



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

**DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR  
EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL**

**Marvin Adolfo Gutierrez Menéndez**

Asesorado por la Inga. Ingrid Rodríguez García de Loukota

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR  
EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MARVIN ADOLFO GUTIERREZ MENÉNDEZ**

ASESORADO POR LA INGA. INGRID RODRÍGUEZ GARCÍA DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

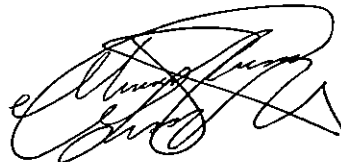
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## 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:

### DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 23 de febrero de 2012.



**Marvin Adolfo Gutierrez Menéndez**

Guatemala 23 de mayo del 2013

Ingeniero  
Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.


Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL”**, del señor **Marvin Adolfo Gutiérrez Menéndez**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,

  
Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota  
Colegiada 5,356  
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota  
Ingeniera en Electrónica  
colegiada 5356



Ref. EIME 52.2013

Guatemala, 30 de MAYO 2013.

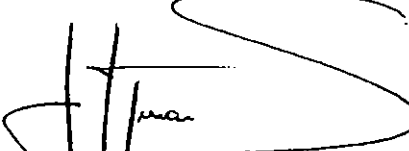
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE  
TELEFONÍA CELULAR EN LA ANTIGUA GUATEMALA  
UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL", del estudiante  
Marvin Adolfo Gutiérrez Menéndez que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑADA TODOS



Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica



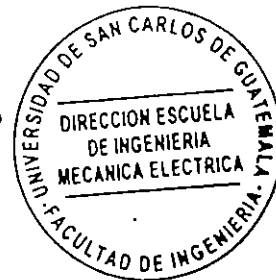
S/O



REF. EIME 66. 2013.

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 de la estudiante; Marvin Adolfo Gutiérrez Menéndez titulado: DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 01 DE AGOSTO 2013.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

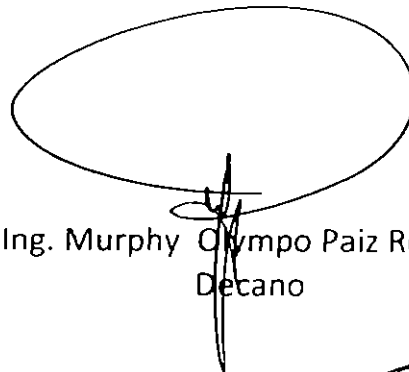


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 647.2013

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: **DISEÑO DE SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL**, presentado por el estudiante universitario **Marvin Adolfo Gutierrez Menéndez**, autoriza la impresión del mismo.

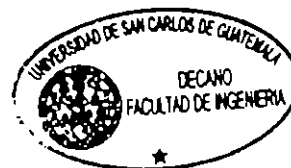
IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 23 de septiembre de 2013

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida, la salud y la oportunidad de poder culminar mis estudios universitarios, a él sea la honra y la gloria.
- Mis padres** Marvin Gutierrez y Judith Menéndez. Gracias por todo su apoyo y enseñanzas; su ejemplo ha sido mi motivación, nada compensará todo lo que ustedes han hecho por mí.
- Mis hermanas** Leticia e Isabel Gutierrez. Por ser ejemplo de perseverancia y por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Dios las bendiga mis lindas princesas.
- Mi complemento** Diana Orellana. Por tu cariño y apoyo, gracias a ti la vida ha tenido un sabor más dulce. Gracias por cuidar de mí y de nuestro angelito.
- Mi hijo** Santiago Gutierrez, el pequeño angelito que ha llenado mi vida de felicidad, eres el motorcito que me impulsa a seguir hacia adelante.
- Mis abuelos** Berta Luz Pérez, Adolfo Menéndez, Saturnina Velásquez y Luis Gutierrez; los últimos dos nos ven desde el cielo. Gracias por su apoyo.

**Mis tíos**

Luis, Gustavo, Blanca y Maida Gutierrez; Leticia, Mauricio y Edelma Menéndez. Gracias por sus palabras de aliento, cada uno de ustedes ha dejado una enseñanza en mí.

**Mis primos**

Mauricio, Josué, Esther, Leonel, Isabel, Moisés, Gerson y Patricia Menéndez; Eduardo, Sergio, Luis, Juan Carlos, Daniel, Gustavo, David, Kevin, Andy, Susan, Rudy, Jorge y Massiel Gutierrez. Por sus logros alcanzados y por poner a la familia en alto.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ofrecer educación superior totalmente gratuita y de gran calidad. Gracias alma mater, prometo poner en alto tu nombre.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Gloriosa Facultad, gracias al personal docente y administrativo.
<b>Mi asesora</b>	Ingrid Rodríguez García de Loukota. Por compartir sus conocimientos y su apoyo a lo largo de mis estudios y elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Mario Mérida</b>	Por su apoyo a lo largo de la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Amigos de la infancia</b>	Nelson Enríquez, Edy Ruiz, David Bonilla, Lester Bonilla, Pablo Cesar Vásquez, William Morales, Julio Guillen, José Luis Zea, Javier Gómez, Víctor Oliva y Jusvin Marín. Dios los bendiga y sigan adelante con sus metas.
<b>Amigos de la Facultad</b>	Carlos Pérez, Javier Melgar, Julio Cesar Cifuentes, Kristofer Silva, Edy Aguilar, Josué Palacios, Eduardo Miralles, Juan Luis Pineda, Álvaro Godoy, Saúl Vicente, Rodrigo Trinidad.

**Claro, Guatemala**

Por la oportunidad de poder elaborar mis prácticas finales y ampliar mis conocimientos en el área de las telecomunicaciones. Asimismo por la ayuda en la elaboración de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. PROBLEMAS DE SEÑAL EN ANTIGUA GUATEMALA.....	1
1.1. Entes protectores de la ciudad de Antigua Guatemala.....	3
1.1.1. Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala.....	5
1.1.2. Ayuntamiento de la Antigua Guatemala.....	7
1.1.3. Sociedad civil de la Antigua Guatemala.....	9
1.2. Prohibición de torre radio base en la ciudad de Antigua Guatemala.....	10
1.2.1. Principal problema.....	11
1.2.2. Historial de soluciones.....	12
2. SITIO CELDA.....	15
2.1. Torre.....	16
2.1.1. Estructura de la torre.....	16
2.1.1.1. Diseño básico de la torre.....	16
2.1.1.2. Dispositivos montados en la torre.....	19
2.1.1.3. Alimentación eléctrica.....	22
2.1.1.4. Seguridad en la torre.....	23

	2.1.1.4.1.	Seguridad fisica .....	24
	2.1.1.4.2.	Seguridad eléctrica .....	24
2.1.2.	Antena.....		27
	2.1.2.1.	Parámetros de antena .....	27
	2.1.2.1.1	Estructura básica .....	28
	2.1.2.1.2.	Patrón de radiación.....	29
	2.1.2.1.3.	Ganancia .....	31
	2.1.2.1.4.	Ancho de banda.....	32
2.2.	Gabinete .....		32
	2.2.1.	Tecnología GSM.....	33
	2.2.1.1.	Arquitectura de red .....	33
	2.2.1.2.	División en celdas.....	35
	2.2.1.2.1.	<i>Handover</i> .....	37
	2.2.2.	Tecnología UMTS.....	41
	2.2.2.1.	Arquitectura de red .....	42
3.	SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL.....		45
3.1.	Diseño de faroles .....		45
	3.1.1.	Estructura .....	45
	3.1.1.1.	Diseño básico del farol.....	46
	3.1.1.2.	Dispositivos colocados en el farol .....	48
	3.1.1.2.1	Cables .....	49
	3.1.1.2.2.	Dispositivos de iluminacion.....	50
	3.1.2.	Antena.....	51
	3.1.2.1.	Antena monopolo y dipolo .....	52
	3.1.2.2.	Antena dipolar a utilizar .....	55

3.1.3.	Unidad de procesamiento de señal .....	57
3.1.4.	Protección eléctrica.....	59
3.1.4.1.	Sistema de alimentación ininterrumpida .....	60
3.1.4.2	Electrodo químico .....	61
3.2.	Diseño de red .....	64
3.2.1.	Ubicación de sitios .....	65
3.2.1.1.	Longitud y latitud .....	66
3.2.2.	Simulaciones en software .....	67
3.2.2.1.	Localización de sitios en Google Earth .....	67
3.2.2.2.	Niveles de señal en <i>Radio Mobile</i> .....	69
4.	IMPACTO ECONÓMICO.....	77
4.1.	Tráfico telefónico .....	77
4.1.1.	Unidad de medida.....	78
4.1.2.	Tipos de tráfico .....	79
4.1.3.	Duración de llamadas .....	81
4.1.3.1	Grado de servicio .....	81
4.1.4.	Teoría de colas .....	84
4.1.4.1.	Modelos de teoría de colas .....	85
4.1.5.	Modelo de tráfico .....	86
4.1.5.1.	Modelo Erlang B.....	86
4.1.6.	Datos Antigua Guatemala .....	88
4.2.	Planta externa .....	91
4.2.1.	Planeación de ruta .....	92
4.2.1.1.	Topologías básicas de red .....	93
4.2.2.	Ruta subterránea y cable protegido con ducto .....	102

4.2.3. Precios y presupuestos .....	106
CONCLUSIONES .....	109
RECOMENDACIONES .....	111
BIBLIOGRAFÍA .....	113
APÉNDICES .....	117
ANEXOS .....	121



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Contraste torre y ciudad .....	12
2.	Sitio celda .....	15
3.	Torre auto soportada.....	18
4.	Dispositivos montados en torre .....	20
5.	Tanque de diesel y generador eléctrico.....	23
6.	Red de varillas en puesta a tierra .....	25
7.	Campos concéntricos de un electrodo .....	27
8.	Antenas de sector .....	29
9.	Patrón de radiación de antena sectorial .....	30
10.	Arquitectura GSM.....	35
11.	División de celdas .....	36
12.	Proceso de <i>handover</i> .....	38
13.	<i>Handover</i> suave y duro .....	40
14.	Arquitectura UMTS.....	43
15.	Farol de iluminación en Antigua Guatemala .....	46
16.	Basurero sellado con ranuras.....	48
17.	Patrón de radiación de un dipolo en 3 dimensiones .....	53
18.	Patrón de radiación de una antena monopolo .....	54
19.	Antena dipolar omnidireccional propuesta.....	56
20.	Patrón de radiación de antena propuesta.....	57
21.	Dispositivos de procesamiento de señal .....	59
22.	Electrodo electrolítico .....	62
23.	Esquema del diseño del farol .....	63

24.	Ubicación con Google Earth .....	68
25.	Parámetros de red I .....	71
26.	Parámetros de red II .....	71
27.	Parámetros de red III .....	73
28.	Nivel de señal farol 1 .....	74
29.	Nivel de señal completo.....	75
30.	Distribución exponencial negativa.....	82
31.	Tráfico de voz 3G en Antigua Guatemala .....	89
32.	Cálculo de líneas modelo Erlang B .....	91
33.	Topologías de red básicas.....	95
34.	Prototipo anillo con derivaciones .....	96
35.	Esquema caja de empalmes.....	98
36.	Caja de empalmes.....	99
37.	Prototipo nodo central.....	101
38.	Sistema subterráneo con ducto metálico .....	106

## TABLAS

I.	Tabla de frecuencias GSM .....	33
II.	Parámetros de antena monopolo y dipolo.....	55
III.	Medidas y peso de componentes. ....	64
IV.	Longitud y latitud de sitios.....	67
V.	Colores y niveles de señal .....	73
VI.	Datos de tráfico 3G en Antigua Guatemala.....	90
VII.	Datos de tráfico 3G en Antigua Guatemala (continuación) .....	90
VIII.	Parámetros prototipo anillo con derivaciones.....	97
IX.	Ubicación de cajas prototipo anillo con derivaciones .....	100
X.	Parámetros prototipo nodo central.....	102
XI.	Ubicación de cajas prototipo nodo central .....	102

XII.	Precio de dispositivos.....	107
XIII.	Presupuesto anillo con derivaciones .....	108
XIV.	Presupuesto nodo central .....	108



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
A	Corriente
dB	Decibeles
\$	Dólar estadounidense
°	Grados
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetros
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahertz
m	metros
µm	Micrómetros
mm	Milímetros
Ω	Ohm
ft	Pies
%	Porcentaje
Q	Quetzales
V	Voltios



## GLOSARIO

<b>Algoritmo</b>	Serie de pasos que se deben de seguir para llevar a cabo determinado proceso.
<b>Antena</b>	Dispositivo capaz de radiar ondas electromagnéticas en un rango de frecuencia.
<b>Celda</b>	Tipo de antena sectorial en forma de panel capaz de radiar en una amplitud de 120°.
<b>Conductividad</b>	Medida de la facilidad que posee un circuito eléctrico de conducir el flujo de corriente eléctrica.
<b>Enrutamiento</b>	Operación que dirige el flujo de datos por determinados enlaces para que pueda llegar a su destino.
<b>Erlang</b>	Medida de la disponibilidad de un circuito de comunicación dentro de un determinado lapso de tiempo.
<b>Fidelidad</b>	Cualidad de un sistema electrónico o dispositivo la cual le permite tener cierta inmunidad al ruido.

<b>Frecuencia</b>	Cantidad que representa el número de oscilaciones de una corriente eléctrica alterna. Útil en las comunicaciones por la cualidad de separar los canales en bandas de frecuencia, se mide en Hertz en el sistema internacional de medición.
<b>Ganancia</b>	Capacidad de un sistema o dispositivo de aumentar la señal eléctrica original sin introducir interferencia.
<b>Haz de radiación</b>	Medida que permite clasificar a las antenas por medio de su capacidad de enfocar o expandir la radiación de ondas electromagnéticas.
<b>Histéresis magnética</b>	Fenómeno que ocurre al exponer un material ferro magnético a un campo magnético el cual afecta la estructura magnética del material, reteniendo la señal magnética aún después de retirar el campo.
<b>Impedancia eléctrica</b>	Cantidad de la oposición que presenta un material ante el flujo de corriente eléctrica.
<b>Interferencia</b>	Señal eléctrica que se genera en un sistema interfiriendo con la señal original.
<b>Internet</b>	Red de datos de interconexión mundial basada en los protocolos TCP/IP.
<b>Modem</b>	Modulador y demodulador de señales eléctricas para la transmisión en determinado medio.



<b>Permitividad</b>	Constante física que describe como un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio, determinada por la tendencia de un material a polarizarse ante la aplicación de un campo eléctrico.
<b>Radiación</b>	Propagación de energía por medio de ondas electromagnéticas o partículas sub-atómicas.
<b>Radio enlace</b>	Conexión inalámbrica de dos estaciones de trabajo utilizando antenas de microondas.
<b>Resonancia eléctrica</b>	Fenómeno que se produce en un circuito en el que existen elementos reactivos, cuando es recorrido por una corriente alterna con una frecuencia determinada que hace que la reactancia se anule.
<b><i>Roaming</i></b>	Servicio proporcionado por empresas de telefonía para lograr la conexión de llamadas a nivel internacional.
<b>Sobretensión</b>	Aumento repentino de corriente eléctrica, ocasionado por factores externos al sistema por ejemplo una descarga eléctrica atmosférica.
<b>Tensión eléctrica</b>	Diferencia de potencial eléctrico que se encuentra en determinado punto de un sistema.
<b><i>Tilt</i></b>	Cantidad que representa el grado de inclinación de una celda, puede ser mecánico o eléctrico.



## RESUMEN

Con el constante crecimiento de la población en la ciudad de Antigua Guatemala y el aumento de los turistas que año con año la visitan, la demanda de servicios de llamadas telefónicas y transferencia de datos de internet han aumentado desproporcionadamente dejando limitado el servicio que las compañías telefónicas proporcionan; el principal problema de las compañías es que en esta ciudad está prohibida la instalación de torres de telefonía, que comúnmente son utilizadas para proporcionar señal a poblaciones enteras.

La solución propuesta en este trabajo de graduación, consiste en crear un modelo de farol que este equipado con los dispositivos necesarios para poder proporcionar los niveles de señal requeridos. El objetivo de crear estos modelos de farol, es que puedan ser instalados dentro de la ciudad y no afectar el entorno colonial de la misma.

En el capítulo 1, la investigación inicia con el estudio de las instituciones encargadas de proteger a la ciudad, así como sus fundamentos de ley, concluyendo esta sección con la definición del principal problema. En el capítulo 2, se documenta todo lo relacionado al funcionamiento, requerimientos e interconexión de las torres convencionales o conocidas también como sitios celda.

Los capítulos 3 y 4, abarcan todo lo relacionado a la solución en sí. Se inicia por el diseño del farol, que cumplirá con las exigencias de las instituciones.

Luego se enlistan los dispositivos necesarios para el funcionamiento ininterrumpido del farol. Se simulan los niveles de señal, que la red de faroles será capaz de radiar.

Posteriormente, se calcula la cantidad de enlaces troncales necesarios, en base a los datos del flujo de tráfico de la ciudad. Se lleva a cabo la planeación de ruta de la planta externa, la cual interconectará de manera subterránea la red de faroles, utilizando para ello dos modelos propuestos de planta externa.

Finalmente, se lleva a cabo una evaluación de costos, para los dos modelos propuestos, tomando en cuenta únicamente los dispositivos y el material necesario.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar una red de telefonía celular para que la ciudad de Antigua Guatemala tenga una cobertura de señal que esté acorde al tráfico generado por los usuarios, utilizando para ello antenas instaladas en una estructura de farol que satisfaga los requerimientos de los entes protectores de la ciudad.

### **Específicos**

1. Diseñar un modelo de celda tipo farol que se adapte a las exigencias de la ciudad.
2. Definir el equipamiento necesario en cada farol para brindar cobertura de señales GSM y UMTS, de forma omnidireccional e ininterrumpida.
3. Determinar la ubicación de las celdas tipo farol por medio de los criterios especificados.
4. Simular los niveles de señal.
5. Calcular la cantidad de enlaces troncales necesarios.
6. Proponer dos modelos de planeación de ruta para la instalación de fibra óptica.

7. Calcular los costos del equipo necesario para proporcionar el servicio.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Antigua Guatemala, cuenta con un sistema de cobertura de señal de telefonía celular limitado, el cual no se da abasto para satisfacer la demanda del servicio que año con año aumenta.

La solución en este trabajo de graduación, propone el uso de una estructura en forma de farol, con la cual no se pierde el ambiente colonial de la ciudad. La estructura está equipada con dispositivos y cables instalados internamente para que no queden a la vista, los cuales son capaces de brindar señal de cobertura para las tecnologías GSM y UMTS. La señal es radiada por una antena ubicada en la parte superior del farol.

Con una red de 10 faroles ubicados estratégicamente e interconectados con fibra óptica subterránea, se logra proporcionar cobertura a toda la ciudad, para comprobar la calidad de la señal se realizan simulaciones de la red completa en software utilizando para ellos los niveles de señal simulados.

Luego de simular la red, se procede a realizar el cálculo de los enlaces necesarios para obtener el ancho de banda requerido, los datos utilizados para realizar estos cálculos se obtienen del comportamiento del tráfico de llamadas. Se lleva a cabo la planeación de dos posibles rutas para la instalación subterránea del cable de fibra óptica que conectará a los faroles entre sí.

Finalmente, se hace una evaluación de costos de los dispositivos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

En la cotización no se toman en cuenta costos de instalación e implementación.



## **1. PROBLEMAS DE SEÑAL EN ANTIGUA GUATEMALA**

En la historia de Guatemala, la ciudad de Antigua Guatemala ha jugado un papel muy importante, esta fue la capital de Guatemala del año 1543 al 1774 y debido a acontecimientos trágicos (terremoto de Santa Marta en el año 1773), tuvo que trasladarse a otro lugar conocido como el Valle de la Ermita. Con el paso del tiempo se convirtió en una ciudad que conserva su arquitectura antigua con edificios coloniales. Tan grande ha sido el impacto que ha causado la conservación de esta ciudad, que se ha considerado como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año de 1979.

Es importante mencionar que la ciudad no se ha conservado por sí sola, existen grupos que han hecho un gran esfuerzo por conservarla en buenas condiciones y que mantenga ese estilo colonial que tanto la caracteriza. Estos grupos juegan un papel muy importante en la propuesta por el motivo de que cuentan con el poder de autorizar o rechazar cualquier proyecto que quiera ser implementado.

En la ciudad de Antigua Guatemala han surgido muchas veces problemas en la cobertura de señal de telefonía, dicho problema ha limitado las operaciones de las empresas del campo de las telecomunicaciones, dado este problema han dejado de percibir muchos ingresos por la alta cantidad de demanda de este servicio, tanto por el cliente nacional como el turista que necesita un servicio mayor y por ende más costoso.

En la actualidad existe una creciente demanda de servicios de telefonía como transferencia de datos, las empresas se han ocupado mucho por gestionar la instalación de la infraestructura necesaria para poder llevar a cabo sus actividades comerciales, en esta carrera por lograr una amplia cobertura en todo el país dichas organizaciones se han encontrado con el problema de que existen entidades y organizaciones que rigen Antigua Guatemala, que ha sido como el talón de Aquiles por no poder encontrar un proyecto que solucione los problemas de cobertura de señal dentro del casco urbano.

