio, la coordenada tomada con un GPS, el departamento, municipio al que pertenece el lugar donde será instalado la solución.

Así también la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra la coordenada, la altura que se necesita para poder lograr cubrir los objetivos, tipo de solución (micro, macro, etc). En el caso del anillo de búsqueda es un área en la que la persona encargada de negociar el punto de interés puede movilizarse sin afectar la cobertura deseada, este puede variar según el tipo de solución que se desea instalar, como también la forma del terreno.

Allí también encontramos los sectores que tendrá cada tecnología que nos indican la orientación del objetivo, esto en el caso de que la solución utilice antenas direccionales que por la forma del terreno en Guatemala se aconseja utilizar antenas direccionales para poder cubrir un objetivo definido, así también la inclinación que sería necesaria para poder lograr que el lóbulo frontal de la antena sea aprovechado al máximo cubriendo las deficiencias, estos pueden ser mecánicos o eléctricos. Altura a la que se colocara cada sector que esto dependerá de los objetivos y tipo de solución.

La antena se define dependiendo del tipo de área que se requiera cubrir ya que esta puede ir desde una antena omnidireccional a una direccional, como es el ejemplo que hemos estado analizando. Para el caso las predicciones estas no son más que las machas de cobertura que se esperarían obtener con

la instalación del nuevo sitio, se lleva a cabo con una herramienta de predicción, en la cual se elige el modelo de propagación que se acomode al tipo de terreno.

Estas herramientas permiten simular desde un solo sitio de celda hasta toda una red móvil celular. Posteriormente podremos colocar que objetivos se cubrirían con cada sector como por ejemplo: una carretera, un caserío, un poblado, etc. El espacio para las observaciones se deja para que la persona que ejecute la visita pueda colocar algún comentario sobre lo que vio en el recorrido por si la morfología del terreno se vio afectada por algo.

### **2.2.1. Coordenadas geográficas**

Se le conoce así al sistema que se utiliza de referencia para poder ubicar con una buena precisión un lugar en la superficie terrestre. Usa las coordenadas angulares de latitud y longitud. Estas coordenadas angulares se miden desde el centro de la tierra estas son líneas imaginarias que dividen la tierra de norte a sur y de este a oeste. La latitud son las líneas paralelas a el ecuador mientras que la longitud es la distancia media en grados que se mide entre cualquier paralelo y el eje ecuatorial.

### **2.2.2. MSNM (Metros Sobre el Nivel del Mar)**

Es la medida de la altura en metros con respecto al nivel del mar, de los diferentes accidentes geográficos que se encuentran dentro de una región o país, para el caso de la ciudad de Guatemala 1 500 metros, esta medida varia según el punto donde se realice la medición así como la estación del año.

### **2.2.3. Anillo de búsqueda**

Se le denomina anillo de búsqueda al área donde la persona encargada de contratar el espacio para colocar la solución pueda moverse sin que se afecten los objetivos de cobertura. Para el ejemplo que estamos analizando de la ciudad de Guatemala debido a la forma del terreno, el anillo de búsqueda es pequeño para no perder cobertura.

### **2.2.4. Altura**

La altura de la solución depende de los obstáculos, el tamaño de los objetivos que se requieren cubrir, así como también de los diferentes permisos de las instituciones estatales encargadas de regular esto. Para nuestro caso este tendrá una altura efectiva de nueve metros.

### **2.2.5. Orientación**

La orientación de los sectores viene dada con respecto al Acimut a partir del norte siguiendo el movimiento de las agujas del reloj quedando de esta manera el sector cuyo ángulo es más cercano al norte se llamará Alfa, mientras que el que más se aleja del norte siguiendo la regla de las manecillas este recibirá el nombre de gamma. Se orientan utilizando una brújula con la cual se debe observar los objetivos de cobertura como en este caso la carretera este debe tener vista tratando de evitar la mayor cantidad de obstáculos para poder brindar una cobertura con buenos niveles de potencia.

### **2.2.6. Inclínación mecánica y eléctrica**

La diferencia principal entre la inclinación mecánica y eléctrica es que la primera requiere que se realicen cambios físicos al soporte de la antena para lograr cubrir los objetivos pero al inclinar la antena el patrón de radiación se deforma y deja de ser circular y empieza a tomar forma de elipsoide, y dependiendo de los objetivos estos pueden verse afectados al momento de solo utilizar este tipo de inclinación, mientras que la eléctrica lo que hace es concentrar más el lóbulo frontal, por lo que se reduce el área cubierta pero mantiene su forma, por lo que un buen diseño de RF es el que se analiza el tipo a utilizar o si debe de llevar ambos para que los objetivos queden completamente cubiertos.

### **2.2.7. Antena**

Los factores a tomar en cuenta al momento de elegir la antena que se instalarán son, la ganancia la cual nos permitirá tener una mejor concentración de la potencia radiada, frecuencias a la que trabaja, tamaño físico, apertura vertical y horizontal de esta.

La ganancia dependerá del cálculo realizado según la potencia esperada desde el punto donde se encuentra la solución al lugar con inconvenientes donde una parte muy importante es el tipo de equipo que se instalará ya que en el mercado se encuentran equipos que utilizan líneas de transmisión que añaden pérdida a la potencia de salida final, este mismo efecto provocan los conectores, si se instalan equipos donde estas líneas y conectores se reduzcan a 2 metros se logra desprestigiar esta pérdida aprovechando al máximo dicha potencia.

Para el caso de la ciudad es conveniente la instalación de antenas direccionales y de apertura vertical y horizontal pequeña. Y para el caso de la solución tipo poste que dichas antenas no sean mayor a un metro para que no afecten el aspecto visual.

#### **2.2.8. Predicción**

Se le dice así a la mancha de cobertura esperada en una área donde se encuentra una solución de telefonía móvil, ésta se lleva a cabo utilizando herramientas dedicadas a predicciones, estos permiten realizar predicciones de un solo sector hasta toda una red móvil tanto de GSM como de UMTS. Donde por medio de colores muestran los diferentes niveles de potencia esperados, esto sirve para luego de implementar realizar mediciones y comparar si se logro lo esperado.

#### **2.2.9. Objetivos**

La idea principal de colocar los objetivos de cada sector es para que el personal que realice la instalación tenga conocimiento de lo que se requiere cubrir y puedan colocar los sectores en las orientaciones adecuadas según diseño y verificado en campo.