Desde el punto de vista de telefonía móvil (enlace de llamadas) puede que las empresas estén perdiendo mucho, bajo el esquema de la transmisión de datos puede que estén perdiendo mucho más, ya que no están brindando dicho servicio, esto impedirá que los clientes puedan tener acceso a internet por medio de su celular o por medio de un modem usando su computadora, que sumado a la constante necesidad de comunicación a nivel mundial tanto de los habitantes de la ciudad como de los turistas, proporciona un amplio mercado que posiblemente no se esté cubriendo.

En el transcurso del tiempo muchas empresas han tratado la forma de encontrar una solución a este problema utilizando para ello muchos proyectos que algunos han resultado muy poco efectivos y otros simplemente nunca se pudieron llevar a cabo; esta es una propuesta con la que se trata de buscar una solución al problema de una forma sencilla y que pueda ser aplicada sin ningún inconveniente en la ciudad, cabe mencionar que pueden surgir problemas de cualquier índole en la ejecución del proyecto por lo cual en la investigación, se tomarán todas las posibles atenuantes que puedan afectar al proyecto.

## **1.1. Entes protectores de la ciudad de Antigua Guatemala**

Es importante resaltar lo difícil que ha sido conservar la ciudad después de haber sufrido los embates de la naturaleza, este es un mérito de los vecinos y las autoridades de la ciudad, debido al meritorio esfuerzo que han realizado por conservarla, no permiten que cualquier proyecto pueda ser llevado a cabo ya que puede alterar la arquitectura colonial que esta posee y así podría perder su esencia.

Conforme el crecimiento urbano se ha dado, poco a poco muchas empresas fuertes han decidido iniciar o ampliar sus servicios tomando en cuenta la alta actividad turística que existe en el lugar, y por ende, una alta actividad económica. Empresas de comida rápida, bancos, empresas turísticas entre otras se han visto en la necesidad de adaptar su infraestructura a las exigencias de la ciudad para no alterar el estilo de la misma, en el caso de esta aplicación las empresas de telefonía tendrán que adaptar su infraestructura para poder ampliar sus servicios.

Las autoridades antigüeñas, han tomado un papel muy importante para no permitir el deterioro de la ciudad ni la alteración a su arquitectura, tan grande ha sido el nivel de compromiso de estas que incluso han desarrollado leyes y estándares tomando en cuenta la mayoría de aspectos que pueden afectar a la ciudad.

Por ejemplo, parámetros de construcción, de comportamiento entre otros, todo proyecto que quiera realizar una empresa tiene que tener el aval y el visto bueno de ellas.

Otras actividades que le competen a estas instituciones y que muy posiblemente no sean de mayor interés para la propuesta, aunque es importante hacer mención, es el control del tráfico vehicular y control de áreas verdes, en el campo de investigación estos puntos no son de mucha importancia pero es claro el poder que tienen estas entidades en la mayoría de aspectos que le competen a la ciudad incluso hasta llegar al extremo de establecer horarios para los establecimientos nocturnos.

El Congreso de la República de Guatemala tomando en cuenta la importancia de la ciudad ha declarado de interés nacional la protección, conservación y restauración de Antigua Guatemala.

Las entidades que están involucradas en ello son el Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala, Municipalidad de Antigua Guatemala y sociedad civil de Antigua Guatemala.

Para poder llevar a cabo la solución, se deberá de llegar a un convenio con las tres entidades, el principal problema que se debe de resolver es la prohibición de torres dentro de la ciudad, por ende la propuesta pretende solucionar este problema de manera que todos los entes protectores de la ciudad estén de acuerdo y así poder llegar a un beneficio común de ambas partes.

En el diseño del sistema, se debe de tomar en cuenta de que el objetivo principal de los entes protectores de la ciudad es conservar el aspecto colonial de la ciudad, el diseño deberá de estar en armonía con el entorno de la ciudad. Los dispositivos modernos tienen que pasar desapercibidos para los visitantes de la ciudad.

### **1.1.1. Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala**

Esta institución surgió de la necesidad de tener un control sobre las actividades que se llevan a cabo dentro de la ciudad, en un acuerdo promovido por el Congreso de la República de Guatemala, específicamente por el Decreto No. 60-69, se crea el Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala con las funciones de cuidado, protección, restauración y conservación de los bienes muebles e inmueble, nacionales, municipales o de particulares, situados en aquella ciudad de áreas circundantes.

En este Decreto también se define la infraestructura de esta institución, la cual está compuesta por cinco miembros: alcalde de la ciudad, directivo del Instituto de Antropología e Historia, un miembro de la Sociedad de Geografía e Historia, un miembro de la Facultad de Arquitectura, un miembro capacitado en historia del arte, todos y cada uno de estos pertenecientes a la Universidad de San Carlos de Guatemala. Cada miembro tendrá una duración en funciones de 4 años.

Este Consejo podrá tomar decisiones únicamente por mayoría de votos, el mismo tiene una amplia variedad de funciones pero una de las más importantes y que para el caso del proyecto le compete, es que tiene la obligación de elegir al conservador de la ciudad, que el requerimiento principal de este puesto es que deberá ser arquitecto, de preferencia restaurador, o bien universitario graduado y especializado en arte colonial. Tendrá como función principal: velar porque se mantenga la integridad histórica de la arquitectura de la región, será el encargado de dar el primer visto bueno como representante del Consejo.

El Consejo también tiene a su cargo la administración de los museos así como su protección y el recibimiento de las denuncias sobre construcciones anómalas, a su vez cuentan con divisiones como: administración, arqueología, biblioteca, planificación, registro, restauración de bienes muebles, asesoría jurídica, restauración entre otros.

La misión del Consejo es: Cuidado, protección, restauración y conservación de los bienes muebles e inmuebles, nacionales, municipales o de particulares situados en Antigua Guatemala y sus áreas circundantes.

La visión del Consejo es: Propiciar acciones encaminadas a fomentar la educación y valorización del patrimonio cultural y natural de Antigua Guatemala y áreas circundantes. Consolidar a la institución al servicio de la conservación y gestión del patrimonio cultural de la ciudad de Antigua Guatemala, involucrando en este proceso a la población para lograr así la valorización del patrimonio.

Su fundamento de ley es: Ley protectora de la Antigua Guatemala, dicha ley está escrita en el Decreto 60-69 del Congreso de la República de Guatemala.

El consejo también posee un departamento de restauración, el cual se ha dado a la tarea de restaurar a nivel arquitectónico muchas de las antiguas construcciones como por ejemplo las iglesias, este tipo de restauraciones no son precisamente modernizaciones, este tipo de actividades al igual que el proyecto que se desea implementar no deben de modificar de ninguna forma la estructura colonial de la ciudad.

### **1.1.2. Ayuntamiento de la Antigua Guatemala**

Otro de los entes protectores de la ciudad de Antigua Guatemala es el Ayuntamiento o también conocido como Municipalidad, tiene funciones muy importantes dentro de la ciudad y para este proyecto, sin duda alguna será una de las organizaciones con las cuales hay que cumplir ciertos requisitos o requerimientos para poder llevar a cabo la construcción e instalación de la infraestructura así como con el funcionamiento del proyecto.

Los entes protectores de Antigua Guatemala, trabajan en conjunto para lograr proteger a la ciudad, aunque su funcionamiento es totalmente independiente, tienen comunicación para ciertos casos especiales en los que deben trabajar en conjunto, por ejemplo: cuando se presenta un proyecto de construcción en la ciudad, el Ayuntamiento notifica al Consejo si la planeación de la construcción será llevada en determinadas áreas.

El Ayuntamiento tiene como principal función velar por el estricto cumplimiento de sus leyes, reglamentos y normas, los cuales son propuestos, aprobados y redactados por el Consejo de la Municipalidad de la Antigua Guatemala. En estos documentos se tratan aspectos de la ciudad como la construcción, desarrollo urbano, ordenamiento territorial, control de tránsito entre otros.

La principal intervención del Ayuntamiento en el proyecto es que básicamente para poder llevar a cabo la instalación de los faroles se necesita una licencia de construcción, la que se puede obtener, si se cumplen con todos los requerimientos.

Para evitar tener problemas en la obtención de la licencia de construcción se deben de tomar en cuenta ciertos factores de construcción los cuales se resumen en no alterar el estilo colonial de la ciudad.

Es importante mencionar que el Ayuntamiento posee un grupo destinado única y exclusivamente a la supervisión de obras, este grupo se conoce como Unidad de Control Urbano, si ellos llegan a considerar de que no se está cumpliendo con lo que se exige, pueden llegar a cancelar la obra.

Su fundamento de ley es: El Ayuntamiento de Antigua Guatemala, posee una cantidad considerable de reglamentos, normas, etc., en este caso se nombran las más importantes o las que más interesan para la investigación, es importante mencionar que estas normas son aprobadas por el Consejo de la Municipalidad de Antigua Guatemala.

Las normas son:

- Reglamento de construcción y urbanismo
- Tasas de construcción
- Formulario anteproyecto de construcción
- Requisitos de anteproyecto para licencia de construcción
- Formulario proyecto de construcción
- Requisitos de proyecto para licencia de construcción

El Ayuntamiento como tal se auxilia de las otras entidades para lograr mantener la conservación de la ciudad, la mayoría de proyectos que se llevan a cabo en la ciudad son supervisados por personal especializado del Ayuntamiento.



### **1.1.3. Sociedad civil de la Antigua Guatemala**

En lo que se refiere a la protección de la ciudad, se ha mencionado con anterioridad el CNPAG y el Ayuntamiento, que son básicamente los entes principales que intervienen en la mayoría de actividades que puedan afectar a la ciudad, sin embargo existe un grupo social el cual puede ser perjudicado y que está en todo el derecho de velar por sus intereses, dicho grupo son los vecinos que habitan en la ciudad.

Este grupo de vecinos con el conocimiento de que proteger a la ciudad es una prioridad para ellos, se han tomado a la tarea de crear organizaciones las cuales por medio de procedimientos democráticos eligen sus representantes, los cuales son los encargados de proteger los intereses de los habitantes. Esta participación de los vecinos ha surgido debido a que tanto el turismo nacional como internacional generan una gran actividad comercial. De aquí en adelante todos los grupos conformados por civiles que no tengan ninguna relación con el CNPAG y con el Ayuntamiento de la ciudad serán denominados como sociedad civil.

Básicamente las exigencias de este tipo de organizaciones son el conservar intacto el estilo colonial de la ciudad y su arquitectura barroca, debido a que el atractivo turístico de la ciudad es la forma en que se ha conservado con el transcurso de los años. Conforme a la variedad de organizaciones que pueden existir de este tipo, su descripción de misión y visión pueden variar una de otra, dado el hecho de que existen organizaciones dedicadas a diferentes aspectos de interés común como educación, cultura, etc.

Es importante mencionar que las organizaciones que interesan tendrán el denominador común de velar y proteger el estilo de la ciudad.

Estas organizaciones están totalmente avaladas por:

- Código Civil
- Código Municipal

## **1.2. Prohibición de torre radio base en la ciudad de Antigua Guatemala**

El servicio de telefonía móvil y actualmente el servicio de datos que están ofreciendo las compañías de telecomunicaciones, necesitan de señal de cobertura óptima, debido a que los dispositivos móviles (celulares) se comunican utilizando las redes de estas compañías. Para poder conectarse a estas redes necesitan tener un nivel de señal considerable, de no existir esta cobertura mínima el dispositivo móvil es prácticamente inservible ya que no se podrán realizar llamadas, ingresar a internet, enviar correos, acceder a redes sociales, ni poder enviar mensajes de texto móvil.

Los diseños de redes que utilizan tanto el Departamento de Ingenieros como los técnicos que laboran en la empresa, están integrados por dispositivos radiadores conocidos como antenas, estos aparatos son los encargados de radiar la señal correspondiente para poder brindar la señal de cobertura. Una antena es el dispositivo que brinda el acceso a la red de la compañía para poder hacer las conexiones correspondientes. El aspecto a tener en cuenta con las antenas, es que necesitan estar posicionadas a una altura considerable para poder radiar de una mejor manera y proporcionar un área de cobertura considerable con el fin de cubrir una gran parte de la población.

Para poder instalarlas a una buena altura se construyen torres, las cuales consisten en tubos metálicos conectados entre sí que van disminuyendo su grosor y dimensión conforme aumenta la altura de la torre, pudiendo llegar a ser desde 20 hasta 60 metros según sea la necesidad.

### **1.2.1. Principal problema**

Las leyes de construcción que se utilizan en la ciudad antigüeña son demasiado rigurosas y no toleran ninguna falta, estas leyes han sufrido modificaciones durante el transcurso de los años las cuales han sido diminutas, prácticamente se desea que la ciudad se congele y se conserve de la manera en la que se ha encontrado durante muchos años.

En el 2005 se presentó una propuesta de ley, la cual permitiría la construcción de casas de dos niveles y alturas de construcción de hasta 6,5 metros, esta propuesta parecía que no modificaría en mucho a la ley existente pero no tuvo nada de trascendencia ya que fue vetada por el presidente de Guatemala (Oscar Berger 2004-2008). La actitud de las instituciones encargadas de la protección de la ciudad es totalmente comprensible, ha sido un evento totalmente inesperado que la ciudad haya podido sobrevivir después del terremoto ocurrido en esta ciudad, lo cual ha sido mérito de los vecinos y los entes protectores.

Si se considera por un momento que fuese posible colocar una torre de telefonía dentro de la ciudad, prácticamente se perdería el ambiente colonial que la caracteriza, sería totalmente contradictorio colocar un dispositivo tan moderno en una ciudad que ha sido declarada como patrimonio cultural por la UNESCO. Para poder tener una proyección un poco más clara, ver la figura 1.

Figura 1. **Contraste torre y ciudad**



Fuente: montaje basado en una fotografía de la ciudad y una torre BTS.

### **1.2.2. Historial de soluciones**

Las empresas de telecomunicaciones que operan en Guatemala han intentado solucionar este problema de muchas maneras, sin embargo algunas han sido poco efectivas y otras poco aplicables por carecer de adaptabilidad al entorno de la ciudad de Antigua Guatemala.

En los alrededores de la ciudad se han instalado torres que han sido disfrazadas como un árbol, las cuales tienen todas las características de una torre pero no poseen demasiada altura y tienen que ser instaladas en pequeños bosques o cerros que por lo general están un poco retirados de la ciudad. Sin embargo han sido soluciones que han mejorado de cierta forma el nivel de señal, pero no logran manejar todo el tráfico deseado. Algunas propuestas pueden llegar a ser demasiado costosas que no tendrían ningún tipo de rentabilidad.

Se han llevado a cabo otras soluciones como el instalar una antena en el techo de una casa la cual pudiera estar en forma de una chimenea para no afectar al entorno colonial, solución que es un poco más práctica que la del árbol pero dependerá mucho de si los vecinos están de acuerdo en instalar este equipo en el techo de sus casas lo cual no siempre será una respuesta favorable.



## 2. SITIO CELDA

Un sitio celda, es el lugar en donde se instala una torre con dispositivos de radiación (antenas), dispositivos de procesamiento de señal, cables, etc.

Por lo general a un sitio celda se le conoce como BTS o nodo B pero eso dependerá de la tecnología que se utilice, para este caso se utilizará el nombre sitio celda cuando se refiere únicamente al lugar en donde se encuentra instalado el equipo de procesamiento de señal, antena y cableado de comunicación entre ellos. Para poder tener una idea más clara de lo que es un sitio celda ver figura 2.

Figura 2. **Sitio celda**



Fuente: RIVERA, Samuel. Especificaciones técnicas para la construcción de sitios de telefonía celular. p. 1.

## **2.1. Torre**

La torre es el elemento más vistoso y uno de los más importantes. En la actualidad existe una infinidad de diseños de torres, algunos son modelos estándar, por otro lado tenemos los modelos disfrazados (árboles, palmeras, etc.). Las torres tienen una gran cantidad de dispositivos que las hacen funcionar de una manera adecuada.

### **2.1.1. Estructura de la torre**

Las torres de telefonía son un elemento pasivo únicamente para soporte, en el diseño de las torres se debe contemplar la fuerza (peso) que ejercen los dispositivos montados en ella así como la resistencia del viento. Utilizando ductos instalados en el medio de la estructura se provee la alimentación eléctrica.

#### **2.1.1.1. Diseño básico de la torre**

Una torre de telefonía es una red de tubos o vigas de metal que van formando una especie de tela de araña que le da un soporte a la estructura, antenas, cables, etc. Existen dos tipos de torres muy utilizadas en la telefonía celular las cuales son la torre arriostrada y la torre auto soportada.

La torre arriostrada utiliza tensores para tener un soporte adecuado, la mayoría de estas torres son de peso liviano, reducido grosor y de gran altura; por lo tanto necesita de riostras que van enterradas en la superficie terrestre. La carga horizontal, debido a la presión provocada por la velocidad del viento y a movimientos telúricos se transmite a las riostras o tensores que se oponen a la dirección de estas, estos trabajan únicamente a tensión.



Para que este tipo de torre trabaje satisfactoriamente debe tener como mínimo tres tensores dirigidos en sentido de las directrices cuando es de sección triangular el cuerpo de la misma; cuando el cuerpo de la torre es de sección cuadrada, estará auxiliada por cuatro riostras, las cuales se ubicarán en sentido perpendicular a cada cara y en dirección al centro geométrico.

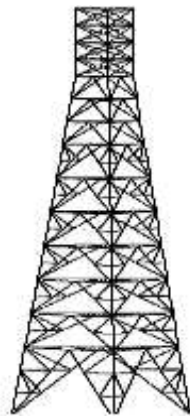
El momento de torsión actuante en este tipo de torres es mínimo, debido a la pequeña sección de la torre y a la ubicación del equipo, cuyo centro de gravedad queda alineado con el eje de la misma; el criterio utilizado para la distancia desde la torre hacia la riostra y el ángulo entre el suelo y la rienda dependerá de la tensión proporcionada a cada cable.

La Norma Americana establece que a los fines del diseño (American National Standard ANSI/TIA/EIA-222-F, 1996), la tensión inicial de las riendas normalmente es el 10 por ciento de la resistencia a la rotura publicada del cable con límites superior e inferior de 15 y 8 por ciento, respectivamente. Se pueden usar valores de tensión inicial no comprendidos dentro de estos límites, siempre que haya considerado adecuadamente la sensibilidad de la estructura a las variaciones de la tensión inicial y si fuera necesario, su comportamiento dinámico.

Por otro lado, las torres auto soportadas, ver figura 3, actúan como un voladizo, soportándose por sí mismas, es decir, no necesitan de elementos externos para alcanzar el equilibrio, son las más utilizadas en los radio enlaces y en las radio bases. Los esfuerzos de reacción se generan en forma de cargas axiales, a tensión y compresión, y son absorbidos por los elementos que la conforman. Las torres auto soportadas son las más rígidas, por esta razón se utilizan cuando se trata de soportar varias antenas de gran superficie y que funcionan a frecuencias elevadas.

Asimismo, tienen la ventaja de poder instalarse en áreas limitadas; por su uso en la telefonía celular las torres auto soportadas de sección triangular y de sección cuadrada son las más comunes, el ancho de la base es en función de la altura de la misma.

Figura 3. **Torre auto soportada**



Fuente: RIVERA, Samuel. Especificaciones técnicas para la construcción de sitios de telefonía celular. p. 25.

Este tipo de estructuras por lo general son diseñadas por un ingeniero civil o un arquitecto, los cuales dependiendo de muchos factores y criterios como lo son las cargas gravitacionales (peso propio de la estructura, peso del equipo, peso de cables y el peso de la instalación) y las cargas laterales (carga de viento) elaboran el diseño de la torre para que se pueda mantener en pie.

Se han desarrollado dos tipos de diseño debido a la carga lateral de viento, estos son el uniforme y el básico. El primero indica que se deberá aplicar la velocidad de viento local, (velocidad tomada a 33 ft sobre el nivel del terreno, que equivale a 10 m), uniforme a lo largo de la estructura, independientemente de la altura de la sección.

Este generalmente se utiliza en valles, donde se sabe que los cambios de la velocidad con respecto a la altura serán mínimos. En el diseño básico, se toma en cuenta que la velocidad de viento aumenta conforme la altura de las secciones de la torre se incrementa, es por eso que la velocidad local de viento debe multiplicarse por un factor de altura, este tipo de diseño es más conservador y generalmente se utiliza en áreas despejadas, como en planicies y áreas cercanas a la costa.

#### **2.1.1.2. Dispositivos montados en la torre**

Toda la estructura montada en la torre tiene como principal objetivo brindarle un soporte a muchos dispositivos que van en ésta. Esto es lo que define sus características, por ejemplo, la altura de la torre dependerá muchas veces de la altura que necesiten las antenas para brindar una buena señal. Por otro lado la cantidad de antenas también definirá la fuerza que debe de tener la torre para soportar el peso de las antenas y la fuerza que ejercerá el viento sobre ellas.

Los dispositivos que generalmente van montados sobre una torre son:

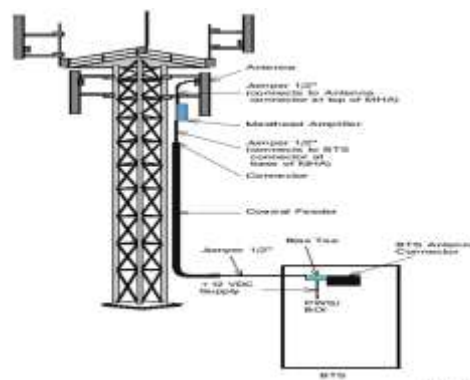
- Antenas (celdas o radioenlace)
- *Jumpers o combiners*
- Cables (fibra óptica o guías de onda)
- Amplificadores

Y otros dispositivos no tan comunes, en la figura 4 se ven una imagen que permite visualizar como es que van montados los dispositivos.

En el caso de las antenas, se clasifican en dos categorías:

- Omnidireccionales
- Direccionales

Figura 4. **Dispositivos montados en torre**



Fuente: Claro S.A., Guatemala.

Las antenas omnidireccionales irradian la energía de radio frecuencia uniformemente en todas las direcciones horizontales. Esta radiación horizontal abarca 360°. Los tipos más comunes de antenas omnidireccionales son las siguientes:

- Montadas en un mástil
- *Rubber* dipolar

Las que comúnmente se utilizan en las torres, son las montadas en un mástil, se conocen como celdas y son las encargadas de radiar en cierto rango de frecuencias la señal de telefonía, proporcionan la señal a las poblaciones y comunidades.

Las torres tienen la capacidad de brindar una cobertura en los 360° ya que tienen 3 sectores llamados Alfa, Beta y Gama que se dividen en rangos de 120° por celda para poder brindar un mejor servicio.

Las antenas direccionales que son muy comunes en un radio enlace, su función principal es comunicar torres entre sí, que se encuentran a grandes distancias. Estas se caracterizan por tener una radiación más direccional para poder comunicarse entre sí con otra antena de este mismo tipo; son utilizadas para conectar torres que se encuentra en lugares muy remotos al sistema, los tipos más comunes de antenas direccionales son los siguientes:

- Yagi
- Parabólica solida
- Semi parabólica
- *Patch* o panel

Las antenas direccionales, para funcionar adecuadamente tienen que ser montadas en una torre a cierta altura del suelo para lograr enlazarse con la antena receptora o viceversa, solución mayormente utilizada en las torres de telefonía común; debido a las prohibiciones de torres en la Antigua Guatemala la utilización de radio enlaces con antenas direccionales para interconectar faroles no es una solución viable.

Los *jumpers* o *combiners* se utilizan para conectar los radiadores a los cables que comunican los mismos con el equipo de procesamiento que se encuentra en el gabinete, así mismo se encargan de mezclar las señales que tienen diferente frecuencia para distintas tecnologías de comunicación. Los amplificadores también son conectados por los *combiners* y le dan a la señal una amplificación adecuada para poder radiar con la potencia necesaria.

Los tipos de cables más utilizados son la fibra óptica y las guías de onda, se encargan de comunicar el equipo de procesamiento instalado en los gabinetes con las antenas.

En algunas torres aun se encuentra instalado el cable coaxial que debido a su ancho de banda limitado y baja fidelidad ante el ruido tiene un rendimiento menor, dado a la introducción de nuevas tecnologías están siendo sustituidos, la longitud necesaria de los cables por lo general será el mismo tamaño que posee la torre.

### **2.1.1.3. Alimentación eléctrica**

La alimentación eléctrica que se debe proporcionar a la torre es un aspecto que por lo general genera muchos problemas, las torres que se encuentran en lugares donde se tiene acceso al tendido eléctrico no ocasionan mucho problema ya que se hace una cometa eléctrica con su respectivo contador para proporcionar una alimentación usualmente de 220 v que van directo al tablero de flipones que son los encargados de conectar el equipo que se encuentra en los gabinetes.

Cuando el lugar en donde se encuentra ubicada la torre es muy remoto, hay que agotar recursos para conseguir electricidad, de no ser esto posible por lo general, se utiliza un generador eléctrico que funciona a base de diesel, ver figura 5, su tanque dependiendo de la capacidad del mismo, se llena generalmente cada mes, en algunos lugares donde no se cuenta con una alimentación eléctrica estable se suele utilizar un generador como dispositivo secundario.

La solución de un generador eléctrico es muy costosa debido al alza de precio de los combustibles, en la actualidad se están empezando analizar soluciones con energías renovables como la solar o eólica.

Figura 5. **Tanque de diesel y generador eléctrico**



Fuente: RIVERA, Samuel. Especificaciones técnicas para la construcción de sitios de telefonía celular. p. 5.

#### **2.1.1.4. Seguridad en la torre**

La seguridad de las torres va desde políticas de seguridad, contemplando aspectos como la protección del lugar en donde se encuentra la torre instalada por medio de la circulación del sitio, rejas, candados, guardias, etc.; hasta llegar a dispositivos eléctricos de protección contra sobretensiones que puedan dañar el equipo.

#### **2.1.1.4.1. Seguridad física**

La protección que se brinda a la torre físicamente consiste en un muro perimetral que restringe el acceso a cualquier persona particular y teniendo acceso por medio de un portón, también se instala alambre entorchado generalmente electrificado para que las personas no puedan escalar el muro.

En sitios que son propensos a sufrir robo de equipo se puede llegar al extremo de contratar guardias de seguridad e incluso cámaras de seguridad debido al alto costo del equipo que se encuentra instalado y de las pérdidas que se producen por no brindar servicio a los clientes.

Para el mantenimiento se proporcionan las llaves a los técnicos y estos pueden tener acceso a todo el equipo, tableros y antenas.

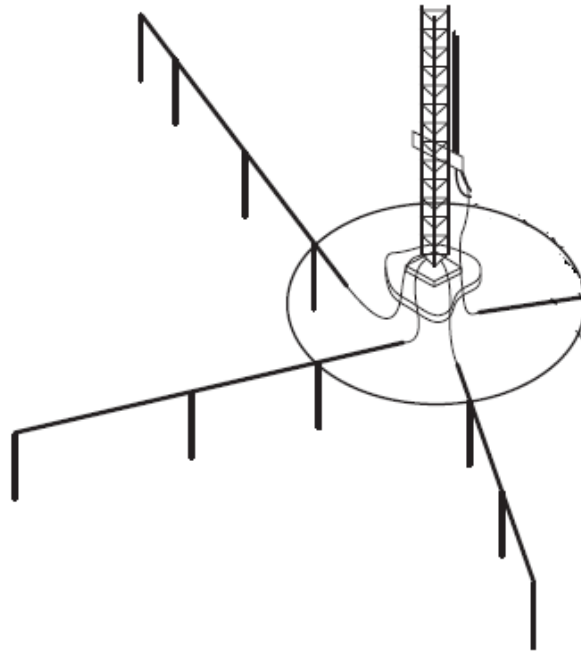
#### **2.1.1.4.2. Seguridad eléctrica**

Una torre de telefonía siempre cuenta con un sistema de puesta a tierra para poder proteger al equipo contra descargas eléctricas, sin este sistema el equipo se daña, podría causar daños irreparables en los mismos, significando una alta pérdida para la empresa propietaria.

Este sistema de puesta a tierra, ver figura 6, generalmente está constituido por una red de varillas de metal enterradas que se encuentran interconectadas entre sí para formar un anillo de protección y que proporcionan la vía de descarga para tensiones eléctricas muy grandes.



Figura 6. **Red de varillas en puesta a tierra**



Fuente: *Standards and guidelines for communication sites, Motorola Inc.* p. 8.

Un sistema de puesta a tierra, no es suficiente para la adecuada protección de sitios. La protección eléctrica incluye también dispositivos contra sobretensiones o descargas eléctricas como lo son el Varistor de Metal Oxido (MOV) que es el más común en este tipo de instalaciones.

Existe una gran variedad de MOV's los cuales van desde dispositivos que se abren cuando ocurre una sobretensión y cortan el circuito hasta dispositivos sofisticados que al momento de detectar un aumento de tensión cambian de estado de conexión, como una especie de *switch* y conducen la sobretensión al sistema de puesta a tierra.

Un sistema de electrodos, debe de tener baja impedancia eléctrica con conductores lo suficientemente largos para disipar altas corrientes; el motivo por el cual un sistema de electrodos debe de tener baja impedancia se debe a que el sistema de protección debe de estar al mismo potencial eléctrico que la tierra física.

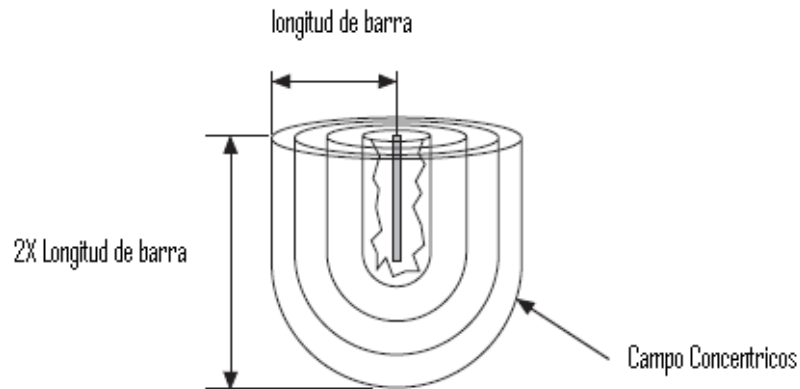
Alrededor del electrodo, la resistencia del suelo es la suma de la resistencia de una serie de campos virtuales concéntricos, que se expanden hacia afuera de la barra, ver figura 7, el campo más cercano a la barra tiene el área de circunferencia más pequeña, o la sección transversal, es la que tiene la resistencia más alta, a medida que los campos se alejan de la barra la resistencia va disminuyendo.

Al momento de instalar las barras, es una buena práctica separarlas a una distancia de dos veces la longitud de las barras, con el objetivo de que los campos concéntricos más importantes no se superpongan.

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en ingles), establece que las barras deben de ser de un material conductor como por ejemplo el cobre, la longitud mínima de la barra debe de ser 2,4 m y su diámetro mínimo de 15,9 mm.

La profundidad a la cual debe de ser enterrada la barra medida desde la superficie de la tierra debe de ser de por lo menos 762 mm. La resistencia de un sistema puesta a tierra debe de oscilar entre los 4 a 30  $\Omega$  (Ohms).

Figura 7. **Campos concéntricos de un electrodo**



Fuente: *Standards and guidelines for communication sites, Motorola Inc.* p. 9.

## 2.1.2. Antena

El elemento encargado de la radiación de señal en una torre es la antena, comúnmente llamada celda y se le atribuye este nombre por la sectorización que existe en los sistemas de cobertura, generalmente una torre tiene una cobertura de 360° logrando esta cobertura por medio de 3 antenas sectorizadas con un haz de cobertura de aproximadamente 120° cada una, cada torre representa 3 celdas en un diagrama de sectorización, por este motivo se conocen como celdas.

### 2.1.2.1. Parámetros de antena

La elección de una antena para determinada aplicación dependerá de los parámetros de la antena, existe una gran cantidad de antenas que van desde un simple alambre sin cubierta hasta grandes estructuras sofisticadas con antenas de última generación.

Una antena se debe de elegir de acuerdo al tipo de radiación que se necesite hacer tomando en cuenta aspectos como la intensidad de radiación, cobertura, potencia, etc.

#### **2.1.2.1.1. Estructura básica**

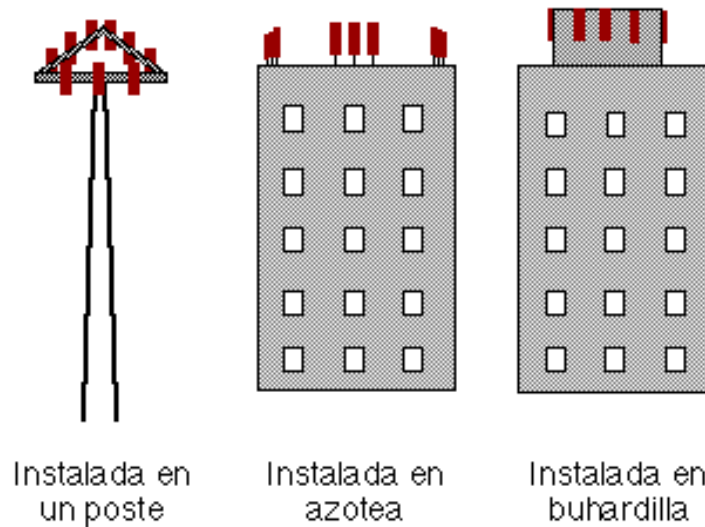
La mayoría de las antenas utilizadas en las torres de telefonía se conocen como Antena de Sector de Alta ganancia, este tipo de antena tiene forma de rectángulo puede llegar a medir hasta 1,5 m de largo, 30 cm de ancho y 20 cm de profundidad.

Este tipo de antenas generalmente son montadas en torres, postes, edificios, azoteas, etc., ver figura 8.

Por lo general se colocan en grupos de 9 unidades para cubrir los 3 sectores, en cada sector se colocan 2 antenas receptoras y 1 antena transmisora, ver figura 8, este tipo de antenas proveen muchas ventajas para poder brindar señal de telefonía celular, su alta ganancia y su direccionamiento así como muchas más características la convierten en la favorita de las empresas de telecomunicaciones, la mayoría de antenas se conectan al sistema por medio de fibra óptica, cable coaxial o guías de onda.

Este tipo de antena es muy utilizada en los sitios macro celda y micro celda, existe una gran variedad derivada de esta antena dependiendo de la aplicación.

Figura 8. **Antenas de sector**



Fuente: MOULDER, John. Antenas de telefonía móvil y salud humana.  
<http://www.ua.es/personal/herrera/seguridad/moviles.html>. Consulta: diciembre de 2012.

#### **2.1.2.1.2. Patrón de radiación**

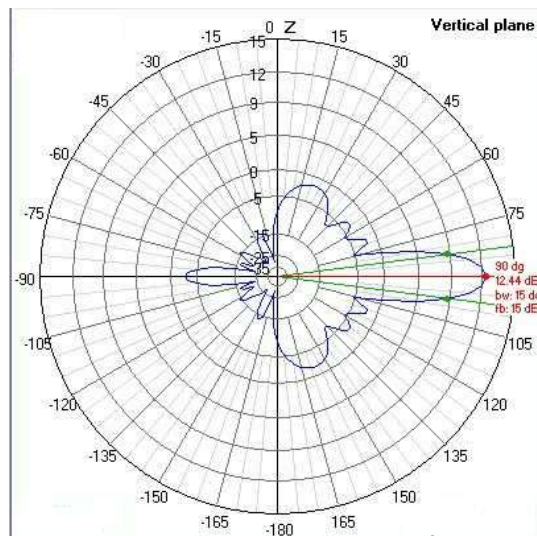
Es un diagrama polar que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena, este diagrama es muy utilizado cuando se hace la planeación del sistema, con el patrón de radiación de la antena se puede encontrar la ubicación más significativa para la antena con el objetivo de brindar la mejor cobertura.

Las antenas sectoriales tienen un patrón de radiación con una directividad un tanto focalizada en los  $90^\circ$  del plano vertical y de  $270^\circ$  en el plano horizontal, al hablar de directividad, en términos prácticos, se refiere al lugar en un plano de  $360^\circ$  donde se encuentra concentrada la señal.

Teóricamente se diseñan antenas que se conocen como antenas isotrópicas, son capaces de radiar en todas las direcciones posibles, tanto en los  $360^\circ$  del plano vertical como en los  $360^\circ$  del plano horizontal, este tipo de radiación es similar a la de un bombillo de luz sin reflector que también es un radiador pero de características diferentes a la de una antena. Estas antenas ideales no existen, sólo son utilizadas como referencia a otras antenas.

El principal factor por el cual se necesita de un radiador con cierta directividad en ciertos ángulos, es que se requiere enfocar toda la energía de una antena en determinado rango de ángulos para cubrir un sector poblacional, ver figura 9. Se desperdician recursos si se radia la señal a todos lados en un lugar donde se encuentra una población en determinado rango de ángulos. La figura 9 muestra un patrón de radiación para una antena aleatoria.

Figura 9. **Patrón de radiación de antena sectorial**



Fuente: [http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php?604-Antena-Sectorial-Amos-\(-12-dBi-s-\)](http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php?604-Antena-Sectorial-Amos-(-12-dBi-s-).). Consulta: diciembre de 2012.

La gráfica del patrón de radiación se obtiene de la ecuación de la directividad de una antena y requiere de procesos matemáticos un poco complicados para poder obtenerla.

### **2.1.2.1.3. Ganancia**

La ganancia de una antena es, esencialmente una medida de lo bien que enfoca la energía irradiada en una dirección en particular. La ganancia se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación.

La unidad de ganancia de una antena es el dBd o dBi, dependiendo si esta se define respecto a un dipolo de media onda o a la isotrópica. Por lo general las antenas de sector tienen una ganancia aproximada de 17 dBi; para convertir un número de dBd a dBi, se añade 2,14 al número de dBd. Una antena isotrópica es una antena ideal que irradia en todas las direcciones y que tiene una ganancia de 1 (0 dB), dichas antenas solo se utilizan como modelo de referencia.

Las antenas de alta ganancia dirigen la energía según un patrón más estrecho y preciso; las antenas de baja ganancia dirigen la energía según un patrón más ancho y amplio. Siempre hay un intercambio entre ganancia, que es comparable a lo estrecho del haz. Por consiguiente, la ganancia de una antena y su patrón de radiación están relacionados.

Las antenas de alta ganancia siempre tienen haces o patrones más estrechos; las antenas de baja ganancia siempre tienen ancho de haz más amplio.

#### **2.1.2.1.4. Ancho de banda**

Es el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen unas determinadas características. Se puede definir un ancho de banda de impedancia, de polarización, de ganancia o de otros parámetros.

Básicamente se podría decir que el ancho de banda define en que rango de frecuencias en el cual la antena trabajará de acuerdo a sus características, este rango de frecuencia dependerá de la fabricación de la misma. Existe una variedad de antenas que tienen rangos de frecuencia totalmente distintos.

Para las antenas de sector existen diferentes rangos de frecuencia y eso dependerá de que tecnología se esté utilizando GSM o UMTS ya que estas operan en frecuencias diferentes.

Otro factor a tomar en cuenta serán las frecuencias que posea cada compañía de telefonía para poder llevar a cabo sus funciones, esto variará de un país a otro ya que cada gobierno tiene sus reglas respecto al espectro de frecuencias y sus funciones.

## **2.2. Gabinete**

Es un espacio ubicado dentro del sitio celda en el cual se encuentra el equipo de procesamiento de señal, normalmente se encuentra protegido con cerraduras o incluso se construye una circulación de concreto. Los equipos de procesamiento de señal que se encuentran dentro del gabinete son los encargados de controlar todas las funciones de llamadas o transferencia de datos hacia los móviles.



Existen diversas cantidades de estos equipos de procesamiento de señal, variarán de acuerdo a las funciones que pueden desempeñar y a la tecnología con la que trabajen. Normalmente en un sitio celda común se encuentra instalado equipo para tecnología GSM y tecnología UMTS.

### 2.2.1. Tecnología GSM

El sistema global para las comunicaciones móviles se considera, por su velocidad de transmisión y otras características, un estándar de segunda generación (2G). Generalmente trabaja para frecuencias entre 800 – 900 MHz ó 1800 – 1900 MHz, ver tabla I.

Tabla I. **Tabla de frecuencias GSM**

<b>Banda</b>	<b>Nombre</b>	<b>Canales</b>	<b>Uplink (MHz)</b>	<b>Downlink (MHz)</b>
<b>GSM 850</b>	GSM 850	128 – 251	824,0 – 849,0	869,0 – 894,0
<b>GSM 900</b>	P-GSM 900	0 – 124	890,0 – 915,0	935,0 – 960,0
	E-GSM 900	974 – 1023	880,0 – 890,0	925,0 – 935,0
	R-GSM 900	N/A	876,0 – 880,0	921,0 – 925,0
<b>GSM 1800</b>	GSM 1800	512 – 885	1710,0 – 1785,0	1805,0 – 1880,0
<b>GSM 1900</b>	GSM 1900	512 – 810	1850,0 – 1910,0	1930,0 – 1990,0

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_global\\_para\\_las\\_comunicaciones\\_m%C3%B3viles](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles).

Consulta: diciembre 2012.