### **2.3. Consideraciones necesarias previas a la instalación**

Son varios elementos necesarios a considerar antes de proceder a la instalación de la solución, entre ellos destaca:

- Permisos de las diferentes instituciones
- Punto cercano para conexión de energía
- Acceso a fibra para la transmisión

- Equipo de transmisión
- Antenas, soportes y accesorios
- Plan de frecuencias y vecindades para GSM
- Plan de frecuencia y vecindades para UMTS

### **2.3.1. Permisos de las diferentes instituciones**

Este tipo de permisos son los requisitos que ponen las diferentes entes reguladores de infraestructura de empresas que prestan servicios al público en general y que hacen uso de áreas municipales para poder llevar dicho servicio.

### **2.3.2. Punto cercano para la conexión de energía**

Es el punto de conexión de energía eléctrica donde se abastecerá la solución de cobertura, es importante contar con esto para poder poner en funcionamiento la solución tomando en cuenta que al tener energía cerca se reduciría costos ya que no se tendría que hacer extensión de línea para poder llegar al lugar requerido.

### **2.3.3. Acceso a fibra para la transmisión**

Este es un requisito muy importante para la ejecución de un proyecto de cobertura, ya que es el medio a través del cual se enviara toda la información recibida de la radio base hacia la central de conmutación encargada de direccionarla así el área móvil o fija, según la identificación que lleven los datos.

Para la soluciones micro se recomienda fibra debido a que son muy pequeñas las alturas es muy fácil que tengan obstrucción por lo que no se lograría línea de vista para poder instalar una solución de radio.

#### **2.3.4. Equipo de transmisión**

El equipo requerido debe de ser uno que cumpla con reducido tamaño, que logre contener tanto GSM como UMTS en un solo gabinete, que cuente con espacio para energía de respaldo.

En el mercado mundial existen diferentes empresas dedicadas a la fabricación de equipo de transmisión de radio frecuencia móvil celular, y debido a la nueva necesidad de reducir tamaño, se inicio una competencia para poder realizar un equipo que pueda ser instalado en espacios reducidos y con capacidad de manejar varias tecnologías a la vez, esto haciéndolas mas eficientes y económicas para un proveedor de servicio celular, estas nuevas radio bases permiten aprovechar al máximo la potencia de transmisión ya que la comparte con las otras tecnologías lo cual hace que se distribuya según el tipo de servicio prestado en cada zona donde se instalen los diferentes equipos.

#### **2.3.5. Antenas, soportes y accesorios**

Es importante tener elegida la antena que se colocara por sector para que se pueda proceder a instalar la solución de forma que no quede nada pendiente, como lo hemos mencionado para el caso de la ciudad de Guatemala es preferible montar antenas direccionales, estas se sujetaran a un soporte como ejemplo podemos ver la figura 8, el cual nos permitirá tener una movilidad para poder darle inclinaciones mecánicas a la antena y así orientarla hacia los objetivos deseados.

Figura 11. **Soportes y accesorios**

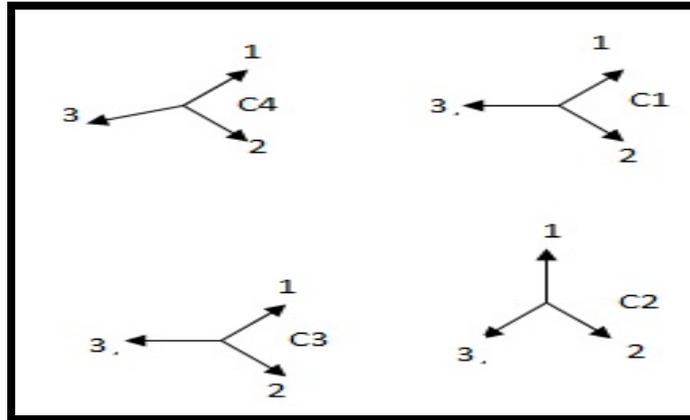


Fuente: [www.conexiaperu.com](http://www.conexiaperu.com). 17 de septiembre de 2011.

### **2.3.6. Plan de frecuencias y vecindades para GSM**

La planeación de frecuencias es muy importante para una red de telefonía móvil celular esto debido a que el costo del alquiler de espectro de frecuencias es muy alto, y se debe aprovechar al máximo el ancho de banda por lo que se hace el rehusó de frecuencias este debe de ser bien realizado para que no exista interferencia entre los diferentes canales de comunicación de las diferentes radio bases y para comprender mejor lo que es el plan de frecuencias imaginemos que tenemos un grupo de celdas distribuidos con sus respectivos sectores como aparece en la figura 12.

Figura 12. Grupo de celdas



Fuente: elaboración propia.

Como podemos observar cada sitio está compuesto por tres sectores cada uno se ha enumerado del uno al tres respectivamente, por lo que identificaremos al sector uno de la celda uno de la siguiente manera C11, al sector dos de la misma celda como C12 y así sucesivamente para todos los sectores contenidos dentro de esta pequeña red, donde los primeros dos dígitos identifican a la celda y el tercero el número de sector.

Supongamos que los sitios de celda de C1 a C3 se encuentran activos, y se quiere colocar un sitio nuevo con nombre C4, el cual necesita un plan de frecuencias como de vecindades para que este no afecte las estadísticas de los sitios que contiene la red, ahora si la red en la que se encuentra los sitios cuenta con un espectro en el que se quiere aprovechar al máximo la distribución de frecuencias y los canales con que se cuentan para las frecuencias de la red son los que se muestran en la tabla I.

Teniendo el espectro con que se cuenta la red, ahora suponiendo que los primeros siete canales sean destinados para canales de control y el resto para

tráfico y que las frecuencias asignadas a cada sector por sitio sean las que se muestran en la tabla II.

Donde C4 aun no tiene asignado los canales y debe realizarse un plan de frecuencias que nos ayuden a aprovechar al máximo el espectro con que se cuenta y hacer utilizar el rehusó de frecuencias. Un buen plan de frecuencias es aquel que reduce al máximo la interferencia causada por canales que tienen la misma frecuencia y canales adyacentes.

La interferencia producida por un agente externo al sitio estudiado cuya frecuencia de emisión se encuentra a la misma que el sector se le conoce como cocanal, y la interferencia de niveles de potencia no deseados provenientes de fuentes que radian en frecuencias diferentes a la estudiada y que no son eliminadas y se encuentran cerca de la frecuencia radiada se les conoce como adyacentes. Entre estos dos tipos de interferencia la que mas afecta son los cocanales ya que tienen iguales frecuencias de trabajo, por lo que los adyacentes afectan de menor forma utilizando formas de controlarlos, tales como concentrándolo en una pequeña área sin que afecte a los sectores cercanos, bajando el nivel de potencia radia, etc.

En la actualidad existen varios programas que realizan diferentes iteraciones buscando el canal que funcione de mejor manera para cada sector, esto es para redes grandes ya que hacerlo de forma manual puede tornarse, un poco tedioso y tardado. Para el caso que estamos analizando es conveniente ver de forma gráfica los canales asignados en la red para poder entender el análisis que se requiere hacer de una mejor forma podemos observar en la figura 13.