#### 2.2.1.1. Arquitectura de red

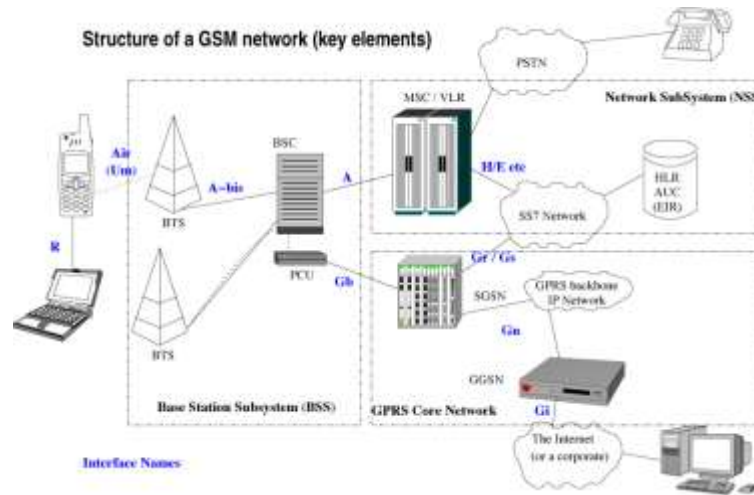
El sistema GSM basa su división de acceso al canal en combinar los siguientes modelos de reparto del espectro disponible. El primero es determinante a la hora de especificar la arquitectura de red, mientras que el resto se resuelve con circuitería en los terminales y antenas del operador, los cuales son:

- Empleo de celdas contiguas a distintas frecuencias para repartir mejor las frecuencias (SDMA, *Space Division Multiple Access* o acceso múltiple por división del espacio); reutilización de frecuencias en celdas no contiguas.
- División del tiempo en emisión y recepción mediante TDMA (*Time Division Multiple Access*, o acceso múltiple por división del tiempo).
- Separación de bandas para emisión y recepción y subdivisión en canales radioeléctricos (protocolo FDMA, *Frequency Division Multiple Access* o acceso múltiple por división de la frecuencia).
- Variación pseudo aleatoria de la frecuencia portadora de envío de terminal a red (FHMA, *Frequency Hops Multiple Access* o acceso múltiple por saltos de frecuencia).

La BSS, capa inferior de la arquitectura de la red, ver figura 10 (terminal de usuario – BS – BSC), resuelve el problema del acceso del terminal al canal. La siguiente capa (NSS) se encargará, por un lado, del enrutamiento (MSC) y por otro de la identificación del abonado, tarificación y control de acceso (HLR, VLR y demás bases de datos del operador).

En la figura 10, se describe a grandes rasgos lo que es la Tecnología GSM y su funcionamiento básico. El tráfico se origina desde un celular o un modem de servicio de datos, la señal llega a la torre BTS que se encarga de convertir esta señal electromagnética en bits, luego son enviados a la BSC; el tráfico de voz se dirige hacia un centro de conmutación móvil (MSC, por sus siglas en inglés) y luego a la nube de servicio telefónico PSTN; el tráfico de datos se dirige a la red de *core* GPRS para luego ser dirigido a la internet.

Figura 10. **Arquitectura GSM**



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_global\\_para\\_las\\_comunicaciones\\_m%C3%B3viles](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles).

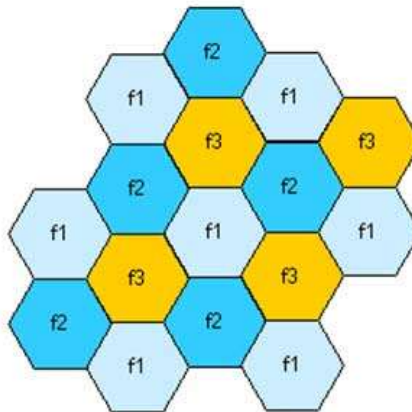
Consulta: diciembre 2012.

### 2.2.1.2. **División en celdas**

Los sistemas de telefonía celular son sistemas de radio que involucran transmisión distribuida. Muchos usuarios pueden tener acceso al servicio en un área de cobertura limitada. Esta área está dividida en pequeñas áreas conocidas como celdas, ver figura 11. Cada celda tiene un transmisor/receptor fijo conocido como radio base. Un usuario debe comunicarse con la radio base para establecer una llamada.

La llamada puede ser de voz o de datos y la radio base se encarga de enrutar la llamada hacia cualquier red terrestre o hacia otro usuario dentro de la misma red celular. Cada usuario de un sistema celular es también llamado un suscriptor. El enlace que se establece de la radio base al suscriptor es referido como enlace de bajada o de ida (*downlink*). El enlace del suscriptor hacia la estación base es conocido como enlace de subida (*uplink*).

Figura 11. **División de celdas**



Fuente: HERNÁNDEZ, Amaterazú. Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM& IS-54, IS-136. p. 10.

Los suscriptores celulares pueden ser estacionarios o móviles. Si el suscriptor es móvil, entonces la red celular debe ser capaz de manipular la situación en que el suscriptor móvil se mueva de una celda a otra. Este evento se le conoce como transferencia entre celdas (*handoff* o *handover*).

Con el fin de asegurar que una llamada no se caiga cuando ocurra una transferencia de celda, la información acerca de la unidad móvil es usualmente conocida por las radio bases involucradas en la transferencia de celdas. Esta información es transferida a través de otro tipo de enlaces, donde se envía también información de control y señalización. A estos enlaces se les conoce como red dorsal, la red dorsal consiste de varias entidades entre la RTPC y la radio base.

Una red celular está compuesta por muchas celdas acomodadas geográficamente. Por lo regular, una radio base utilizará frecuencias diferentes para comunicarse con las demás radio bases en celdas vecinas.

El factor de re-uso de frecuencias permite que un número mínimo de frecuencias sean utilizadas en una red celular asegurando la no-interferencia entre las celdas. Para fines de diseño las celdas son representadas en forma hexagonal, este tipo de representación frecuentemente da como resultado re-uso en frecuencia en un factor de 7, el mínimo número de frecuencias necesarias para asegurar que las radio bases vecinas no tengan que ocupar las mismas frecuencias.

La representación hexagonal es adecuada para análisis preliminar de una red celular. En la realidad, diversos factores como el terreno, edificios, construcciones, densidad poblacional hacen que el área de cobertura de una radio base sea irregular.

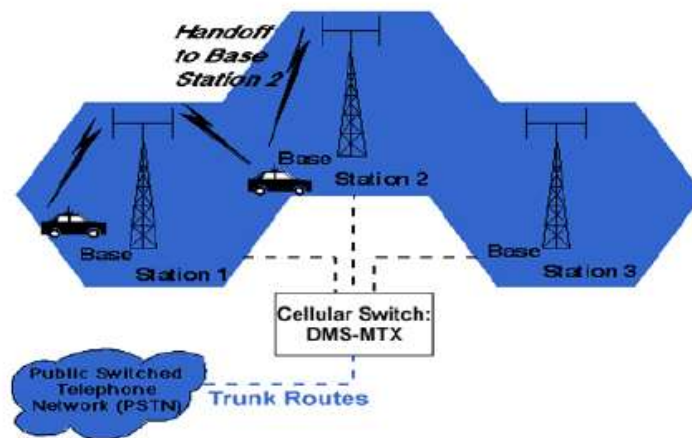
#### **2.2.1.2.1. Handover**

La movilidad del usuario puede inducir a la necesidad de cambiar de célula servidora, en particular cuando la calidad de la transmisión cae por debajo de un umbral. Con un sistema basado en células grandes, la probabilidad de que ocurra esto es pequeña y la pérdida de una llamada podría ser aceptable. Sin embargo, se quiere lograr grandes capacidades se reduce el tamaño de la célula, con lo que el mantenimiento de las llamadas es una tarea esencial para evitar un alto grado de insatisfacción en los abonados.

Uno de los objetivos del sistema celular es mantener a un usuario en contacto incluso si éste se mueve a través del sistema. Cuando un usuario se mueve del área de cobertura definida de una célula a otra, el sistema debe proveer la capacidad de mantener al usuario en contacto aunque se rompa la conexión establecida con una radio base y se establezca otra conexión con otra radio base. Esta operación es llamada *handoff* o *handover*.

Este proceso requiere primero algunos medios para detectar la necesidad de cambiar de célula mientras se encuentra en el modo dedicado (preparación del *handoff*), y después se requieren los medios para conmutar una comunicación de un canal en una célula dada a otro canal en otra célula, ver figura 12, de una forma transparente al usuario, es decir, que no se percate del cambio.

Figura 12. **Proceso de *handover***



Fuente: HERNÁNDEZ, Amaterazú. Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM& IS-54, IS-136. p. 16.

El *handoff* en un sistema celular se realiza de dos maneras. *Handoff* duro (*hard*) es cuando la conexión entre el móvil y su servidor inicial (radio base) permanece momentáneamente antes de reconectar al móvil con una nueva radio base. Este es el método tradicional usado en los sistemas celulares existentes, porque requiere de menos procesamiento por parte de la red para seguir proveyendo servicio, aunque éste cause una interrupción momentánea en la recepción, la cual es algunas veces notable al usuario.

El segundo método de *handoff* es llamado *handoff* suave (*soft*), ver figura 13, en el cual dos radio base estarán simultáneamente conectadas por un periodo corto de tiempo con el móvil durante el *handoff*. Tan pronto como el enlace de RF del móvil con la nueva radio base sea aceptable, la radio base inicial se desprende del móvil.

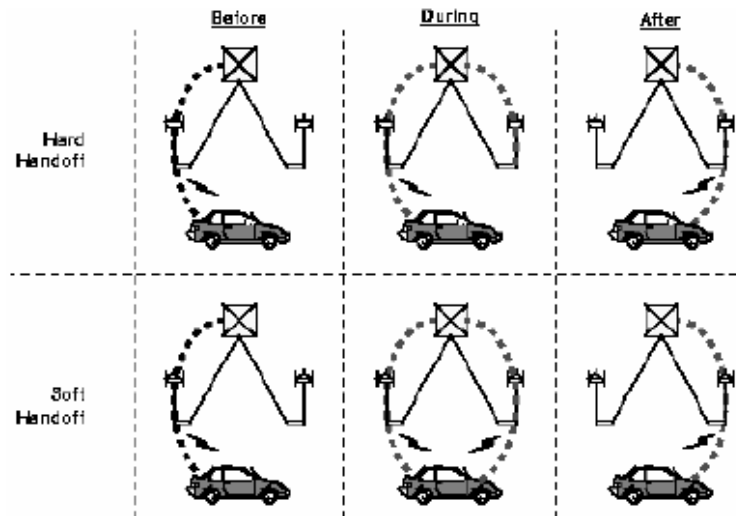
Se emplean diversas técnicas al final de los dos enlaces para asegurar un *handoff* suave, el cual es transparente al usuario. También se puede clasificar a los *handoffs* como controlados o asistidos por la red o el móvil. Un *handoff* controlado por la red es calificado como un BCHO (*handoff* controlado por la radio base por sus siglas en ingles).

Un *handoff* MCHO (*handoff* controlado por el móvil por sus siglas en ingles), es menos usado en sistemas de voz, pero más usado en CDPD (*Cellular Digital Packet Data*) por el modo de transmisión de ráfaga empleado en móviles CDPD.

La segunda generación de sistemas celulares de voz toma ventaja de la inteligencia en los móviles y las técnicas de división de tiempo para realizar un MAHO (*handoff* asistido por el móvil *por sus siglas en ingles*), en donde el móvil participa pero no controla el *handoff*.

El proceso de *handoff* es complejo con cualquiera de las técnicas que se emplee. Se usa un algoritmo de decisión para determinar cuándo debe ocurrir un *handoff*, basado en factores como el nivel de potencia recibido y la calidad de la señal.

Figura 13. **Handover suave y duro**



Fuente: HERNÁNDEZ, Amaterazú. Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM& IS-54, IS-136. p. 17.

Una vez que los valores predeterminados de umbral han sido excedidos, indicando que se ha llegado a la orilla de la cobertura de la célula, se debe también decidir de dónde recibirá servicio el móvil.

La célula marcada para *handoff* es determinada por medidas de RF diseñadas para minimizar la interferencia asociada con consideraciones de capacidad tales como la necesidad de balance de carga, disponibilidad de canales desocupados, etc. Todas las decisiones para el *handoff* deben ser rápidas, porque el usuario puede estar movilizándose con rapidez. Esta necesidad de decisiones rápidas de *handoff* se acentúa más en células con tamaños decrecientes usadas en áreas urbanas.



Los requerimientos para *handoffs* rápidos sólo pueden ser reunidos con un nivel suficiente de procesamiento y capacidad de señalización. La habilidad de una red para soportar *handoffs* puede ser una capacidad coactiva. Por lo tanto, es importante evitar *handoffs* innecesarios e indeseados.

El sistema debe distinguir entre un movimiento del área de cobertura de una célula a otra y un móvil moviéndose a la franja del área, donde la recepción de RF es pobre. Se han desarrollado algoritmos inteligentes que involucran cronómetros, control de potencia e histéresis para reducir el número de *handoffs* innecesarios.

### **2.2.2. Tecnología UMTS**

Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, por sus siglas en inglés), es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación, sucesora de GSM, debido a que la tecnología GSM propiamente dicha no podía seguir un camino evolutivo para llegar a brindar servicios considerados de tercera generación. Sus tres grandes características son las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada, la cual también le permite transmitir audio y video en tiempo real; y una transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas.

UMTS ofrece los siguientes servicios:

- Facilidad de uso y bajos costes: UMTS proporcionará servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para realizar un fácil acceso a los distintos servicios y bajo coste de los servicios para asegurar un mercado masivo.

- Nuevos y mejorados servicios; los servicios de voz mantendrán una posición dominante durante varios años. Los usuarios exigirán a UMTS servicios de voz de alta calidad junto con servicios de datos e información.
- Acceso rápido: La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación móvil (2G), es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 kbit/s sobre vehículos a gran velocidad, 384 kbit/s en espacios abiertos de extrarradios y 7.2 Mbit/s con baja movilidad (interior de edificios).

#### **2.2.2.1. Arquitectura de red**

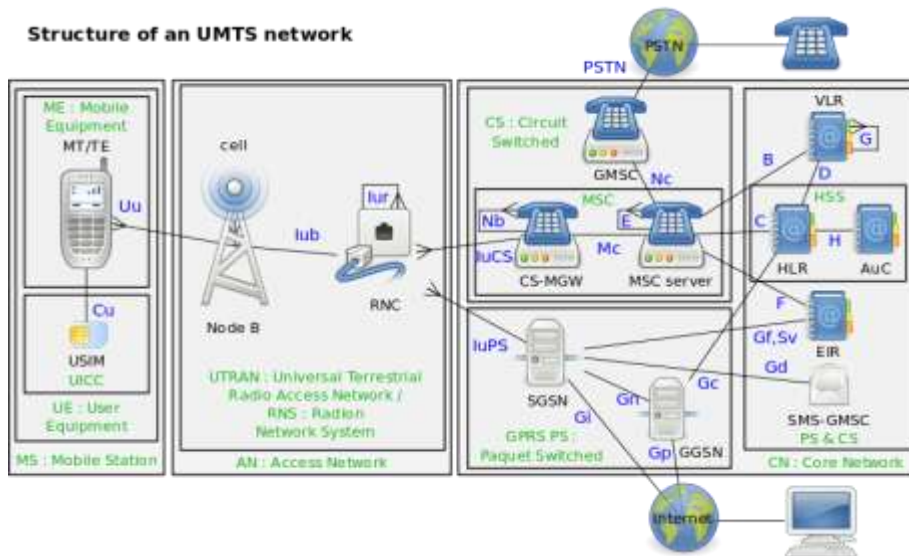
La estructura de redes UMTS está compuesta por dos grandes subredes:

La red de telecomunicaciones y la red de gestión, ver figura No. 14. La primera es la encargada de sustentar la transmisión de información entre los extremos de una conexión.

La segunda tiene como misiones la provisión de medios para la facturación y tarificación de los abonados, el registro y definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de sus datos. Se va a analizar sólo la primera de las dos subredes, esto es, la de telecomunicaciones.

UMTS usa una comunicación terrestre basada en una interfaz de radio W-CDMA, conocida como UMTS *Terrestrial Radio Access* (UTRA). Soporta división de tiempo *duplex* (TDD) y división de frecuencia *duplex* (FDD). Ambos modelos ofrecen ratios de información de hasta 2 Mbps.

Figura 14. **Arquitectura UMTS**



Fuente: <http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS>. Consulta: enero 2013.

Una red UMTS se compone de los siguientes elementos:

- Núcleo de red (*Core Network*). El núcleo de red incorpora funciones de transporte y de inteligencia. Las primeras soportan el transporte de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación. El encaminamiento reside en las funciones de inteligencia, que comprenden prestaciones como la lógica y el control de ciertos servicios ofrecidos a través de una serie de interfaces bien definidas; también incluyen la gestión de la movilidad.
- A través del núcleo de red, el UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones, de forma que resulte posible la comunicación no sólo entre usuarios móviles UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

- Red de acceso radio (UTRAN). Desarrollada para obtener altas velocidades de transmisión. La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el *Core Network*. En UMTS recibe el nombre de UTRAN (Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre) y se compone de una serie de subsistemas de redes de radio (RNS) que son el modo de comunicación de la red UMTS. Un RNS es responsable de los recursos y de la transmisión/recepción en un conjunto de celdas y está compuesto de un RNC y uno o varios nodos B.
- Los nodos B son los elementos de la red que se corresponden con las estaciones base. El controlador de la red de radio (RNC) es responsable de todo el control de los recursos lógicos de una BTS (Estación Base Transmisora).
- UE (*User Equipment*). Se compone del terminal móvil y su módulo de identidad de servicios de usuario/suscriptor (USIM) equivalente a la tarjeta SIM del teléfono móvil.

Partiendo de un dispositivo 3G, un teléfono móvil o una tarjeta para computadora compatible con esta red, los datos llegan al Nodo B que es el encargado de recoger las señales emitidas por los terminales y pasan al RNC para ser procesadas, estos dos componentes es lo que se denomina UTRAN.

Desde el UTRAN pasa al núcleo de la red que está dividido en conmutadores que distribuyen los datos por los diferentes sistemas, según vayan a uno u otro seguirán un camino pasando por el MSC (*Mobile services Switching Center*), o por el SGSN (*Serving GPRS SupportNode*) y posteriormente por el GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

### **3. SISTEMA DE COBERTURA DE SEÑAL DE TELEFONÍA CELULAR EN ANTIGUA GUATEMALA UTILIZANDO SITIO CELDA TIPO FAROL**

El diseño de un sistema de cobertura de señal de telefonía celular para una ciudad protegida por varios entes con el fin de no cambiar su diseño urbanístico, sin duda alguna representa un desafío de ingeniería moderna; integrar aspectos como el diseño de un farol lo suficientemente resistente para soportar los dispositivos montados, la interconexión de los faroles para formar una red y simular los niveles de señal, serán varios factores a tomar en cuenta.

#### **3.1. Diseño de faroles**

El aspecto principal por el cual se desea encontrar una solución a los problemas de señal de telefonía en Antigua Guatemala, es el no poder construir torres dentro de una ciudad con aspecto colonial, la solución propuesta en la investigación es la utilización de faroles adecuados al estilo de la colonial, en el cual se puedan adaptar equipo de radiación de señal (antena), equipo de procesamiento de señal y una variedad de cables para lograr la conexión entre los mismos.

##### **3.1.1. Estructura**

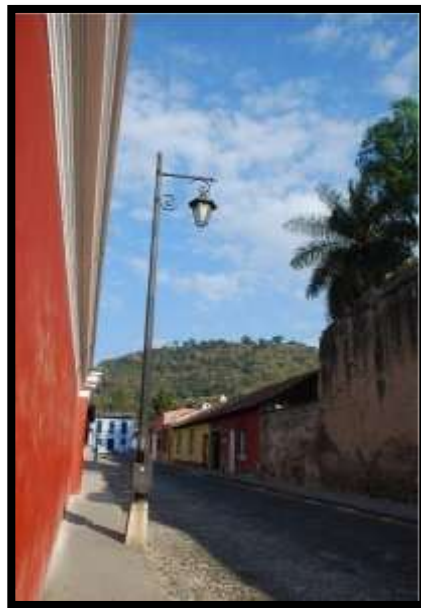
El acabo final del farol deberá de estar en una línea sutil entre el diseño normal al estilo de la colonia antigua y lo robusto de una estructura capaz de soportar un peso considerable, sin olvidar que no debe de perder la capacidad de iluminar las calles de la ciudad.

### 3.1.1.1. Diseño básico del farol

La idea base, es reproducir una réplica exacta de los faroles para iluminación que actualmente se encuentran en la ciudad de Antigua Guatemala, ver figura 15.

Básicamente el farol será de las mismas características visuales de un farol normal de la ciudad, las modificaciones que se llevarán a cabo, están relacionadas con reforzamiento de la estructura, acople del equipo de procesamiento de señal y radiación.

Figura 15. **Farol de iluminación en Antigua Guatemala**



Fuente: 4ta. Calle poniente, ciudad de Antigua Guatemala.

El cableado que comunicará el equipo de procesamiento de señal con la antena y con el equipo de la radio base deberá de ser interno, en la parte exterior del farol no se debe de ver ningún tipo de cable.

Se debe de modificar la estructura del farol con unos conductos para poder ubicar los cables de una manera correcta y segura, el ancho del farol será mayor al de un farol normal. El farol normal posee dos basureros colocados en la parte inferior del poste, para este diseño básico, ver figura 16, se sellarán los basureros y colocaran en este espacio el equipo necesario, se elaborará una compuerta con ranuras de ventilación para que el equipo que se encuentra en el interior no sufra un sobre calentamiento.

Todo el farol debe de estar cubierto por un acero resistente para que la estructura no sea frágil, y soporte cualquier inclemencia del tiempo o cualquier percance. Varios de los aspectos ya mencionados, hacen que la estructura sea muy pesada (peso de antena 2 kg, RRU 3908 23 kg y estructura de 160 kg) y probablemente un cimiento normal no pueda resistir, para poder contrarrestar esto, se elaborará un cimiento más grande o zapata base de 1,125 metros cúbicos (1,5 m x 0,5 m x 1,5 m) para que este pueda soportar el peso del farol.

En resumen las características del diseño de farol son:

- Estilo similar a los faroles ya existentes dentro de la ciudad
- Forro de acero resistente a golpes
- Conductos internos para cables
- Basureros sellados y con ranuras de ventilación
- Zapata base de 1,125 metros cúbicos (1,5 m x 0,5 m x 1,5 m)

Figura 16. **Basureros sellados con ranuras**



Fuente: elaboración propia, en base al modelo de basureros utilizados en Antigua Guatemala.

### **3.1.1.2. Dispositivos colocados en el farol**

En la mayoría de sitios celda (torre) se encuentran muchos dispositivos tales como: antenas, tanques de diesel, moto generadores, cables, dispositivos de seguridad eléctrica, dispositivos de procesamiento de señal, etc.

En este sitio celda, el espacio es muy limitado motivo por el cual se trata de reducir los dispositivos que puedan ser estrictamente necesarios. En el farol se colocarán los siguientes dispositivos:

- 1 antena omnidireccional
- 1 set de transmisión y recepción de fibra óptica (conectores y cables)
- Dispositivos de procesamiento de señal (1 en cada basurero)
- Dispositivos de Iluminación (1 lámpara por cada farol)



### 3.1.1.2.1. Cables

El cable a utilizar en la solución propuesta será el cable de fibra óptica, debido a su versatilidad, tamaño y gran capacidad. Un cable de fibra óptica funciona básicamente por medio de las leyes de la refracción óptica las cuales describen las proyecciones de un rayo a través de distintos medios los cuales poseen una característica llamada índice de refracción, estas leyes le permiten al rayo poder viajar a través de los medios o simplemente debilitarse y desaparecer entre éstos, ello dependerá de la correcta utilización de las leyes y otros aspectos básicos de la óptica.

Existen varios caminos de propagación de la luz que comúnmente se conocen como modos, en propagación de fibra óptica se utilizan dos tipos de propagación, multimodo y monomodo, la diferencia entre ambos modos es la eficiencia, el dispositivo generador de señal, el diámetro del cable, la capacidad del canal y el ángulo de refracción de la luz en la propagación.

En multimodo el cable de fibra óptica posee un núcleo de un tamaño que va desde 50 hasta 125 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) y como fuente de luz óptica utiliza un diodo emisor LED (en casos especiales se utiliza un laser, OM3), la propagación dentro del medio no sigue un camino recto y se logra por medio del rebote de la emisión de luz dentro del medio, se pueden alcanzar distancias de 2 km sin repetidores. Puede soportar desde gigabit Ethernet hasta 10 gigabit Ethernet.

En monomodo el cable de fibra óptica posee un núcleo que va desde 8,3 hasta 10  $\mu\text{m}$  y utiliza como fuente de luz óptica un láser, la propagación es muy direccional y casi no rebota con el medio.

Este modo de propagación es muy utilizado en líneas de alta capacidad ya que puede brindar un ancho de banda mayor y una capacidad de transporte de datos muy eficiente (400 km y decenas de gigabit por segundo). En la solución propuesta es posible utilizar cualquier tipo de fibra óptica, ya que es un medio que posee distintas formas de fabricación pero es importante resaltar el hecho de que se debe de utilizar un medio adecuado u óptimo.

Por último es importante mencionar que un sistema de transmisión óptica posee 3 componentes una fuente de luz, un medio de transmisión y un detector.

- El transmisor puede ser un LED u otro dispositivo que emita luz cuando se le aplique una corriente eléctrica.
- El medio de transmisión es la fibra óptica
- El detector puede ser un fotodiodo u otro dispositivo que emita un pulso eléctrico cuando reciba un haz de luz.

#### **3.1.1.2.2. Dispositivos de iluminación**

La clave del éxito que pueda tener la solución propuesta consiste básicamente en que pueda pasar desapercibida la torre y disfrazarla de farol, que el visitante de la ciudad de Antigua Guatemala no se pueda percatar de que existen dispositivos que proporcionan señales de telefonía. Para lograr esto, el farol debe de cumplir con sus funciones básicas como la de brindar iluminación a las calles.

El servicio de iluminación se puede brindar instalando una lámpara en el farol con su respectivo cableado de alimentación, ahora bien surgen aquí dos interrogantes:

- ¿Afectará el cableado eléctrico de la lámpara al cable de fibra óptica?
- ¿Qué tipo de alimentación eléctrica necesita la iluminación y los dispositivos de procesamiento de señal?

Para responder a la primer pregunta, una de las ventajas de la fibra óptica es de que es inmune a las interferencias eléctricas ya que es un medio de propagación óptico entonces el cableado de fibra óptica puede ir junto al cableado eléctrico de la lámpara que las señales de datos no estarán afectadas por la alimentación eléctrica de la lámpara, esta es una de las tantas ventajas que ofrece la fibra óptica y por eso ha sido escogida.

Para la segunda pregunta, los dispositivos de iluminación utilizan una alimentación eléctrica de 110 o 220 v, dependiendo del tipo de dispositivo y la intensidad lumínica que se necesite, para este caso se utilizará uno de 110 v, por lo tanto, los dispositivos de procesamiento de señal deben de funcionar para esta configuración de alimentación eléctrica, hay que buscar dispositivos de procesamiento de señal tanto de GSM como de UMTS que puedan trabajar con este voltaje de alimentación, esto sin duda es un requerimiento muy interesante ya que la mayoría de los dispositivos de procesamiento de señal trabajan con distintas cantidades de alimentación, el aparato adecuado para este funcionamiento es el dispositivo externo RRU3908.

### **3.1.2. Antena**

La forma por medio del cual los dispositivos celulares acceden a las topologías de red de GSM y UMTS, es por medio de un dispositivo radiador de señal que comúnmente se conoce como antena.

La antena se encarga de ser el medio de entrada y de salida para la comunicación entre el dispositivo móvil y la red interna. Existen una infinidad de antenas con diferentes aplicaciones, para el caso del proyecto las antenas que se evalúan son la monopolo y dipolo.

### **3.1.2.1. Antena monopolo y dipolo**

La antena propuesta en la solución, está entre dos tipos:

- Antena tipo dipolo omnidireccional
- Antena monopolo omnidireccional

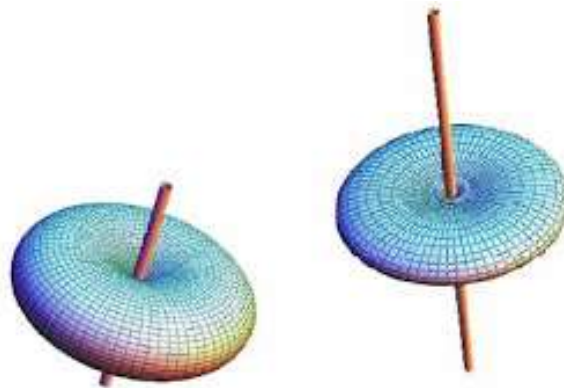
Cuando se habla de un dipolo no es más que una antena con alimentación central empleada para transmitir o recibir ondas de radiofrecuencia, es decir, es un elemento de corriente de longitud  $h$ , recorridos por una corriente uniforme, cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con la longitud de onda. La mayor parte de las antenas con frecuencias inferiores a 1 MHz se comportan como dipolos elementales, dado que a esa frecuencia la longitud de onda es de 300 m.

La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del dipolo, y puede calcularse como  $150/\text{frecuencia (MHz)}$ .

El resultado estará dado en metros. A causa del efecto de bordes la longitud real será algo inferior, del orden del 95% de la longitud calculada. En la figura 17, se ve el diagrama de radiación en 3 dimensiones para tener una mejor idea del comportamiento que este dipolo tiene el cual es omnidireccional.

El monopolo (vertical) o antena vertical está constituida de un solo brazo rectilíneo irradiante en posición vertical. Se considera que el monopolo no es una antena completa, y que necesita ser completada por un plano de masa para poder funcionar correctamente.

Figura 17. **Patrón de radiación de un dipolo en 3 dimensiones**



Fuente: VILLENA, Rafa. Antenas para todos.

<http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/05/antenas-de-hilo-o-de-dipolo.html>. Consulta: 25 de enero de 2013.

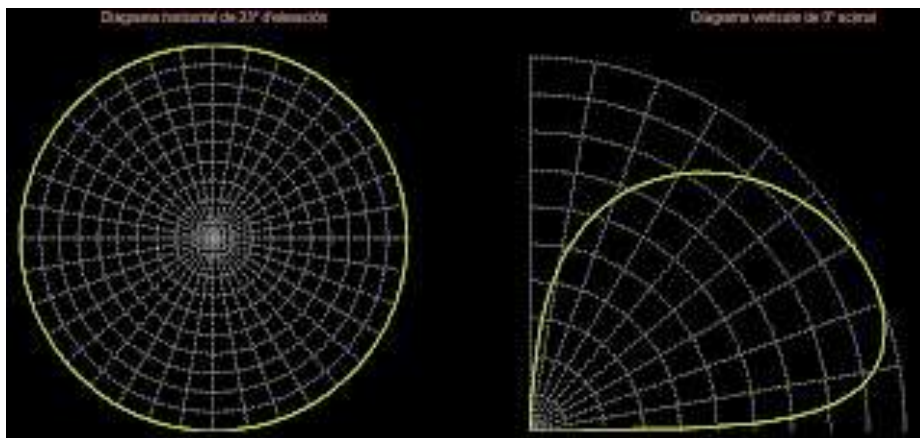
Ese plano de masa puede ser natural (por ejemplo, una superficie de agua salada), o bien artificial (una serie de conductores que se unen en la base del monopolo). El monopolo se alimenta en la base.

La alimentación es asimétrica, es decir, cuando uno de los conductores del monopolo está a masa y el otro experimenta las variaciones de tensión, se dice que la alimentación es asimétrica. Habitualmente se alimenta con cable coaxial. La similitud entre monopolo y dipolo, los monopolos tienen la misma corriente que los dipolos, los campos radiados son los mismos en el semiplano superior, mientras que el campo es cero en el semiplano inferior del monopolo.

En la solución propuesta se utilizará una antena tipo dipolo, esto no quiere decir que la antena de monopolo sea mala pero para el tipo de proyecto que se llevará a cabo, la antena de dipolo se adapta mejor por el patrón de radiación que esta posee, el funcionamiento de ambas antenas es muy similar, existen varios parámetros que tienen en común, ver tabla II.

El patrón de radiación de la antena de monopolo es similar al de una antena tipo dipolo, aunque posee diferencia en el rango de radiación horizontal, ver figura 18.

Figura 18. **Patrón de radiación de una antena monopolo**



Fuente: VILLENA, Rafa. Antenas para todos.

<http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/05/antenas-de-hilo-o-de-dipolo.html>. Consulta: 26 de enero de 2013.

Los parámetros de ambas antenas son muy similares, básicamente la diferencia principal entre este tipo de antenas es la forma de funcionamiento, por ejemplo, la antena tipo monopolo necesita un tipo de estructura para poder funcionar o estar enterrada en la tierra al contrario de la antena tipo dipolo que no necesita ningún tipo de superficie.

Tabla II. **Parámetros de antena monopolo y dipolo**

<b>Parámetro</b>	<b>Monopolo</b>	<b>Dipolo</b>
Corriente	I	I
Tensión	V	2V
Potencia Radiada	W	2W
Resistencia de Radiación	R/2	R
Impedancia	Z/2	Z
Directividad	2D	D
Área Efectiva	A/2	A
Longitud Efectiva	l/2	L

Fuente: VILLENA, Rafa. Antenas para todos.

<http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/05/antenas-de-hilo-o-de-dipolo.html>. Consulta: 26 de enero de 2013.

### **3.1.2.2. Antena dipolar a utilizar**

Se han presentado los aspectos teóricos del funcionamiento de las antenas tanto de monopolo como de dipolo, luego de hacer la elección de la antena dipolar es momento de hacer un énfasis en los aspectos físicos de la antena que se va a utilizar. La antena dipolar omnidireccional trabaja en un rango de frecuencia de 696-960/1710-2500 MHz lo cual es totalmente aceptable para cualquier empresa de telefonía, la ganancia máxima de la antena es de 7 dBi y esta forrada de fibra de vidrio resistente al agua, ver figura 19.

Entre los aspectos mecánicos importantes posee dimensiones de longitud de 550 mm, diámetro de 60 mm, un peso de 2 kg, cubierta de fibra de vidrio y el elemento radiador es el cobre. Los aspectos eléctricos de relevancia son una ganancia máxima de 7 dB, polarización vertical, una impedancia de entrada de 50  $\Omega$  y una protección contra sobre tensiones.

Figura 19. **Antena dipolar omnidireccional propuesta**



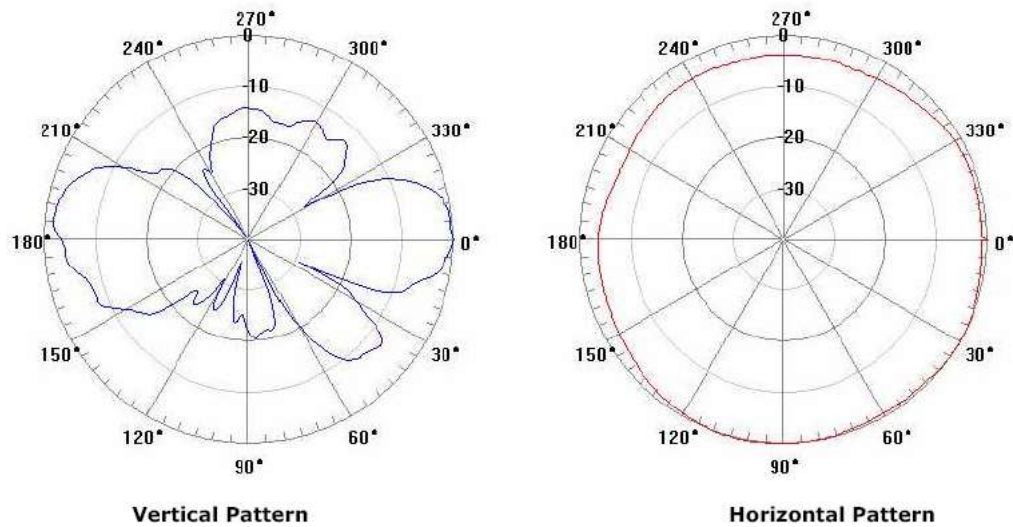
Fuente: <http://www.comba-telecom.com/productandservice.aspx?ID=36>. Consulta: febrero de 2013.

El patrón de radiación de esta antena es omnidireccional, ver figura 20, el cual tanto vertical como horizontalmente no posee un contorno muy definido como teóricamente debía de serlo pero que para aspectos de la aplicación se adapta muy bien. La figura 20 es el resultado de una simulación utilizando una frecuencia de 1 850 MHz.

La ventaja de utilizar este tipo de antena radica principalmente en el tipo de radiación que ofrece, eficiencia y versatilidad en su tamaño. Cuando se habla del tipo de radiación, se hace referencia a que es una antena que radia en forma omnidireccional, esto quiere decir que en el plano horizontal tiene una radiación completa de 360° radiales idealmente.



Figura 20. **Patrón de radiación de antena propuesta**



Fuente: <http://www.comba-telecom.com/productandservice.aspx?ID=36>. Consulta: febrero de 2013.

### 3.1.3. **Unidad de procesamiento de señal**

La unidad de procesamiento de señal, es el equipo encargado de transformar los niveles de energía provenientes de la antena en señales eléctricas, en algunos casos señales análogas y en otros casos señales digitales. Este equipo se encuentra dentro del basurero sellado y tiene que funcionar tanto para tecnología GSM y UMTS. Para entender el funcionamiento de este dispositivo de procesamiento de señal se debe de aclarar, que este se encarga prácticamente de recibir y enviar señales de radio frecuencia para ambas tecnologías, pero estas señales son enviadas a otros dispositivos (internos) que tendrán la función de llevar a cabo operaciones más complejas de procesamiento de señal, por ejemplo un *handover*.

Únicamente se trabajará con el equipo de procesamiento de señal que funciona al aire libre (exterior), debido a que la solución es totalmente aplicable a un ambiente externo por lo tanto, lo único que se puede decir del equipo interior es que la comunicación con el equipo de procesamiento exterior será por medio de fibra óptica subterránea y que se encontrará instalado en un nodo central (gabinete).

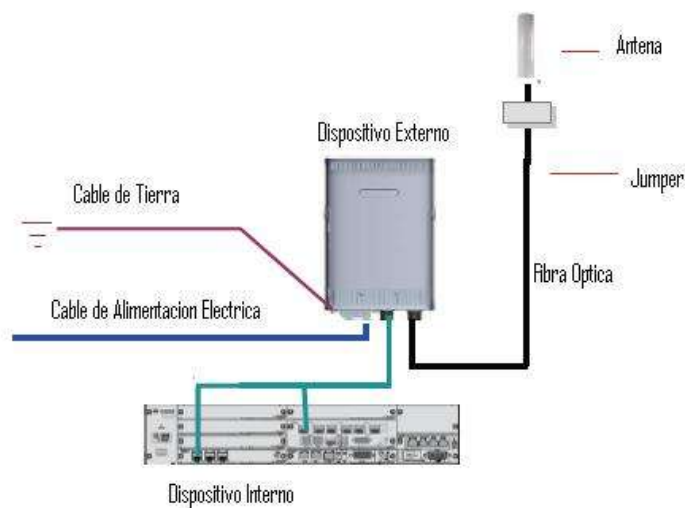
El equipo de procesamiento exterior (Huawei RRU3908), tendrá como función primordial recibir los niveles de señal que proporcionara la antena, luego transformarlos en señales eléctricas y enviarlos por medio de fibra óptica subterránea al equipo de procesamiento interior que se encontrara ubicado en el nodo central, por otro lado también recibirá las señales eléctricas provenientes del equipo de procesamiento interior y las enviara como niveles de energía hacia la antena para poder brindar la cobertura. El funcionamiento de dispositivo interno y dispositivo externo, ver figura 21, el dispositivo externo recibe y envía las señales de radio frecuencia de la antena.

El dispositivo externo también recibe y envía las señales eléctricas desde el dispositivo interno de procesamiento de señal, la comunicación entre estos dispositivos se hace por medio de diferentes tipos de fibra óptica. El dispositivo externo de funcionamiento también necesita un cable de alimentación eléctrica y un cable a tierra para poder funcionar además de la fibra óptica utilizada.

El *jumper* que se utiliza entre la fibra óptica y la antena, ver figura 21, es básicamente para lograr un acople con la impedancia de la antena y así no perder potencia. La comunicación entre el dispositivo interno y el dispositivo externo será por medio de fibra óptica subterránea que comunicara al farol con la central para llevar a cabo procesos complejos de procesamiento de señal.

La alimentación eléctrica del dispositivo externo de procesamiento será de 220 v de corriente alterna, con lo cual se podrá alimentar también al dispositivo de iluminación sin necesidad de hacer algún tipo de modificación.

Figura 21. **Dispositivos de procesamiento de señal**



Fuente: [http://enterprise.huawei.com/en/products/network/wireless/gsm-r/en\\_dbs3900.htm](http://enterprise.huawei.com/en/products/network/wireless/gsm-r/en_dbs3900.htm).

Consulta: febrero de 2013.

### 3.1.4. **Protección eléctrica**

Las causas más frecuentes en el daño del equipo de procesamiento de señal, provienen de una mala calidad de alimentación eléctrica la cual causa un daño progresivo en el sistema y con el paso del tiempo llega a arruinarlo. La calidad de señal eléctrica abarca aspectos básicos como: la señal ininterrumpida, la protección contra sobretensiones y sistema de puesta a tierra. Con una correcta planeación en la protección eléctrica del equipo se evitara n pérdidas a causa del deterioro de los mismos.

#### **3.1.4.1. Sistema de alimentación ininterrumpida**

Este tipo de dispositivos conocidos comúnmente como UPS (por sus siglas en inglés), tienen la capacidad de proporcionar una fuente de alimentación eléctrica en el momento en el que el sistema público de alimentación eléctrica falla, utilizando baterías recargables para almacenar la energía es capaz mantener dispositivos eléctricos en funcionamiento por un determinado lapso de tiempo. Este tipo de dispositivos poseen la capacidad de regular la alimentación eléctrica suprimiendo sobretensiones y picos de voltaje.

Durante un apagón un dispositivo SAI pueden proporcionar la energía necesaria para que los dispositivos de procesamiento de señal puedan funcionar sin ningún tipo de problema, los únicos dispositivos que consumen potencia eléctrica dentro del farol son los dispositivos RRU 3908, con un rango de potencia entre 820 – 1050 vatios.