Tabla I. **Canales de frecuencias**

<b>Canales</b>	<b>Frecuencia de subida (MHz)</b>	<b>Frecuencia de Descenso (MHz)</b>
79	842	887
80	842,2	887,2
81	842,4	887,4
82	842,6	887,6
83	842,8	887,8
84	843	888
85	843,2	888,2
86	843,4	888,4
87	843,6	888,6
88	843,8	888,8
89	844	889
90	844,2	889,2
91	844,4	889,4
92	844,6	889,6
93	844,8	889,8
94	845	890
95	845,2	890,2

Fuente: elaboración propia.

Realizando el análisis para el sector X1, como vemos en la figura anterior este se encuentra rodeado de el canal 85, el cual no podemos utilizar en este ya que si lo usáramos provocaríamos un cocanal, si observamos el sector tres de C1, tiene el mismo canal de sector uno de C3, pero para este caso debe de estar controlado en potencia y por la distancia es poco probable que llegue al punto donde provocaría interferencia no es así para el caso del sector uno de C4, por lo que este canal queda descartado, continuemos con los demás

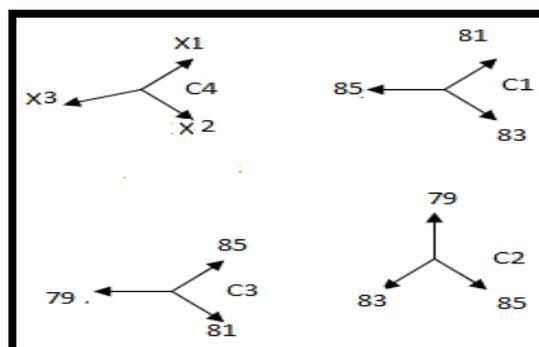
canales el canal 79, si colocamos este y lo revisamos con los sectores que ven en la misma dirección observamos que el único sector que podría afectarlo es el sector uno de C2.

Tabla II. **Canal de control**

Sitio	Sector	Canal de Control Asignado
C1	C11	81
	C12	83
	C13	85
C2	C21	79
	C22	85
	C23	83
C3	C31	85
	C32	81
	C33	79
C4	C41	X1
	C42	X2
	C43	X3

Fuente: elaboración propia.

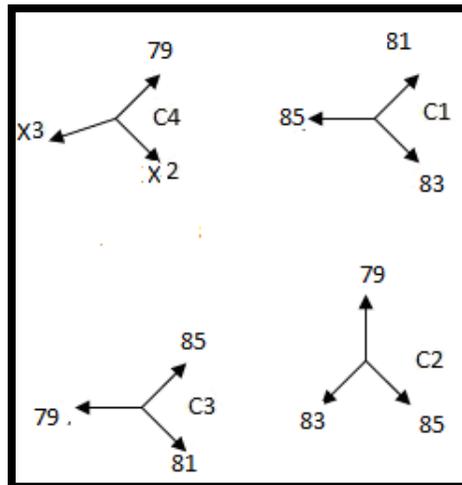
Figura 13. **Canales asignados**



Fuente: elaboración propia.

Asumiendo una gran distancia podemos dejar este canal, ya que tampoco tiene adyacencias cercanas que pudieran afectar también a este canal, por lo que la red al momento se encuentra como se observa en la figura 14.

Figura 14. Canal para C4 sector 1



Fuente: elaboración propia.

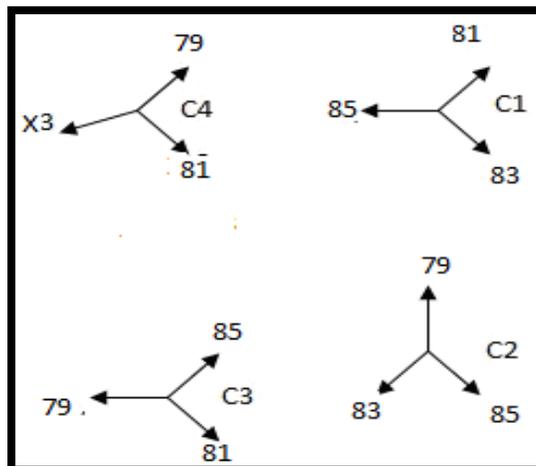
Para el sector X2, como en el anterior queda descartado el canal 85 por las mismas razones, así también el canal 79 por estar colocado ya en el sector uno, siguiendo con los demás canales el 80 queda descartado por ser adyacente del 79 que se encuentra en el mismo sitio y no puede evitarse su adyacencia, por lo que probamos con el canal 81, vemos que no tiene adyacencias y tampoco cocanal ya que no hay sector cercano que pudiera afectar o ser afectado, por lo que podremos dejar este quedando la red como se muestra en la figura 15.

Para el sector X2, como en el anterior queda descartado el canal 85 por las mismas razones, así también el canal 79 por estar colocado ya en el sector uno,

siguiendo con los demás canales el 80 queda descartado por ser adyacente del 79 que se encuentra en el mismo sitio y no puede evitarse su adyacencia, por lo que probamos con el canal 81, vemos que no tiene adyacencias y tampoco cocanal ya que no hay sector cercano que pudiera afectar o ser afectado, por lo que podremos dejar este quedando la red como se muestra en la figura 15.

Por último buscar el canal para el sector tres, como en los casos anteriores no podemos utilizar el canal 79,85 y 81, así también queda descartado el 80 y 82 por adyacencias, por lo que es necesario intentar con el siguiente 83, verificando a su alrededor no afecta a ninguno de los sectores del mismo sitio, no existe cocanal ni adyacencia por lo que se puede quedar este canal, quedando de esta manera termina la asignación del canal de control del nuevo sitio con nombre C4, y quedando la red como se muestra en la (figura 15), esto debe de realizarse por cada sector nuevo que se agregue a la red, siempre teniendo los cuidados necesarios para que se mantenga el nivel de interferencia bajo.

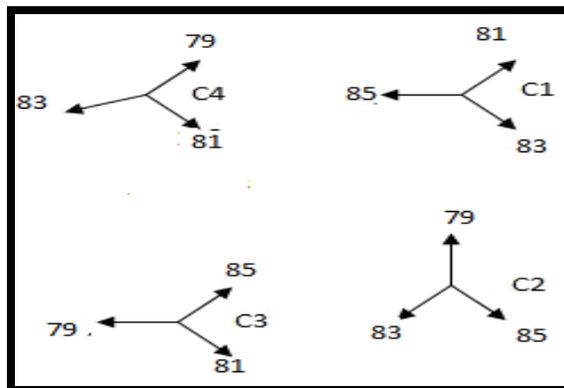
Figura 15. **Dos canales asignados a C4**



Fuente: elaboración propia.