El dispositivo necesario para la aplicación es un SAI de corriente alterna (pasivo), estará ubicado dentro de la zapata base protegido por una rejilla metálica. Características del equipo seleccionado:

- 1400 Volt-Amperio
- Corriente nominal 6,1 A
- Frecuencia 60/50 Hz
- Tiempo de respuesta 2 - 6 milisegundos
- Tiempo necesario para carga de baterías 8 horas
- Tiempo de protección aproximadamente 40 minutos

### **3.1.4.2. Electrodo químico**

El electrodo químico es una combinación entre conductores de cobre y sales electrolíticas que reducen la resistencia del suelo, su efectividad es tal que puede sustituir a una red de electrodos de cobre (varillas), ayuda a disipar sobretensiones y altas corrientes eléctricas. Dispositivo que se encargará de proteger al farol contra descargas eléctricas, estará ubicado junto a la zapata base.

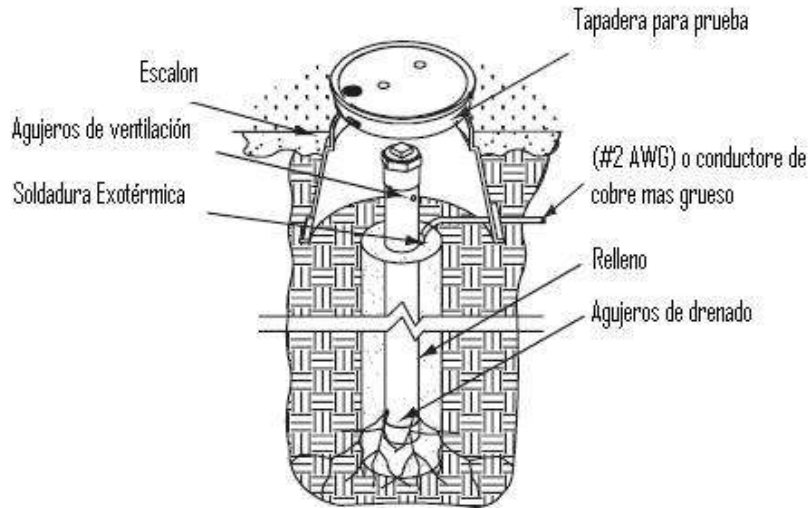
El poco espacio disponible alrededor del farol no permite la instalación de una red de varillas enterradas, sumado a eso la instalación de una red de varillas sería sumamente difícil tomando en cuenta de que se encuentra en una ciudad; el electrodo químico es una solución eficaz ya que proporciona la protección adecuada y práctica por lo sencillo de su instalación.

Los electrodos electrolíticos, ver figura 22, poseen ranuras de ventilación para el control de temperatura y humedad, son fabricados con dimensiones de 3 a 6 m de longitud y 54 mm de diámetro dentro de una pipa de cobre. Existen también electrodos electrolíticos en forma de L.

Es importante mencionar que el diseño propuesto puede sufrir ciertas modificaciones dependiendo del tipo de compañía que desee llevar a cabo este proyecto.

Estos cambios se deberán principalmente a propiedades de diferentes rangos de frecuencia, dispositivos a utilizar y posiblemente algún cambio pequeño en la estructura.

Figura 22. **Electrodo electrolítico**

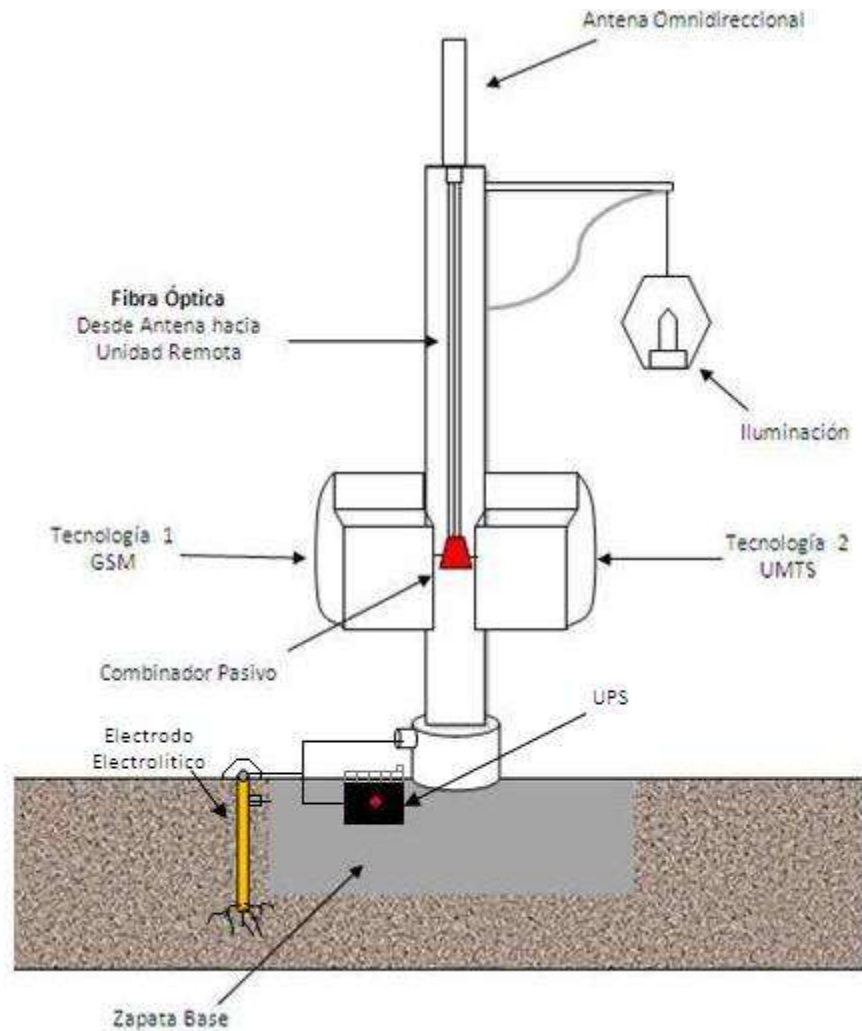


Fuente: *Standards and guidelines for communication sites, Motorola Inc. p. 18.*

En la solución se presenta el proyecto general y básico, ver figura 23; los dispositivos de procesamiento de señal exteriores irán montados en los basureros sellados con rejillas, ver figura 23, el combinador pasivo es el encargado de mezclar las señales tanto de GSM y de UMTS para que ambas se transmitan juntas hacia la antena pero trabajando a diferente frecuencia, este combinador no debe de tener ningún tipo de amplificación para no dañar las señales salientes hacia la antena. El *jumper* va montado dentro del basurero para no generar problemas de espacio en la parte superior de la antena, las dimensiones de la zapata base son 1,5 x 0,5 x 1,5 m la función principal de esta zapata es brindar el soporte necesario a toda la estructura.

La protección eléctrica del farol está compuesta por un electrodo electrolítico enterrado a un costado de la zapata base y un dispositivo UPS ubicado en la zapata base protegido con una rejilla. Las medidas de longitud y peso de cada dispositivo están ubicados en la tabla III.

Figura 23. Esquema del diseño del farol



Fuente: elaboración propia, en base a la ubicación de los dispositivos.

Factores como la magnitud del aire que sopla en la ciudad y la resistencia que la estructura presenta en contra del aire, no serán tomados en cuenta debido a que en la ciudad de Antigua Guatemala no se presentan vientos huracanados fuertes y la estructura del farol no tiene un área superficial muy grande.

Para transportar la fibra óptica dentro de la estructura se puede utilizar un canal o tubo para tener una mejor protección del mismo.

Tabla III. **Medidas y peso de componentes**

<b>Componente</b>	<b>Medidas</b>	<b>Peso</b>
Antena	Longitud 550 mm Diámetro 60 mm	2 kg
RRU 3908	Largo 485 mm Ancho 380 mm Profundo 170 mm	23 kg
UPS	Largo 145 mm Ancho 205 mm Profundo 405 mm	10 kg
Electrodo	Longitud 1,5 m Diámetro 54 mm	----
Fibra Óptica	3,5 m	----
Poste	Longitud 5 m Diámetro 20-30 cm	160 kg

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. **Diseño de red**

Luego de definir la estructura básica del farol, los dispositivos que van montados en el mismo y los medios para conectarlos, es momento de diseñar la red sobre la cual van a trabajar los faroles y podrán brindar señal de telefonía a la ciudad de Antigua Guatemala.

Cuando se habla del diseño de la red, se hace referencia básicamente a la cantidad de faroles a utilizar, la ubicación exacta de los mismos, la longitud y latitud de las posiciones globales, efectuar las simulaciones en software, etc.



Para contra restar la falta de un dispositivo sofisticado de posicionamiento global y el alto costo de una licencia de software para simulación de señales de radio frecuencia, se utiliza un sistema de posicionamiento a través de un celular con GPS el cual es capaz de dar una lectura más o menos exacta y para lograr tener una mejor precisión se utilizará el programa creado por la marca Google que se conoce como Google Earth el cual no requiere del pago de una licencia para poder ser utilizado y es una herramienta muy eficiente.

Para simular los niveles de señal de las antenas, hay que utilizar un programa que no requiere el pago de una licencia, el programa que se va a utilizar se conoce como *Radio Mobile*, el cual proporciona una herramienta muy útil para poder simular los niveles de señal.

Es importante mencionar que, *Radio Mobile* es una herramienta de software libre, es muy limitada en sus funciones y aplicaciones pero es un software muy práctico para simular los niveles de señal de radio frecuencia, radiados por diferentes tipos de antenas.

### **3.2.1. Ubicación de sitios**

Para la ubicación de los sitios se va a tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Priorizar áreas turísticas como iglesias, museos y parques
- Tomar como referencia que, cada farol tiene un rango de cobertura aproximado de 3 a 5 cuadras que equivalen aproximadamente a 300 metros.
- Los faroles tendrán que estar unidos como grupo, debido al constante movimiento de los usuarios.

- Como preferencia ubicar sitios en los que existan actualmente faroles convencionales.

Tomando en cuenta estos criterios se procede a buscar los sitios que brinden una mejor cobertura hacia los usuarios, de nada serviría llenar la ciudad de faroles, si no se cumple con el objetivo principal de este proyecto que es proporcionar una alternativa para las empresas de telefonía, para que puedan mejorar su señal de cobertura. En la ubicación de los sitios, no se va a tomar en cuenta posibles restricciones que las diferentes autoridades puedan tener sobre la ciudad.

#### **3.2.1.1. Longitud y latitud**

Una vez presentados los criterios a utilizar en el procedimiento de selección de sitios, se procede a ubicar los sitios con el dispositivo móvil utilizando la herramienta de GPS, dado a la falta de exactitud que este posee, luego de ubicar los sitios con el dispositivo se ubican en la herramienta de Google Earth, para obtener un dato más preciso de la longitud y latitud de estos sitios.

Los valores de latitud y longitud para cada sitio, tabulados en la tabla IV, serán utilizados en el software de simulación para poder obtener los niveles de señales sobre la ciudad.

El objetivo principal de estos valores (longitud y latitud) y de utilizar 10 sitios, es ejemplificar la viabilidad de este proyecto, pero esto no quiere decir que obligatoriamente la empresa que adopte este modelo, tenga que ubicar los sitios exactamente donde se han propuesto, en los criterios de ubicación de sitios utilizados, se ha dado prioridad a brindar una mejor cobertura al usuario.

Tabla IV. **Longitud y latitud de sitios**

<b># de Farol</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	14° 33' 26,49" N	90° 43' 42,48" O
2	14° 33' 5,58" N	90° 43' 43,01" O
3	14° 33' 19,36" N	90° 43' 46,62" O
4	14° 33' 33,69" N	90° 43' 46,47" O
5	14° 33' 46,35" N	90° 43' 46,17" O
6	14° 33' 26,17" N	90° 43' 58,83" O
7	14° 33' 33,36" N	90° 44' 2,77" O
8	14° 33' 18,93" N	90° 44' 2,81" O
9	14° 33' 18,62" N	90° 44' 16,32" O
10	14° 33' 33,30" N	90° 44' 15,71" O

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.2. Simulaciones en software**

El diseño y la selección de los diferente dispositivos a utilizar, se fundamentan al momento de obtener valores en las simulaciones que justifiquen con buenos resultados las decisiones tomadas en el diseño del sistema y la selección de los dispositivos. La simulación le da un toque más realista a todo el proyecto brindando un panorama de los valores esperados del sistema, una buena base para decidir si se lleva a cabo o no el proyecto podría partir de las simulaciones.

#### **3.2.2.1. Localización de sitios en Google Earth**

Luego de obtener los valores de latitud y longitud de los sitios, estas coordenadas geográficas permiten tener una medición muy exacta y serán de mucha utilidad para las simulaciones.

Para una mejor proyección sobre los sitios, se ingresan las coordenadas en la herramienta de Google Earth, ver figura 24, que permite ubicar y señalar los sitios.

También es una herramienta útil para medir las distancias entre los sitios, ubicar lugares turísticos como parques e iglesias, esto con el fin de respetar los criterios de ubicación de sitios.

Figura 24. **Ubicación con Google Earth**



Fuente: elaboración propia, en base a los sitios ubicados en Google Earth.

En la figura 24, se ubican los puntos obtenidos de los sitios y se señalizan con un número para diferenciar el uno con el otro, el aspecto realista que brinda esta herramienta la solución es por demás admirable, en ella se puede ver las áreas boscosas de la ciudad, el trazado de la ciudad, el relieve de las construcciones, etc.

En la figura 24, el farol número 5 no se encuentra ubicado. El motivo por el cual este farol no aparece en la proyección es que se decidió presentar el gráfico de esta forma, para no aumentar el tamaño y que se dificulte mas diferenciar la ubicación de los demás faroles, pero ya ubicados en la herramienta, moviendo el navegador hacia la parte superior podrá observar la ubicación del farol 5 (14° 33' 46,35" N; 90° 43' 46,17" O).

Luego de definir el diseño del farol, de presentar los dispositivos necesarios para su funcionamiento, de ubicar los lugares donde los mismos podrían ser instalados; se ha llegado a un punto crítico en la propuesta, el cual es calcular los niveles de señal aproximados. Los niveles de señal definirán que tan viable es el proyecto, ya que todo lo demás habrá sido en vano si no se puede proporcionar una buena cobertura a los clientes.

### **3.2.2.2. Niveles de señal en *Radio Mobile***

El objetivo principal de esta sección es poder simular los niveles de señal radiados por el farol, específicamente por la antena, para lograr esta simulación es necesario utilizar una herramienta de software, en este caso se va utilizar el programa *Radio Mobile*, este software se caracteriza por ser de tipo didáctico, motivo por el cual no tienen ningún costo el poder utilizarlo pero lamentablemente no es muy potente ni muy exacto.

*Radio Mobile*, es un programa muy versátil, en él se lleva a cabo las simulaciones de señal, obtiene datos de las ubicaciones geográficas de todo el mundo y tiene la capacidad de variar los parámetros de la antena para poder compararla con la real.

Para que el programa funcione se debe de tener una conexión a internet, esta conexión es totalmente necesaria ya que los datos de todos los lugares del mundo se descargan de la red, los datos provienen de lo que se conoce como la misión topográfica de radar a bordo del transportador, siendo sus siglas en ingles SRTM que es una misión para obtener las elevación del globo terráqueo.

Para utilizar el programa primero se debe de crear una red o redes según sea el caso, en el proyecto únicamente se utiliza una red y se define la cantidad de unidades por red, para el cual se utilizaran 10 faroles, luego se definen parámetros como tipo de clima, conductividad y permitividad del suelo, frecuencia mínima y máxima, ver figura 25. El nombre de la red será Red de Antigua Guatemala, todo esto se puede modificar en la pestaña parámetros.

En lo que al clima se refiere se selecciona la opción continental templado, por las características de Guatemala y específicamente el clima de Antigua Guatemala, que por el hecho de estar a 1 530 m sobre el nivel del mar posee un clima templado.

El rango de frecuencias que se utiliza esta entre 950 y 1 050 MHz, escogido por no pertenecer al rango de frecuencias utilizadas por las empresas de telefonía en Guatemala pero si estar cercano al rango real utilizado, según la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala (SIT).

El siguiente paso es ubicar las unidades o faroles, se selecciona en el programa la opción propiedades de las unidades, luego ingresar las unidades de ubicación de cada farol, longitud y latitud ver tabla IV. En este caso se ejemplifica la ubicación del farol 1, ver figura 26.

Figura 25. **Parámetros de red I**

Parámetros por defecto Copiar Red Pegar Red Cancelar OK

**Parámetros** Topología Miembros Sistemas Estilo

Nombre de la red: Red Antigua Guatemala

Frecuencia mínima (MHz): 950

Frecuencia máxima (MHz): 1050

Refractividad de la superficie (Unidades-N): 301

Conductividad del suelo (S/m): 0.005

Permittividad relativa al suelo: 15

Polarización:  Vertical  Horizontal

Modo estadístico:  Intento  Accidental  Móvil  Difusión

% de tiempo: 50

% de ubicaciones: 50

% de situaciones: 70

Clima:  Ecuatorial  Continental sub-tropical  Marítimo sub-tropical  Desierto  Continental templado  Marítimo templado sobre la tierra  Marítimo templado sobre el mar

Fuente: elaboración propia, en base a los requisitos de *Radio Mobile*.

Figura 26. **Parámetros de red II**

Latitud: 14 ° 33 ' 26,49 " N

Longitud: 90 ° 43 ' 42,48 " O

Latitud: 14,55736

Longitud: -90,72847

QRA: EK44PN

OK Cancelar

Fuente: elaboración propia, en base a los requisitos de *Radio Mobile*.

Es necesario hacer este procedimiento para cada farol, ingresando la ubicación de cada uno, es importante tomar en cuenta de que el valor de Latitud debe de estar en el norte y el valor de longitud debe de estar en el oeste, las demás casillas se llenan automáticamente.

Ahora se necesita la ubicación del mapa, para lograr extraer el mapa se ingresa a la opción propiedades del mapa y luego la longitud y latitud de cualquier unidad, con un enfoque de 1 km (altura). Sobre este mismo mapa se puede montar imágenes de mapas reales exportados desde Google Maps, que es otra herramienta versátil de Google, el mapa original únicamente brindará parámetros de altura que en este caso son muy necesarios.

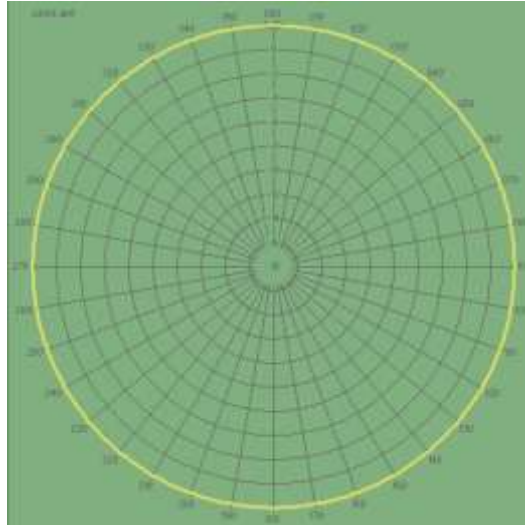
La exportación de los mapas se logra con la opción combinar imágenes con el botón de acceso rápido F7, se proyecta un menú en el cual se selecciona la opción Google Maps y luego de esto seleccionar fotografía, de esta forma se logra el montaje de las imágenes fotográficas del lugar para proceder a la simulación.

En la simulación de señal se utiliza la herramienta, cobertura de radio polar, el siguiente paso es seleccionar el tipo de antena a utilizar, que en este caso es una antena omnidireccional, ver figura 27, en la cual se aprecia el patrón de radiación horizontal de la antena, una de las grandes limitantes de esta forma de simulación es que los parámetros de la antena no pueden ser modificados para adaptarlos exactamente a la antena a utilizar.

Otro factor que es muy importante es la altura del farol, cuando se define la altura de las unidades se puede jugar un poco con la altura del farol, no se hace énfasis a este parámetro ya que puede ser sujeto a restricciones de parte de los entes protectores de Antigua Guatemala.



Figura 27. **Parámetros de red III**



Fuente: elaboración propia, en base a los parámetros de antena simulados.

Luego se obtiene la simulación, ver figura 28, en este se presenta solo la del farol 1, en la imagen se observa todo el contorno de la ciudad de Antigua Guatemala y el nivel de señal que proporciona la antena, en la que cada nivel se distribuye por colores, ver tabla V, en la imagen existen ciertos lugares en los que el nivel de señal es medio pero la mayoría de lugares que cubre la antena están en niveles muy altos de cobertura.

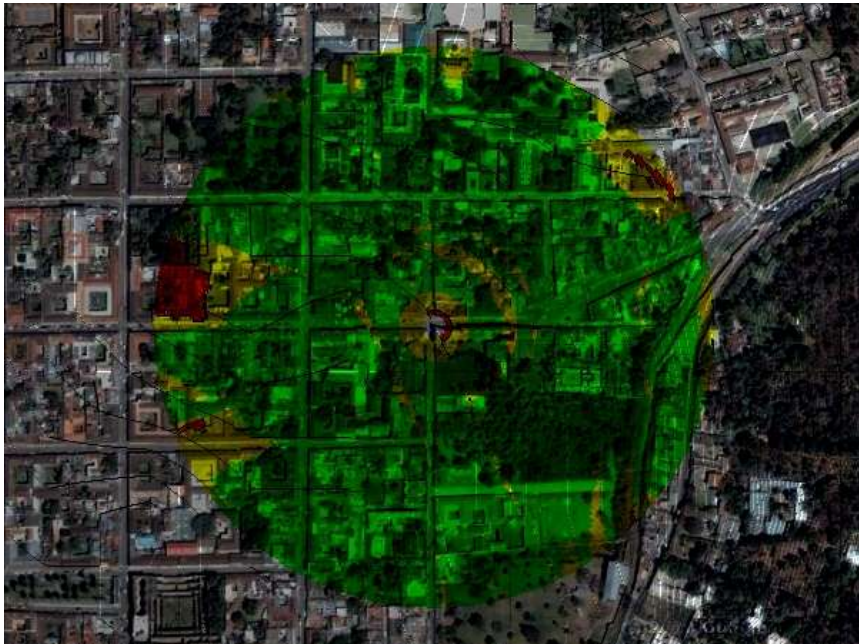
Tabla V. **Colores y niveles de señal**

<b>Nivel de señal (Decibeles)</b>	<b>Color</b>
Menor a -3	Rojo
0	Amarillo
Mayor o igual a 3	Verde

Fuente: elaboración propia.

En la mayoría de sectores que cubre el farol 1 el color que el software atribuye es el verde, en el cual se tiene una señal óptima, en el color amarillo el nivel de señal será un poco menor al del verde pero se puede considerar un nivel bueno o moderado, en el color rojo prácticamente se habrá perdido la mitad del nivel de señal o en algunos casos toda la señal.

Figura 28. **Nivel de señal farol 1**



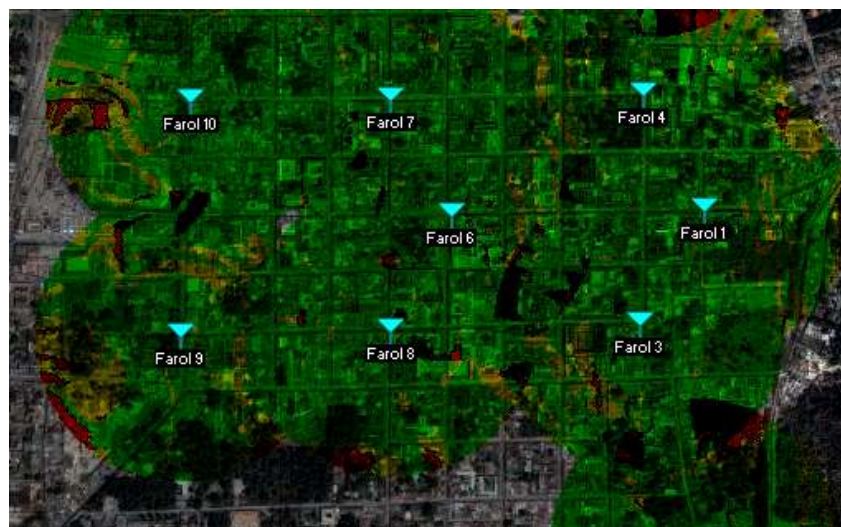
Fuente: elaboración propia, en base a la simulación de 1 antena.

Una de las razones por las cuales se propone este modelo es la limitante que existe en toda la ciudad de no construir hasta cierta altura, esto en la solución se vuelve una ventaja ya que al no existir grandes rascacielos en la ciudad, la antena del farol puede brindar la cobertura como que si se tratara de un terreno vacío.

Es importante tomar en cuenta que estos niveles de señal, son única y exclusivamente del rango de frecuencias utilizado en las simulaciones, este nivel de señal puede variar leve o drásticamente según sea el valor. Luego de observar en la última figura como el farol 1, se abarco un terreno de cobertura muy bueno, es momento de agregar más faroles a la proyección y determinar si en realidad el conjunto de faroles logrará proporcionar una cobertura a toda la ciudad.

En la proyección de señal de los 10 faroles, ver figura 29, se brinda una señal de telefonía y datos muy buena a la mayoría de la ciudad de Antigua Guatemala, lo importante en la solución era ubicar lugares estratégicos y lograr de alguna manera u otra proporcionar altos niveles de señal, estos lugares estratégicos en su mayoría están ubicados en el centro de la ciudad, en los cuales exitosamente se alcanzaron altos niveles de señal con la solución. Para los lugares de la ciudad que están un poco alejados del centro, es posible proporcionar señal de telefonía ubicando un sitio celda en algún cerro cercano.

Figura 29. **Nivel de señal completo**



Fuente: elaboración propia, en base a la simulación de la red completa.



## **4. IMPACTO ECONÓMICO**

El éxito de una solución de ingeniería es que sea eficiente y económica, dicho de otra forma que se logren los mejores resultados con poca inversión; el fin de cualquier actividad comercial (servicio de telefonía en este caso) es lograr obtener las mejores ganancias, el equipo de ingeniería a cargo debe de estar consciente de este principio. El ingeniero como tal no es capacitado para ser un experto en finanzas pero si puede ofrecer una variedad de propuestas.

Otro aspecto muy importante para las organizaciones de servicios de telefonía es el lapso de tiempo que le tomará recuperar su inversión, este estudio se torna complicado por el hecho de que todas tienen diferentes tarifas y las mismas son muy variantes.

El ingeniero encargado de llevar a cabo un proyecto, debe de proponer distintas soluciones a una junta directiva para poderse comunicar de mejor forma, con personas que no conocen mucho de ingeniería debe de capacitarse en el lenguaje económico y sus distintas herramientas; puede darse el caso de que la solución sea muy buena pero los directivos lo la entiendan del todo.

### **4.1. Tráfico telefónico**

El análisis del tráfico telefónico, también conocido como teletráfico, es un compromiso entre la cantidad de recursos disponibles pero no utilizados por los usuarios, y la misma cantidad de recursos cuando todos los usuarios los soliciten, manteniendo al mínimo la cantidad de sesiones perdidas.

En una red de servicio telefónico se cuenta con cierta cantidad de recursos los cuales se ponen a disposición de los abonados, el problema surge cuando se desperdician estos recursos o no se cuentan con los suficientes.

Cuando se habla de recursos, se hace mención a los canales disponibles que posee una empresa telefónica; cuando una red se encuentra sobredimensionada se cuenta con demasiados canales para una escasa cantidad de clientes y cuando una red se encuentra subestimada la cantidad de clientes excede a la cantidad de canales disponibles, en el primer caso se están desperdiciando recursos (dinero) y en el segundo se brinda un mal servicio (pérdida de llamadas, sin servicio de datos, etc).

Para proporcionar los recursos necesarios a cierta cantidad de clientes se necesita planificar; es preciso tomar en cuenta ciertos aspectos para poder elaborar un buen plan entre los cuales podemos mencionar la ubicación geográfica, densidad poblacional, tipo de red, etc. Un plan mal elaborado siempre se traducirá en pérdidas para la organización; por un lado se invertirá demasiado dinero para tan poca demanda y por otro lado se tendrá una red congestionada con caídas de llamadas frecuentes.

#### **4.1.1. Unidad de media**

La unidad de intensidad de tráfico se denomina Erlang, cuyo símbolo es E. Un erlang es la intensidad de tráfico en un conjunto de medios, cuando sólo uno de ellos está ocupado de manera continua. Cuando el tráfico es de un (1) erlang significa que el elemento de red está totalmente ocupado durante el tiempo de medición, normalmente una hora.

Si una línea está ocupada durante una hora entonces cursa un tráfico de 3600 llamadas-segundos que a 36 llamadas de 100 segundos de duración cada una, o a cualquier combinación que resulte en 3600 llamadas-segundo. A parte del Erlang, también se usa el CCS (Centi-CallSeconds) como unidad de tráfico.

1 CCS equivale a una llamada con duración de cien segundos, de esta forma el tráfico en una línea ocupada totalmente durante una hora es de 36 CCS, por lo tanto:

$$1 \text{ erlang} = 36 \text{ CCS}$$

De esta forma si tiene el tráfico en CCS, se divide por 36 para obtener los erlang respectivos. Si por el contrario, el tráfico está en erlang se multiplica por 36 para cambiar a CCS. La unidad más utilizada es el erlang aunque existe una variedad de unidades de tráfico.

#### **4.1.2. Tipos de tráfico**

El tráfico en telecomunicaciones como tal, es un concepto muy complejo y extendido; prácticamente se resumen en:

- Tráfico ofrecido: tráfico que podría cursar una cantidad muy grande de elementos de red; es el tráfico que cursaría si no hubiese llamadas perdidas.
- Tráfico cursado: es el tráfico atendido por un grupo de elementos de la red.

- Tráfico de desbordamiento: la parte del tráfico ofrecida a un conjunto de elementos de red que no es cursada por dicho conjunto de órganos.
- Tráfico bloqueado: la parte del tráfico de desbordamiento que no es cursada por conjuntos subsiguientes de órganos.
- Tráfico rechazado o perdido: la parte de tráfico bloqueado que no resulta en reintentos de llamada; es la diferencia entre el tráfico ofrecido y el tráfico cursado y se puede reducir aumentando la capacidad del sistema.

El tráfico ofrecido es un concepto teórico, utilizado sólo para propósitos de planificación teórica. Sólo el tráfico cursado es una medida práctica y depende de la capacidad de la red o sistema; desde el punto de vista económico, la capacidad de la red siempre es menor que el tráfico ofrecido, se debe al carácter aleatorio de las comunicaciones lo que produce que en condiciones normales de funcionamiento sólo un porcentaje de los usuarios solicitan recursos de la red.

El tráfico ofrecido depende de dos factores importantes:

- La tasa de llegada de sesiones de comunicaciones  $Q$  [sesiones/s, sesión/min, sesión/hr].
- La duración promedio de cada sesión  $\mu$  [segundos o minutos].

Esto se aplica por igual para llamadas de voz o para aplicaciones de datos. Si  $Q$  se expresa en sesión/minuto y  $\mu$  en minutos, el tráfico promedio en erlang viene dado por:



$$A = \mu Q$$

En una red llegan 10 llamadas por minuto y cada una dura en promedio tres minutos, entonces el tráfico promedio ofrecido a la red es de 30 erlang.

Cuando se atiende una llamada un elemento se ocupa, las próximas llamadas son desbordadas a otros elementos, entonces se produce el tráfico desbordado. Cuando todos los elementos están ocupados las siguientes llamadas se bloquean; una cierta cantidad de llamadas bloqueadas son reintentadas, las que no lo sean se consideran como rechazadas.

#### **4.1.3. Duración de llamadas**

Un valor muy importante en las redes de telefonía, específicamente en el tráfico de voz, es la duración de las llamadas. La duración de cada llamada que se conecta en la red de telefonía tiene un carácter aleatorio, es difícil predecir cuantos segundos, minutos e incluso horas puede hablar un usuario; la relevancia de este valor a obligado a investigar más acerca de cuanto hablan en promedio las personas.

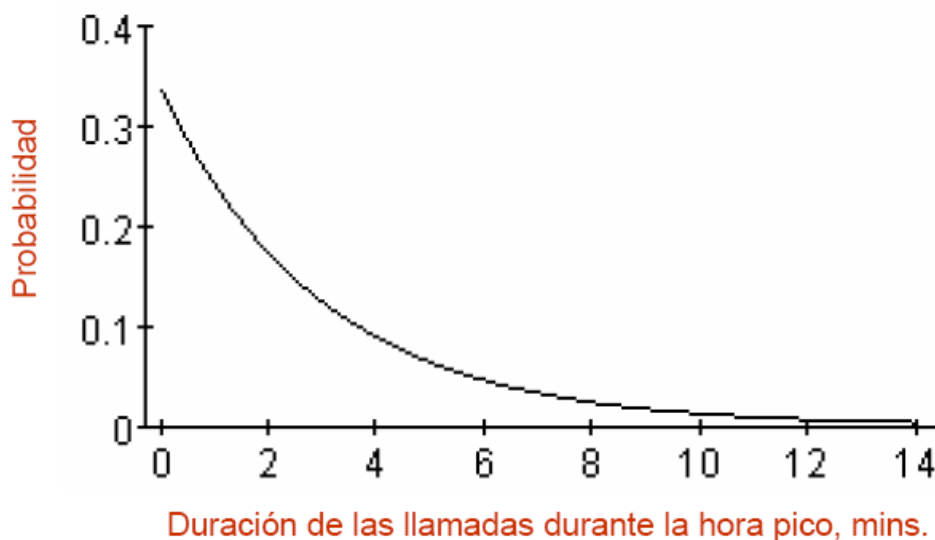
El estudio de tráfico de telefonía establece que no se puede definir exactamente la duración de una llamada sin embargo obedece a una distribución exponencial negativa de la cual se puede obtener una probabilidad de la duración de la llamada; dicho de otro modo una llamada de “x” duración tiene una probabilidad de “y” en donde la media y la varianza son iguales a  $\mu$ .

La distribución exponencial negativa establece que la cantidad de llamadas de duración “x” viene dada por:

$$P(X = x) = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}$$

La probabilidad de que la duración de llamadas sea  $x$ , viene dada por  $P(X=x)$ . Con la gráfica de distribución exponencial con media  $\mu = 3$  minutos, ver figura 30.

Figura 30. **Distribución exponencial negativa**



Fuente: MARCANO, Diógenes. Tráfico en redes de telecomunicaciones.  
<http://www.atelasesores.com.ve/>. Consulta: 15 de febrero de 2013.

En este caso se presenta la densidad de distribución de probabilidad de la distribución exponencial en función de la duración de las llamadas o sesiones de comunicación.

El valor máximo se obtiene para  $x = 0$ , y es el inverso de la media; las llamadas de corta duración son más frecuentes que las llamadas de larga duración.

#### 4.1.3.1. Grado de servicio

Atributo de calidad de servicio usado en las comunicaciones telefónicas en particular, en general en los servicios basados en conmutación de circuitos, se refiere a la probabilidad de bloqueo en el primer intento de una llamada, se expresa como “Px” donde x es menor que 1 y representa la probabilidad de bloqueo; “P.01” significa que existe un 1% de probabilidad de bloqueo en la hora pico.

Mientras más bajo es el valor de grado de servicio menor es la probabilidad de bloqueo y por supuesto mejor el desempeño de la red. La mayoría de las redes de telefonía fija se diseñan para “P.01” y las redes celulares para “P.02”.

El bloqueo ocurre cuando estando todos los recursos ocupados, se trata de hacer una llamada la cual no puede ser atendida por la red. Cuando todas las líneas conectadas entre los nodos de la red están ocupadas también ocurre el bloqueo, si se trata de hacer una llamada a un abonado de otra central.

No es necesario incluir equipos de conmutación y líneas para manejar simultáneamente todas las solicitudes hechas por todos los usuarios conectados a la red, ya que en condiciones normales sólo un pequeño porcentaje del tráfico es demandando en la red.

Entonces en el diseño debe haber una situación de compromiso entre la calidad de servicio y el costo asociado a los elementos de la red. En el caso de las redes celulares la probabilidad de bloqueo incluye tanto los que están entrando a un sector de la BTS como los que están haciendo el *handoff*.

#### **4.1.4. Teoría de colas**

Tiene como objeto estudiar el problema que se presenta cuando se tiene un centro de servicio con una capacidad limitada, y un conjunto de clientes, a ser servidos, quienes llegan en forma aleatoria al centro de servicios, cuando éste está saturado el próximo cliente se envía a una lista de espera. La solución al problema consiste en dimensionar la capacidad del centro de servicios y el tamaño de la lista de espera. Se pueden identificar tres elementos principales; el centro de servicios, la cantidad de clientes y la cola de espera.

La teoría de colas es una rama de las probabilidades aplicadas; su campo de aplicación es muy extenso (redes de telecomunicaciones, sistemas de computadores, control de tráfico vial, etc.).

Está basada en modelos estadísticos para determinar el patrón de llegada de los clientes al centro de servicios y la duración promedio de cada uno en ser atendido. La formación de colas es una manifestación clara de que el sistema no tiene capacidad para servir a todos los usuarios que pertenecen al sistema. Sin embargo, diseñar los sistemas para satisfacer todos sus usuarios generalmente resulta muy costoso, por lo que se debe establecer un compromiso entre la capacidad del sistema, la cantidad de usuarios y los lapsos de espera para obtener el servicio.

La teoría de colas debe dar parámetros claves como:

- El tiempo promedio en la cola de espera
- El tiempo de respuesta del servicio (tiempo de espera + obtención del servicio).
- Distribución de clientes en las colas

- Prioridad, si existiese alguna en las colas de espera

#### 4.1.4.1. Modelos de teoría de colas

Los modelos de teoría de colas pueden distinguirse por la manera en como tratan cada una a los clientes y se identifican por la notación Kendall: A/B/S/K.

- A: comportamiento de llegada de los clientes. Si  $A = M$  es un proceso de Poisson.
- B: distribución de la duración del tiempo de servicio. M si es exponencial, D si es determinántica y G para una distribución general.
- S: cantidad de servidores
- K: capacidad máxima de clientes entre los servidores y la cola de espera

La cola se produce porque la cantidad de servidores es insuficiente para servir a todos los clientes que llegan, la prioridad en la cola obedece a cuatro modalidades:

- **FIFO** (*first in first out*) – sin prioridad
- **LIFO** (*last in firstout*) – cuando un cliente termina su trabajo, se da paso al último de la cola.
- **SJR** (*short jobfirst*) – prioridad a los servicios que duran menos
- **RR** (*round robin*) – a cada cliente se le asigna un tiempo fijo para realizar su tarea en forma cíclica.

#### **4.1.5. Modelo de tráfico**

Los modelos de tráfico de telefonía están basados en la teoría de colas, cada modelo se adapta a los distintos comportamientos que dependen de la tasa de llegada de sesiones, la duración de cada servicio y el grado de servicio; para la elaboración de un plan es necesario escoger un modelo de tráfico, no existe ningún modelo que se ajuste exactamente a la realidad pero se debe escoger uno que se adapte a la situación estudiada. Los modelos más usados son:

- Erlang B
- Extended Erlang B
- Erlang C

Todos los modelos suponen un patrón de llegada de llamadas aleatorio y la duración según una distribución exponencial negativa; también considera que la cantidad de fuentes que pueden originar una llamada es infinita. El modelo Erlang B no toma en cuenta reintento de llamadas, únicamente se limita a calcular el número de líneas necesarias para cubrir cierto tráfico con un valor establecido de probabilidad de pérdida de llamada.

##### **4.1.5.1. Modelo Erlang B**

Conociendo el tráfico y la cantidad de líneas disponibles, este modelo calcula la probabilidad ( $P_b$ ) de que una llamada en su primer intento sea bloqueada; según la notación Kendall M/M/M/M proceso de Poisson y distribución de duración de llamada en forma exponencial ( $A=M$ ,  $B=M$ ); está basado en las siguientes premisas:

- La cantidad de usuarios es muy grande
- Las llamadas llegan en forma aleatoria de acuerdo a una distribución de Poisson (ver anexo).
- Las llamadas se atienden según el orden de llegada
- Las llamadas bloqueadas se pierden, no existe lista de espera
- El tiempo de duración de las llamadas sigue una distribución exponencial.

Ecuación de probabilidad de modelo Erlang B:

$$P_B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Dónde:

A: es el tráfico en erlang durante la hora pico

N: cantidad de líneas del sistema

El modelo Erlang B ha sido ampliamente usado en el diseño de redes y sus resultados se encuentran tabulados; dichas tablas están diseñadas de manera que conociendo el tráfico en erlangs, el grado de servicio o la probabilidad de bloqueo se pueda obtener la cantidad de líneas mínima para cursar el tráfico.

#### **4.1.6. Datos Antigua Guatemala**

Previo al cálculo de líneas troncales es necesaria la información del comportamiento del tráfico en la ciudad (Antigua Guatemala); en el campo de la telefonía se suele separar las mediciones entre lapsos de tiempo de semanas para no saturar los servidores con demasiada información y tener un rango considerable de tiempo. La clasificación del tipo de tráfico se divide en cuatro categorías:

- Tráfico de voz 2G
- Tráfico de voz 3G
- Tráfico de datos 2G
- Tráfico de datos 3G

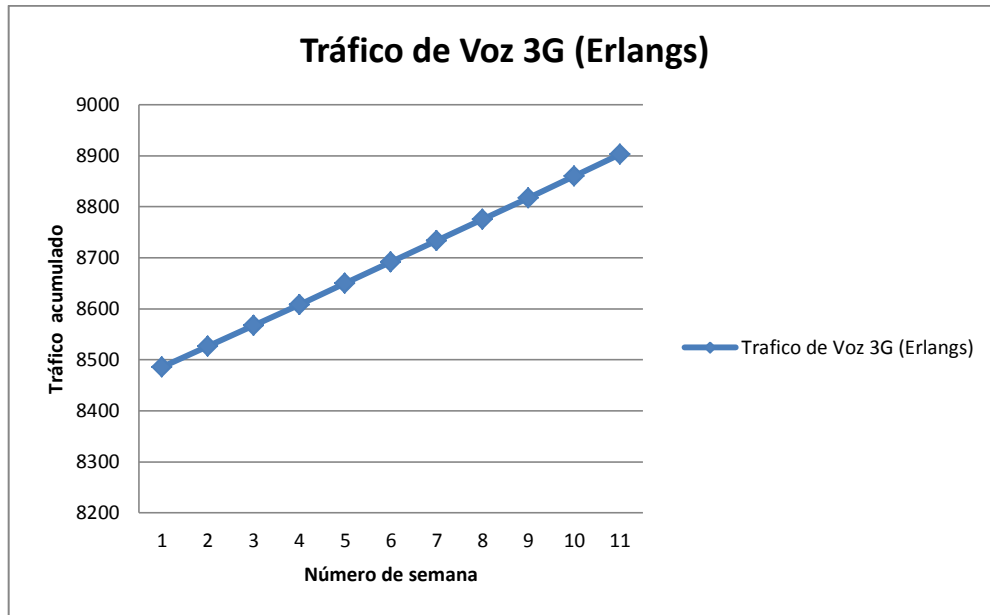
Para el tráfico de voz la medida de referencia es el erlang y para el tráfico de datos se utiliza el Gigabyte, el comportamiento del tráfico de llamadas de las últimas 11 semanas del año 2012, ver figura 31.