Por último buscar el canal para el sector tres, como en los casos anteriores no podemos utilizar el canal 79,85 y 81, así también queda descartado el 80 y 82 por adyacencias, por lo que es necesario intentar con el siguiente 83, verificando a su alrededor no afecta a ninguno de los sectores del mismo sitio, no existe cocanal ni adyacencia por lo que se puede quedar este canal, quedando de esta manera termina la asignación del canal de control del nuevo sitio con nombre C4, y quedando la red como se muestra en la (figura 16), esto debe de realizarse por cada sector nuevo que se agregue a la red, siempre teniendo los cuidados necesarios para que se mantenga el nivel de interferencia bajo.

Figura 16. **Sitio con sus canales de control**



Fuente: elaboración propia.

En una red que utiliza el rehusó de frecuencias es necesario utilizar un código de identificación de radio base, esto con el fin que el móvil pueda identificar que radio base es la que esta manteniendo el enlace de comunicación, ya que como vimos pueden haber puntos donde estén muy cerca los canales de control. Este código es aun mas utilizados en lugares fronterizos donde otras empresas utilizan el mismo espectro, y para evitar que

se pierda la llamada se coloca este, el cual esta compuesto de un código de color de red que contiene tres dígitos y con las misma cantidad de dígitos también para el código de color de estación base.

Estos dígitos podrían tomar un valor comprendido entre cero y siete cada uno respectivamente. Por lo que para nuestro ejemplo asumiendo que nuestros sitios tenga los siguientes códigos que se muestra en la tabla III.

Tabla III. **Código de estación pendientes**

Sitio	Sector	Canal de Control Asignado	Código de Identificación Radio Base
C1	C11	81	10
	C12	83	3
	C13	85	1
C2	C21	79	5
	C22	85	7
	C23	83	14
C3	C31	85	11
	C32	81	16
	C33	79	17
C4	C41	79	Y1
	C42	81	Y2
	C43	83	Y3

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior para el caso de C11 el código de red es uno, mientras que el código de estación es cero, para el caso de C12, el código de red es cero y el de estación tres, siguiendo esto podemos asignarles los códigos que no se repitan en la red bajo el mismo canal de control, por lo que podríamos asignarle por ejemplo los valores que aparecen en la tabla IV.

Para el caso de esta red asumiremos que el tráfico es bajo por lo que es necesario únicamente contar con un transmisor por cada sector, con esto se logra que a cada sector se le asigne una frecuencia de tráfico del espectro inicial.

Tabla IV. **Declaración de código de identificación de estación base**

Sitio	Sector	Canal de Control Asignado	Código de Identificación Estación Base
C1	C11	81	10
	C12	83	3
	C13	85	1
C2	C21	79	5
	C22	85	7
	C23	83	14
C3	C31	85	11
	C32	81	16
	C33	79	17
C4	C41	79	20
	C42	81	30
	C43	83	40

Fuente: elaboración propia.

Como podemos ver en la tabla V las vecinas que siempre están son las de los sectores que se encuentran en el sitio de celda estos no deben de faltar y la vecindad es mutua aparece en los dos sectores si falta, en cuanto a los demás vecinos es un recorrido visual de lo que ve cada uno de los sectores como se menciono en el párrafo anterior.

Tabla V. **Vecindades**

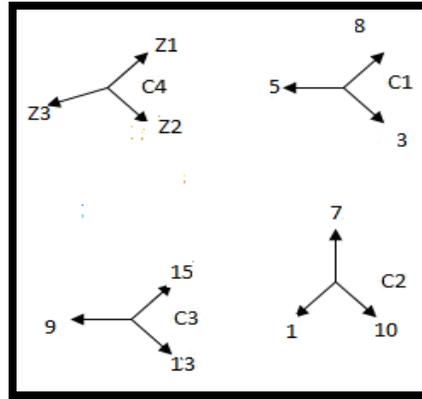
Sitio	Sector	Vecindades
C1	C11	C13,C12,C41
	C12	C21,C13,C11,C31,C41,C22
	C13	C11,C12,C41,C31,C42,C23
C2	C21	C22,C23,C13,C12,C41,C31,C42
	C22	C21,C23
	C23	C21,C22,C31,C32
C3	C31	C32,C33,C42,C13,C21,C23,C43,C12
	C32	C31,C33,C23,C22
	C33	C32,C31,C43
C4	C41	C42,C43,C13
	C42	C41,C43,C13,C12,C21,C23,C31
	C43	C42,C41,C33

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.7. Plan de frecuencia y vecindades para UMTS

Para el caso de la necesidad de realizar un plan frecuencia para Umts, suponiendo el mismo caso estudiado anteriormente dado cuatro sitios de celda, la complejidad para la planeación en esta tecnología es mínima ya que lo requerido es que se le asigne un código de quinientos doce que son, bajo la condición que no se repita en al menos cinco kilómetros a la redonda para que sea eficiente el rehusó de códigos, y como en el caso anterior que se uso identificador de estación aquí no es necesario, entonces como ejemplo la figura 17.

Figura 17. Plan de Frecuencia UMTS

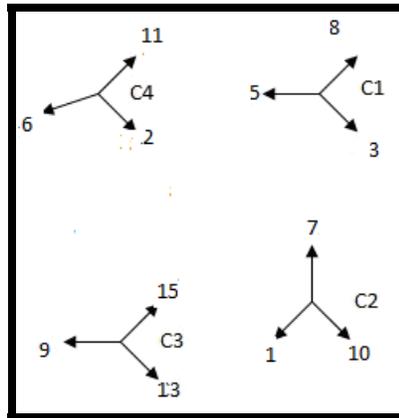


Fuente: elaboración propia.

El nuevo sitio requiere frecuencias para trabajar y como se indico se puede tomar uno de los quinientos doce códigos que no se repitan con ninguno de los que están asignados a los otros sectores, por lo que podría quedar como aparece en la figura 18.

Como se menciona con anterioridad no es necesario el código de estación, sin embargo son necesarios otros códigos que identifican el grupo de red a la que pertenece la celda para poder compartir su información tanto de señalización como tráfico de una forma mas eficiente y sin errores. Los valores de estos códigos deben de ser los mismos para cada grupo por lo que para este sitio nuevo es necesario asignarle el mismo que tenga el más próximo. En cuanto a las vecindades como son los mismos sectores que en GSM se utilizan las que se encuentra en la tabla V.

Figura 18. **Códigos Asignados**



Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Implementación

Luego de preparar tanto lo necesario lógico como físico, para el sitio, se lleva a cabo la implementación de este, que no es mas que para nuestro estudio la instalación del poste en la coordenada solicitada y la cual cumple con los permisos necesarios, para esto se realiza una excavación de tres metros de profundidad donde se colocara la base del poste con su respectivo, cimiento de concreto analizado por personal de estructuras, posteriormente se instalaran los soportes de las antenas con sus respectivos accesorios.

Luego se colocara los implementos requeridos por la empresa que supe de energía en el sector y se espera su respectiva conexión al tendido eléctrico, luego de comprobar que estos implementos se encuentren instalados y funcionando, se procede a verificar que la fibra tenga conexión a la central. Si esto se encuentra en buen estado se procede a instalar el equipo y las antenas.

### **3. INTEGRACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO**

Los últimos pasos a seguir para que una nueva estación base quede en servicio comercial es la integración y su respectiva notificación a todas las áreas que el nuevo sitio se encuentra activo y cumple con todos los requisitos puesto por la empresa. A continuación se darán mas detalles sobre lo que es cada uno de estos aspectos.

#### **3.1. Integración**

La integración es el proceso por el cual se establecen todos los parámetros que el operador requiere que se instalen lógicamente dentro de la bts para que funcione adecuadamente. Pero es necesario realizar unas comprobaciones previas las cuales se mencionan a continuación.

##### **3.1.1. Auditoria del sitio**

Antes de activar una nueva estación base es necesario realizar una revisión de todos los elementos instalados y así poder comprobar que todo se encuentre bien instalado y que no se tenga ningún pendiente que pueda afectar el buen funcionamiento. Lo mejor es llevar una hoja que cuente con una lista de elementos necesarios en la revisión y así poder colocar una marca a lo que se encuentre correcto y así verificar cuales son los pendientes si hubieran, esta lista puede contener lo siguiente:

- Coordenada real y coordenada teórica
- Dirección del sitio

- Tipo de solución
- Número de sectores
- Número de serie de radio base instalada
- Cantidad de transmisores instalados en el equipo
- Conexión de energía eléctrica
- Respaldo de energía
- Modelo y cantidad de antenas instaladas
- Accesorios instalados (conectores, soportes, etc)
- Transmisión instalada y funcionando

Si todo lo anterior se encuentra en óptimas condiciones y no se tienen algún pendiente de estos se puede proseguir con la instalación.

### **3.1.2. Carga de *software***

Siempre que se haya cumplido con todo lo expuesto en el apartado anterior se puede proseguir con cargar el *software* a la nueva estación base esta, información contiene los datos de GSM y UMTS, de los diferentes parámetros para que pueda acceder a la central y poder tener comunicación con las demás radio bases, la información contenida para el caso de GSM son: el número de identificación, el nombre del sitio, la coordenada, los canales de control por cada sector, así también el código de estación base, hacia que controlador va dirigido, las vecindades, esto es lo mas importante que debe contener para que pueda funcionar el área de GSM.

En cuanto a UMTS, de la misma fuera es necesario cargar la información del identificador tanto del nodo como de los sectores, las vecindades, el valor de potencia, el canal de control y el código de área a la que pertenece, esto es lo principal para que pueda ser reconocido en la central y poder encenderse

posteriormente. La carga de *software* se lleva a cabo a través de un computador que utiliza el programa adecuado para el tipo de radio base instalada este *software* es proveído por el fabricante, se conecta a través de un cable serial para poder transferir la información.

### **3.1.3. Verificación de alarmas**

Al momento de tener cargado el *software* que controlara la nueva estación, se procede a encender y verificar desde el controlador central, si la radio base presenta alguna alarma, como ejemplo si se tuviera abierta la puerta del gabinete en la central se tendría que ver reflejado esta alarma indicando que se tiene abierta la puerta, para que un sitio se pueda declarar en buen estado es necesario que no se tenga ninguna alarma activa, por lo que si hubiera alguna se tendría que corregir lo que indicara la alarma para poder dejar en funcionamiento el nuevo sitio.

### **3.1.4. Prueba de llamadas (voz y video) y transferencia de datos**

Si se llega a esta parte es por que todo el equipo se encuentra debidamente instalado, por lo que únicamente queda verificar si es posible tener servicios de voz como de datos. Para GSM como UMTS, se utiliza un teléfono en modo de ingeniería, para poder realizar las mediciones de potencia, verificación de identificación, etc.

En el caso de GSM lo que se necesita es lograr realizar una llamada de voz de un móvil a otro de la misma compañía, de un móvil a uno de otra compañía, del movida a un teléfono fijo y de la misma forma se realizan el proceso inverso es decir de un móvil que se encuentra en otra lugar al que se

encuentra en el área de cobertura del nuevo sitio. Para el caso de datos se realiza una conexión vía el teléfono a una página de internet y se mide el ancho de banda de subida y bajada de información.

En cuanto a UMTS el primer paso es el mismo que para GSM si pasa esta etapa, se realiza un video llamado a otro móvil para verificar que se tenga activo este servicio y que cumpla con lo requerido y ofrecido por el operador, si todo marcha bien se utiliza el móvil como un medio de enlace para que un computador se pueda conectar a internet y poder videos en línea, descargar información de gran tamaño, subir información de igual tamaño y por último se conecta a una página de medición de ancho de banda para corroborar que se esté logrando las velocidades deseadas.

### **3.2. Puesta en servicio comercial**

Si se cumple con todos los pasos mencionados anteriormente se puede proseguir con las últimas verificaciones para poder poner el nuevo sitio en servicio comercial.

#### **3.2.1. Encendido temporal para verificación de objetivos de cobertura**

Antes de poner un nuevo sitio en servicio comercial es necesario realizar mediciones para poder corroborar que se estén cubriendo los objetivos deseados por la empresa de telefonía, para ello el primer paso es encender el nuevo sitio siempre que se tenga un equipo para realizar las mediciones de potencia, para lograr esto es primordial contar con los objetivos de cobertura por sector, esto indicando que tipo de detalle es el que se necesita según el tipo de cobertura se necesite verificar para el caso del estudio de este trabajo.

Por ser urbano es necesario realizar mediciones en todas las calles y avenidas que se presenten en los objetivos, ya con esta información se colocan los equipos de medición de potencia tanto para GSM como de UMTS y se realiza un *drive test* el cual se compara con respecto a la predicción se analiza si se cumplieron a cabalidad los objetivos esto como se vio en el capítulo dos.

### **3.2.2. Optimización de sitio**

Si al momento de realizar la verificación de objetivos de cobertura esto no se cumple, entonces se llevan acabo cambios físicos o lógicos según sea necesario para poder corregir y lograr que se cumplan los objetivos requeridos.

Como ejemplo de los parámetros físicos puede darse el caso que la inclinación de la antena no sea la suficiente para poder cubrir el área y necesita que se le de mas, entonces se procede a realizar esta modificación, para que posterior al cambio se haga nuevamente una medición y se pueda comparar con respecto a la primera medición y así poder corroborar que la deficiencia que se tenia se haya corregido si aun así no se corrigiera se procede a analizar el caso para verificar si es problema de potencia y poder cambiarla y así nuevamente realizar mediciones y comparaciones.

Por lo que para esta parte es necesario contar también con el equipo de medición, para poder verificar que los cambios hechos hayan dado resultado.

### **3.2.3. Declaración puesta en servicio comercial**

Luego de haber realizado la optimización y verificación del sitio, teniendo como resultado que se logran todos los objetivos solicitados por el área comercial de la empresa móvil, se pudo proseguir con notificar a todo el personal que el nuevo sitio se encuentra ya activo y funcionando correctamente.

## 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para llevar a cabo el análisis financiero se utilizarán dos métodos; el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE).

VAC: el valor actual de costo, más conocido por las siglas de su abreviación, VAC, es una medida de los costos en los flujos de caja, todo llevado al valor presente (el valor real del dinero cambia con el tiempo). Es por otro lado una de las metodologías estándar que se utilizan para la evaluación de proyectos.

El VAC, en términos matemáticos, es equivalente a la sumatoria de los costos. Utilizando la siguiente fórmula:  $(E_n) / (1+i)^n$ , donde "E<sub>n</sub>" son el valor de los egresos, e "i" como el interés, considerado para efectos de cálculo como un valor fijo, y por último "n" es el número de períodos en el que se está analizando el proyecto.

CAUE: el método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos, si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado. Para este caso solamente se hará una comparación de costos por lo cual se rechazará el proyecto que tenga mayor costo.

El CAUE, en términos matemáticos es equivalente a  $VAC/(n-i)$ , donde: "VAC" es el Valor Actual de Costos, "n" el número de periodos, e "i" el número de interés.

Estos métodos servirán para llevar a cabo una comparación entre una solución macro de cobertura y una micro que es la que se ha analizado en este trabajo y definir cual de los dos es más rentable utilizar.

#### 4.1. Análisis financiero

Tabla VI. Análisis financiero sitio macro

Costos de Sitios Macro											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Costos de Instalación</b>	<b>Q280,000.00</b>	<b>Q0.00</b>									
Costo Permisos	Q80,000.00										
Construcción	Q200,000.00										
<b>Costos de Operación</b>											
Alquiler de Terreno		Q42,000.00	Q42,268.80	Q42,539.32	Q42,811.57	Q43,085.57	Q43,361.31	Q43,638.83	Q43,918.11	Q44,199.19	Q44,482.07
Mantenimiento		Q24,000.00	Q24,153.60	Q24,308.18	Q24,463.76	Q24,620.32	Q24,777.89	Q24,936.47	Q25,096.07	Q25,256.68	Q25,418.32
Energía Eléctrica		Q1,800.00	Q1,811.52	Q1,823.11	Q1,834.78	Q1,846.52	Q1,858.34	Q1,870.24	Q1,882.20	Q1,894.25	Q1,906.37
Seguridad		Q240,000.00	Q241,536.00	Q243,081.83	Q244,637.55	Q246,203.23	Q247,778.94	Q249,364.72	Q250,960.65	Q252,566.80	Q254,183.23
<b>Total</b>	<b>Q280,000.00</b>	<b>Q307,800.00</b>	<b>Q309,769.92</b>	<b>Q311,752.45</b>	<b>Q313,747.66</b>	<b>Q315,755.65</b>	<b>Q317,776.48</b>	<b>Q319,810.25</b>	<b>Q321,857.04</b>	<b>Q323,916.92</b>	<b>Q325,989.99</b>
VAC	Q280,000.00	Q305,842.61									
<b>VAC TOTAL</b>	<b>Q3,338,426.07</b>										
<b>CAUE</b>	<b>Q336,074.14</b>										

Fuente: elaboración propia.

Los sitios macro, necesitan una inversión inicial de Q280 000,00 por torre, un costo anual equivalente de Q336 074, 14 tomando en cuenta la tasa de Inflación que es de un 6,64% según datos proporcionados por el Banco de Guatemala para el año 2011 y proyectándolo para una vida de diez años, presentan un valor presente de costos de Q3 338 426,07.

Tabla VII. **Análisis financiero de solución micro**

Costo de Solución Micro											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>costos de Instalación</b>	<b>Q50,000.00</b>	<b>Q0.00</b>									
Costo de Permisos	Q10,000.00										
Costo de Construcción	Q40,000.00										
<b>Costos de Operación</b>	<b>Q0.00</b>										
Alquiler de Terreno											
Mantenimiento		Q12,000.00	Q12,796.80	Q13,646.51	Q14,552.64	Q15,518.93	Q16,549.39	Q17,648.27	Q18,820.11	Q20,069.77	Q21,402.40
Energía Eléctrica		Q3,600.00	Q3,839.04	Q4,093.95	Q4,365.79	Q4,655.68	Q4,964.82	Q5,294.48	Q5,646.03	Q6,020.93	Q6,420.72
Seguridad											
<b>Total</b>	<b>Q50,000.00</b>	<b>Q15,600.00</b>	<b>Q16,635.84</b>	<b>Q17,740.46</b>	<b>Q18,918.43</b>	<b>Q20,174.61</b>	<b>Q21,514.20</b>	<b>Q22,942.75</b>	<b>Q24,466.15</b>	<b>Q26,090.70</b>	<b>Q27,823.12</b>
VAC	Q50,000.00	Q15,500.79	Q16,424.93	Q17,404.16	Q18,441.77	Q19,541.23	Q20,706.25	Q21,940.73	Q23,248.80	Q24,634.86	Q26,103.55
VAC TOTAL	Q253,947.06										
CAUE	Q25,564.45										

Fuente: elaboración propia.

La solución micro, necesita una inversión inicial de Q50 000,00 por poste, un costo anual equivalente de Q25 564,45 tomando en cuenta la tasa de Inflación que es de un 6,64% según datos proporcionados por el Banco de Guatemala para el año 2011 y proyectándolo para una vida de diez años, presentan un valor presente de costos de Q253 947,06.

#### 4.2. Análisis gráfico

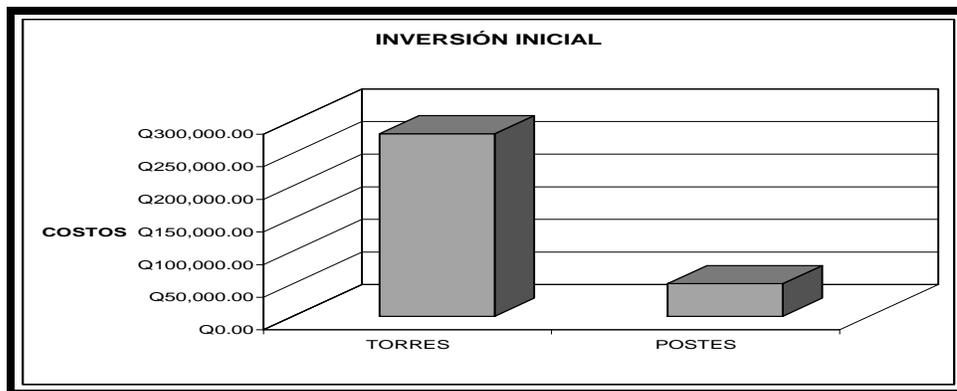
El análisis gráfico pretende dar una mejor interpretación de los resultados obtenidos en el análisis financiero, ya que realiza una comparación de los datos obtenidos para ambas soluciones.

Tabla VIII. **Comparación de inversión inicial**

<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	
Solución Macro	Q280 000,00
Solución Micro	Q50 000,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Análisis de inversión inicial**



Fuente: elaboración propia.

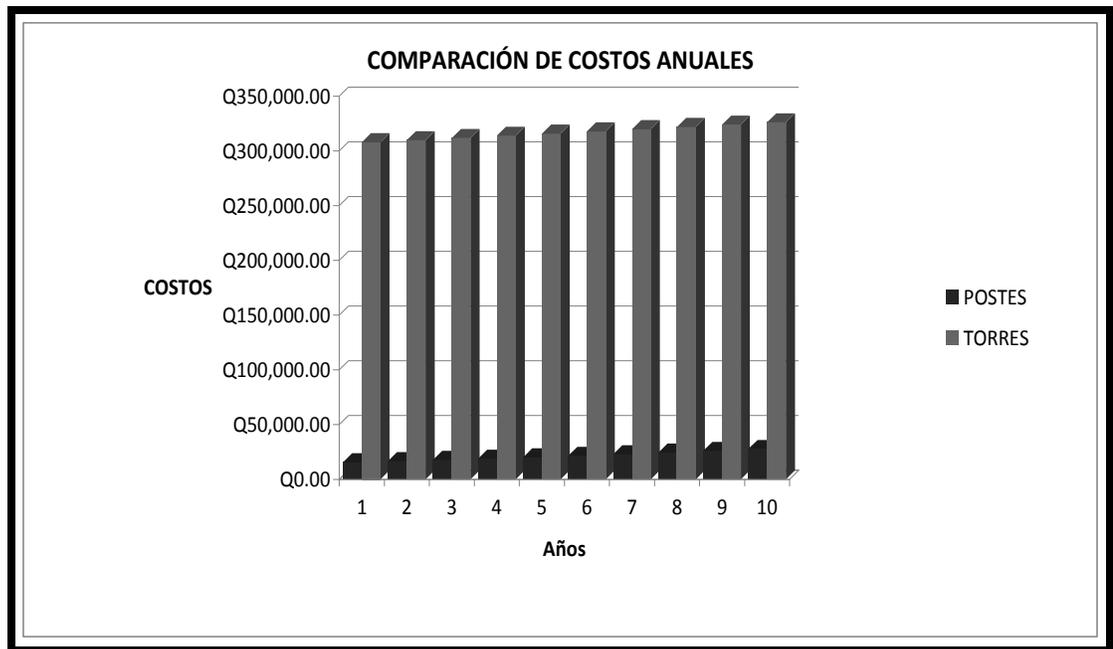
Tomando en cuenta la inversión se ve que existe una relación de 6/1 aproximadamente lo que quiere decir que con la inversión de una torre convencional (solución macro), podrían instalarse 6 postes (solución micro) por lo que la inversión para los postes es mucho menor.

Tabla IX. **Análisis de costos anuales**

COSTOS ANUALES										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
POSTES	Q15,600.00	Q16,635.84	Q17,740.46	Q18,918.43	Q20,174.61	Q21,514.20	Q22,942.75	Q24,466.15	Q26,090.70	Q27,823.12
TORRES	Q307,800.00	Q309,769.92	Q311,752.45	Q313,747.66	Q315,755.65	Q317,776.48	Q319,810.25	Q321,857.04	Q323,916.92	Q325,989.99

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Análisis de costos anuales por solución**



Fuente: elaboración propia.

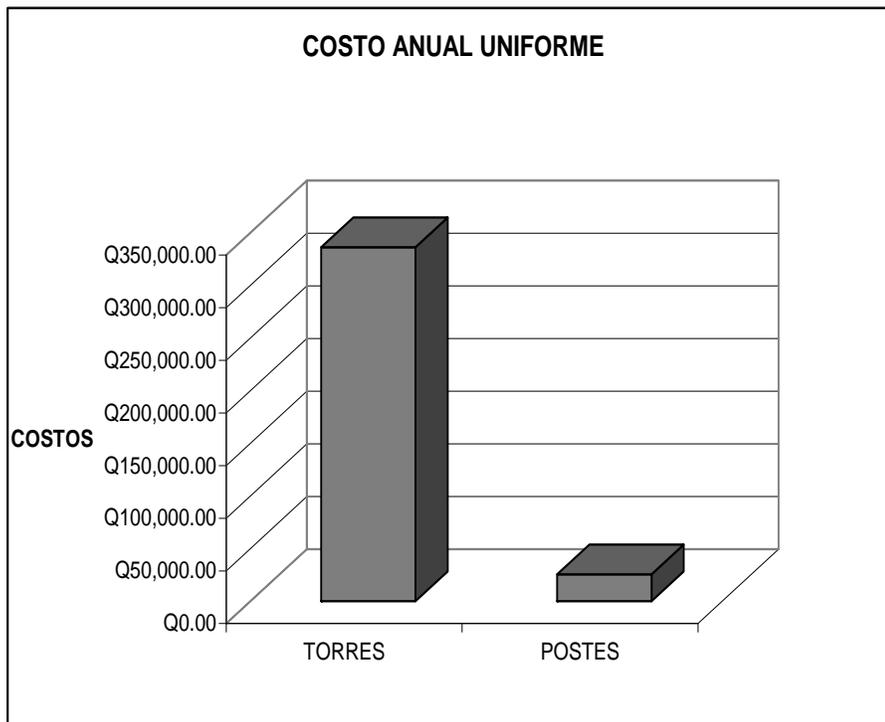
La diferencia de los costos anuales entre soluciones es significativa lo que indica un ahorro para la empresa de telefonía y mayor oportunidad de inversión.

Tabla X. **Costo anual uniforme equivalente**

CAUE	
TORRES	Q336,074.14
POSTES	Q25,564.45

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Análisis de costo anual uniforme equivalente**



Fuente: elaboración propia.

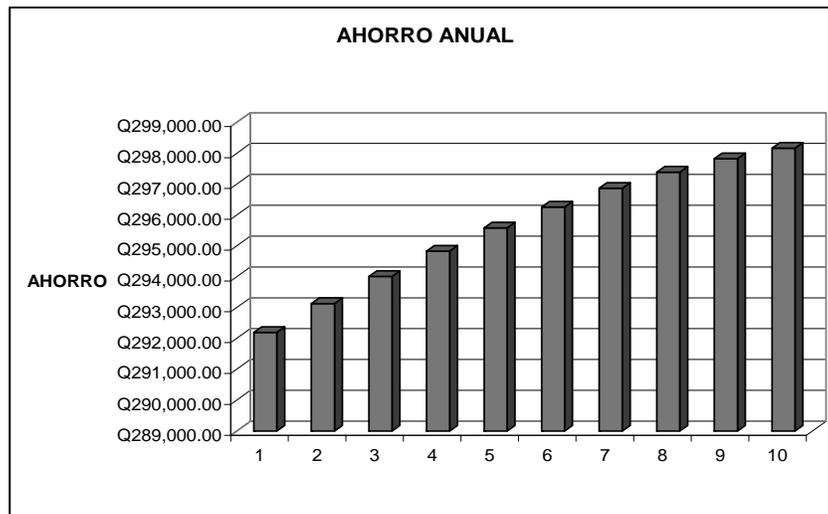
El costo anual aplicando la tasa de inflación sigue mostrando el beneficio de invertir en la solución micro en lugar de la solución macro; esto financieramente hablando.

Tabla XI. Ahorros anuales

COSTOS ANUALES										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>POSTES</b>	Q15,600.00	Q16,635.84	Q17,740.46	Q18,918.43	Q20,174.61	Q21,514.20	Q22,942.75	Q24,466.15	Q26,090.70	Q27,823.12
<b>TORRES</b>	Q307,800.00	Q309,769.92	Q311,752.45	Q313,747.66	Q315,755.65	Q317,776.48	Q319,810.25	Q321,857.04	Q323,916.92	Q325,989.99
<b>AHORRO</b>	Q292,200.00	Q293,134.08	Q294,011.99	Q294,829.24	Q295,581.04	Q296,262.28	Q296,867.51	Q297,390.89	Q297,826.23	Q298,166.87

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Análisis de ahorros anuales



Fuente: elaboración propia.

El ahorro anual va en aumento al aplicar la solución micro.



## CONCLUSIONES

1. Guatemala es un país con una morfología bastante compleja ya que cuenta con muchos accidentes geográficos que pueden servir de impedimento para que se tengan una buena cobertura de telefonía celular, por lo que no se puede utilizar únicamente soluciones macro de cobertura celular, para poder llegar a puntos específicos donde se requiera señal por lo que es necesario usar soluciones más prácticas y efectivas.
2. Una solución micro de cobertura celular, cuya estructura física este constituida básicamente por un poste de nueve metros; resulta eficiente porque logra cubrir las deficiencias donde con una solución macro de cobertura celular no se podría llegar ya que es práctico de instalar y no necesita demasiada obra gris.
3. En el proceso de búsqueda del punto para ubicar una solución micro es muy importante aprovechar la forma del terreno para poder llegar a cubrir los objetivos requeridos y de esta manera eliminar las deficiencias de cobertura celular.
4. El desarrollo de un diseño de radio frecuencia teórico es muy importante, para poder tener un punto de comparación con lo obtenido al terminar de implementar una solución de cobertura celular, ya que con esto se puede verificar que se hayan logrado cubrir las deficiencias de cobertura celular.

5. La asignación de frecuencias de control y tráfico de una red GSM es más laborioso que la de una red UMTS ya que este último cuenta con suficientes códigos para poder disminuir el rehusó de frecuencias en los sectores de una red móvil celular.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a la constante necesidad de los operadores de telefonía móvil de querer satisfacer las necesidades de servicios que prestan a los usuarios es necesario buscar constantemente alternativas que logren cubrir esto de forma rápida y eficiente.
2. Antes de implementar una solución micro de cobertura celular, es importante realizar un diseño previo con un simulador de cobertura móvil celular, para verificar que esta pueda cubrir la deficiencia de señal móvil celular; y de esta manera evitar gastos innecesarios.
3. Es de suma importancia instalar equipo que permita cambiar de tecnología fácilmente sin tener que renovarlo completamente y así asegurarse de estar a la vanguardia en las nuevas tecnologías; para que de esta manera se pueda competir con los diferentes proveedores de servicio móvil celular.
4. Es necesario contar con fuentes de energía y transmisión de respaldo para tratar de evitar que por alguno de estos elementos se interrumpa el servicio de cobertura móvil.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CORONEN, Juha. *Introduction to 3G mobile communications*. 2a ed. Estados Unidos: Artech House, 2003. 71 p.
2. CRESPO, Carlos. *El Sistema GSM*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2006. 2 p.
3. DE LA FUENTE, Luis A. *Banda ancha en el móvil*. Punta de Cana, República Dominicana: UNIVE, 2003. 2 p.
4. HEIKKI, Kaaren; AHTIAINEN Ari, *Redes UMTS*. Madrid: Alfa y Omega, 2006. 40 p.
5. MACANUELA, J. *Planificación de una red GSM / GPRS / UMTS en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008. 1 p.
6. NAWROCKI J. Maciej; DOHLER, Mischa; AGHVAMII, A. Hamid. *Understanding UMTS radio network modelling, panning and automated optimization*. Inglaterra: John Wiley, 2006. 39 p.
7. *Nortel Networks. GSM System overview (for Training)*. Francia: Lever Thecnology Group PLC, 2001. p. 2-7.

8. TOLEDO PEREZ, Victor. *Análisis y diseño de mecanismos de Handoff en redes inalámbricas de banda ancha IEEE 802.16e*, México: Universidad Autónoma de México, 2009. 20 p.
9. Umtsforum. Espectro para UMTS, [en línea] 2001. Disponible en Web: [http://www.umtsforum.net/mostrar\\_tecnologia.asp?u\\_action=display&u\\_log=9](http://www.umtsforum.net/mostrar_tecnologia.asp?u_action=display&u_log=9).
10. WILLIASEN SVEIN, Yngvar. *The GSM system*. Oslo, Noruega: Norwegian University of Science and Thechnology, 2008. 2 p.