Tiene un crecimiento semanal del 0,481% por ciento; es necesario el cálculo de cuantos enlaces troncales o líneas son necesarias para brindar un servicio de calidad y siempre tener un excedente debido al crecimiento poblacional de la ciudad.

El valor de tráfico utilizado es tomado en referencia a la hora con más intentos de llamadas durante el día, para el cálculo de líneas es necesario que este valor sea lo más preciso posible y de esta manera obtener un valor exacto de lo que es necesario; con un valor muy alto desperdiciará recursos que sean difíciles de recuperar y un valor muy pequeño dejará sin servicio a parte de la población.



Figura 31. Tráfico de voz 3G en Antigua Guatemala



Fuente: elaboración propia, en base a los datos del tráfico de llamadas.

Con una población de 44 097 habitantes que la última semana del año 2012 consumieron una cantidad de recurso telefónico de 42,62 erlangs, ver tablas VI y VII.

El grado de servicio de una llamada bloqueada de 100 intentos, como referencia en el modelo de la ciudad; según la Universidad de Las Américas de Puebla, los días lunes a las 15:00 horas es cuando hay más demanda de recurso telefónico, la cercanía de un país con otro (México y Guatemala) y las similitudes culturales son un buen punto de referencia para validar esta información.

Tabla VI. **Datos de tráfico 3G en Antigua Guatemala**

<b>Año</b>	<b>2012</b>					
<b>Semana</b>	42	43	44	45	46	47
Tráfico de voz 3G (Erlangs)	8485,209	8526,02286	8567,03303	8608,24045	8649,64609	8691,25089

Fuente: Claro, Guatemala.

Tabla VII. **Datos de tráfico 3G en Antigua Guatemala (continuación)**

<b>Año</b>	<b>2012</b>				
<b>Semana</b>	48	49	50	51	52
Tráfico de voz 3G (Erlangs)	8733,05581	8775,0618	8817,26985	8859,68092	8902,29598

Fuente: Claro, Guatemala.

El valor de consumo semanal y los porcentajes de consumo máximos obtenidos el día lunes dejan un valor de tráfico para la hora más congestionada de 5,552 erlangs para las 15:00 horas.

Mediante las herramientas ubicadas en la red para el cálculo de líneas se obtiene el siguiente resultado, ver figura 32.

Es necesario el uso de 12 líneas de recurso telefónico para la ciudad de Antigua Guatemala y su consumo telefónico. Los datos completos del tráfico consumido en la ciudad para voz 2G, datos 2G y datos 3G (ver apéndice), son menos significativos pero igual de importantes.

Figura 32. **Cálculo de líneas modelo Erlang B**

BHT (Erl.)	Blocking	Lines
<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input checked="" type="radio"/> Unknown
5.552	0.010	12
Calc.	Results	Help

Fuente: <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>. Consulta: febrero de 2013.

#### 4.2. **Planta externa**

Hace referencia a toda la instalación ya sea subterránea o aérea de fibra óptica, integrada por cables, postes, herrajes, gabinetes, cámaras subterráneas, equipos y productos que permiten interconectar la red hasta llegar al destino. La interconexión de la red de Antigua Guatemala se basa en conexión por medio de cable de fibra óptica subterránea, cada farol debe de estar en comunicación con los demás faroles y la central.

Existe una gran cantidad de normas y estándares que rigen los protocolos de instalación de fibra óptica; entre las organizaciones que crean los estándares más utilizados se mencionan Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) y la Asociación para la Industria de las telecomunicaciones (TIA, por sus siglas en inglés). Entre los criterios más importantes de diseño están:

- Evaluación de necesidades
- Requisitos de transmisión

- Autorización de entes locales y servicios públicos
- Cumplimiento de normas de seguridad
- Selección de ruta y bosquejo de diseño.
- Tipo de cable de fibra óptica

El elemento que divide el fin de la planta interna y el inicio de la planta externa se conoce como ODF (organizador de fibra óptica), la función de este equipo es organizar los conectores y los empalmes que se realizan en el cable de fibra óptica.

#### **4.2.1. Planeación de ruta**

La interconexión de los faroles por medio de fibra óptica conlleva una planeación de ruta con el objetivo de definir el camino en el cual se instalará la fibra óptica; es difícil planear de forma exacta y precisa debido a factores externos que pueden afectar la instalación de la fibra óptica o su funcionamiento, pueden surgir problemas con la municipalidad local o con alguna empresa que brinde algún servicio y utilice el subsuelo. Por otro lado existe cierto peligro al llevar a cabo la instalación de la fibra óptica por el motivo de que se puede encontrar con algún suministro de gas natural o petróleo.

Los factores más importantes a considerar en la planeación de la ruta son la seguridad en el trabajo, ubicación, topografía, restricciones locales, costo, infraestructura existente, pedestales, gabinetes, bóvedas y las zanjas.

Cada diseño de planta externa implica cierto grado de complejidad que en el caso de la ciudad de Antigua Guatemala, tomando en cuenta que la fibra óptica deberá ser instalada dentro de la ciudad el grado de complejidad sería muy alto.

Antes de la elaboración del plan de ruta es necesario establecer la estación central en la cual se encontrara el organizador de fibra óptica y la línea principal encargada de proporcionar los recursos a los faroles; prácticamente la estación central puede ser ubicada en cualquier lugar pero una forma eficaz de ubicarla seria en el centro de toda la red, para la red de faroles de Antigua Guatemala se ubica la estación central a un costado del farol No. 6 por estar prácticamente en el centro de los demás faroles. En la ubicación de la estación central, se debe de contar con un lugar amplio, ventilado y con seguridad; se albergara los *routers* y los *switches* que sean necesarios para la conexión de los faroles con la central de la empresa.

El lugar de la estación central puede ser adquirido por medio de un alquiler o una compra en cualquiera de las dos formas la ubicación debe de ser lo más cercano posible al farol No. 6 o central a los demás faroles, esto con el fin de ahorrar recursos en la instalación de la planta externa; encontrar una ubicación cercana a la 4ta. Calle Poniente y 4ta. Avenida Norte sería una correcta situación para la planificación de la ruta.

#### **4.2.1.1. Topologías básicas de red**

Una red está formada por la interconexión de dos o más dispositivos entre sí, la conexión puede ser por medio de cables o inalámbrica; la topología de red tiene dos direcciones relacionadas entre sí aunque conceptualmente opuestas; por un lado la topología física, relaciona a los dispositivos entre sí por medio de interconexiones físicas (cables o inalámbricas) y ubicación de los dispositivos; la topología lógica, es un concepto superior que va más allá de la conexión física, relaciona dispositivos entre sí por medio de protocolos (idiomas) si dos dispositivos no trabajan con el mismo protocolo, la interconexión física no será suficiente para lograr la comunicación.

Dos o más dispositivos pueden estar lógicamente interconectados pero físicamente no, este es uno de los grandes logros de redes como internet, los dispositivos se interconectan por medio de enlaces virtuales utilizando los protocolos adecuados restando importancia a que físicamente no están directamente conectados.

Por otro lado dos o más dispositivos físicamente conectados, pueden estar lógicamente separados y estos nunca lograrán comunicarse entre sí, porque no utilizan los mismos protocolos (idiomas).

A nivel físico también existen protocolos, por ejemplo IEEE 802.3 o más conocido como Ethernet, estos establecen la forma de conexión física. Las topologías físicas de redes básicas, ver figura 33, pueden sufrir ciertas modificaciones dependiendo de las necesidades pero siempre deben de mantener su estructura básica.

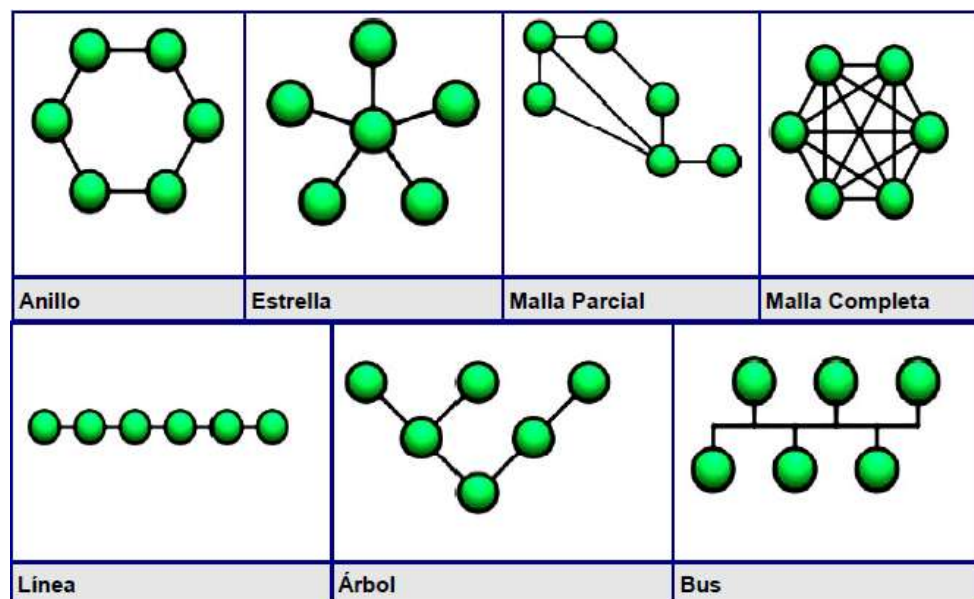
Anillo, todos los dispositivos se conectan entre sí formando un lazo cerrado, de manera que cada dispositivo se conecta a otros dos. Típicamente la infraestructura es un dorsal (*backbone*) con fibra óptica.

Estrella, cada dispositivo se conecta a un concentrador central, todos los datos pasan a través del concentrador central, antes de alcanzar su destino. Esta es una topología común tanto en redes Ethernet como inalámbricas.

Malla completa, existe enlace directo entre todos los pares de dispositivos de la red, una malla completa con nodos requiere de  $n(n-1)/2$  enlaces directos donde "n" es el número de dispositivos.

Malla parcial, algunos dispositivos están organizados en una malla completa, mientras otros se conectan solamente a uno o dos nodos de la red. Esta topología es menos costosa que la malla completa pero no es tan confiable.

Figura 33. Topologías de red básicas



Fuente: RENTERIA, Milton. Diseño, simulación e implementación de un radio enlace entre los municipios de Alcalá y Ansermanuevo (Valle del Cauca). p. 41.

Línea, conjunto de dispositivos conectados en una línea, cada dispositivo se conecta a sus dos vecinos excepto el dispositivo final que tiene solo un vecino.

Árbol, combinación de las topologías de bus y de estrella, un conjunto de dispositivos configurados como estrella se conectan a un dorsal (*backbone*).

Bus, todos los dispositivos están conectados a un cable común o compartido, las redes Ethernet normalmente utilizan esta tecnología.

El modelo de la propuesta 1, utiliza la topología básica de anillo con derivaciones y el modelo de la propuesta 2, utiliza la topología básica de bus.

La planeación de anillo con derivaciones, ver figura 34, anillo interior con extensiones hacia los faroles más lejanos este sería el prototipo número uno, en el cual se tendría que zanjear en la línea roja correspondiente, este modelo es ideal, no toma en cuenta posibles tuberías de agua, suministros eléctricos, drenajes, etc. Representa un buen punto de partida, ver tabla VIII.

Figura 34. **Prototipo anillo con derivaciones**



Fuente: elaboración propia, en base a los parámetros obtenidos de Google Earth.



En el diseño de la red de anillo con derivaciones se instalará en cada intersección del cable de fibra óptica una caja de empalmes, ver figura 35 y figura 36, que sirve para proteger las zonas de empalme de fibra óptica, estarán ubicadas metro y medio debajo de la superficie protegidas con cajas de cementos utilizadas en los contadores de agua; las cajas de empalmes son muy útiles para maniobrar la fibra óptica en el proceso de mantenimientos de la misma sin necesidad de desenterrar el cable de fibra óptica.

Tabla VIII. **Parámetros prototipo anillo con derivaciones**

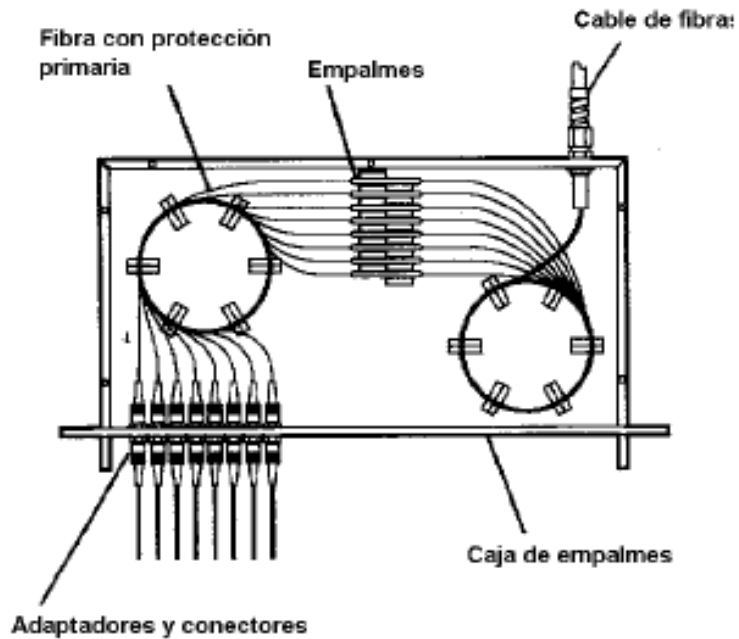
# de Tramo	Distancia (metros)	Coordenada Inicial		Coordenada Final	
		Latitud (N)	Longitud (O)	Latitud (N)	Longitud (O)
1*	213,92	14°33'26,35"	90°43'58,96"	14°33'33,41"	90°43'59,13"
2	498,74	14°33'33,41"	90°43'59,13"	14°33'33,37"	90°44'15,62"
3	446,95	14°33'33,37"	90°44'15,62"	14°33'18,80"	90°44'15,99"
4	884,87	14°33'18,80"	90°44'15,99"	14°33'19,37"	90°43'46,54"
5	439,05	14°33'19,37"	90°43'46,54"	14°33'33,72"	90°43'46,45"
6	105,63	14°33'19,36"	90°43'51,62"	14°33'15,94"	90°43'51,57"
7	207,21	14°33'15,94"	90°43'51,57"	14°33'16,21"	90°43'44,69"
8	329,24	14°33'16,21"	90°43'44,69"	14°33'05,58"	90°43'43,05"
9	119,11	14°33'26,48"	90°43'46,49"	14°33'26,44"	90°43'42,45"
10	389,16	14°33'33,72"	90°43'46,45"	14°33'46,34"	90°43'46,15"
11	376,61	14°33'33,72"	90°43'46,45"	14°33'33,41"	90°43'59,13"

\*Ubicación de estación central.

Fuente: elaboración propia.

Se utilizarán nueve cajas de empalmes, que se ubicarán en las coordenadas de cada intersección, ver tabla IX, las cajas deberán ser maniobradas por personal certificado en fibra óptica debido que un mal empalme puede representar grandes pérdidas de señal y un servicio deficiente.

Figura 35. **Esquema caja de empalmes**

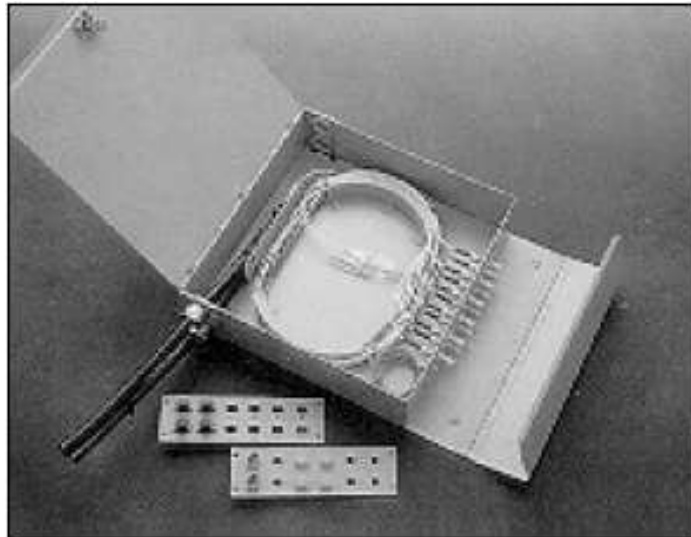


Fuente: RODRIGUEZ, Juan Carlos. Fibra Óptica.

[www.paratorpes.es/manuales/curso%20fibra%20optica.pdf](http://www.paratorpes.es/manuales/curso%20fibra%20optica.pdf). Consulta: febrero de 2013.

Existen dos tipos de empalmes básicos, el empalme mecánico y el empalme por fusión; el empalme mecánico se utiliza en situación de emergencia en donde se necesite una solución temporal, este tipo de empalme puede ocasionar mucha pérdida de señal, el empalme por fusión es muy preciso y se necesita de una máquina que por medio de un arco eléctrico logra la fusión.

Figura 36. **Caja de empalmes**



Fuente: RODRIGUEZ, Juan Carlos. Fibra Óptica.

[www.paratorpes.es/manuales/curso%20fibra%20optica.pdf](http://www.paratorpes.es/manuales/curso%20fibra%20optica.pdf). Consulta: febrero de 2013.

El prototipo nodo central, ver figura 37, representa una manera diferente de instalación de la planta externa; estableciendo un nodo central o nodo troncal en gran parte de la 4ta. Calle poniente, desde la Alameda de Santa Lucía hasta llegar aproximadamente al Callejón del Sol, esta medida de por sí ya incluye la ventaja de que en cualquier parte de este tramo se puede establecer la estación central, a diferencia del prototipo anillo con derivaciones; el prototipo nodo central puede ser más versátil en la ubicación de la estación central.

El nodo central, es un suministro de recursos que se derivan del mismo hasta llegar a los faroles con un zanjeado de metro y medio de profundidad; este modelo cuenta con menos desvíos lo que facilita la instalación y mantenimiento de la fibra óptica, los trazos son más largos y sin curvaturas.

Tabla IX. **Ubicación de cajas prototipo anillo con ramales**

# de Caja	Ubicación	
	Latitud	Longitud
1	14°33'33,41"	90°43'59,13"
2	14°33'33,37"	90°44'15,62"
3	14°33'18,80"	90°44'15,99"
4	14°33'19,37"	90°43'46,54"
5	14°33'33,72"	90°43'46,45"
6	14°33'19,36"	90°43'51,62"
7	14°33'15,94"	90°43'51,57"
8	14°33'16,21"	90°43'44,69"
9	14°33'26,48"	90°43'46,49"

Fuente: elaboración propia.

Las distancias, longitudes y latitudes de los trazos están tabuladas, en la tabla X; este modelo abarca menos distancia lo cual es un ahorro en mano de obra, cable de fibra óptica, tubería, cajas de empalmes, etc. En la figura 37, la elipse de color negro resalta la ubicación del nodo central dicha elipse no tiene ninguna repercusión en el diseño de la red.

Se debe ubicar una caja de empalmes en cada intersección, con el objetivo de maniobrar y dar mantenimiento al cable de fibra óptica, la ubicación de las cajas se encuentran tabulados en la tabla XI; cada caja de empalmes debe de ir cubierta por una caja de cemento con tapadera similar a las utilizadas para proteger a los contadores de agua.

Un prototipo no es mejor que otro, ofrecen diferentes formas de solucionar el problema, el mejor prototipo es aquel que se adapta mejor a las circunstancias las cuales pueden ser muy variantes y dependen de factores como la tubería de agua y luz, drenaje, reposaderas, etc.

Figura 37. Prototipo nodo central



Fuente: elaboración propia, en base a los parámetros obtenidos de Google Earth.

Los 4 010,49 m de distancia total de los tramos del prototipo anillo con derivaciones en comparación con los 3 211,79 m del prototipo nodo central, aparentan ser un buen argumento para decidirse por el prototipo dos pero esta es un situación circunstancial, pudiese darse el caso de que el prototipo uno no se tengan que pagar derechos de paso y en el prototipo dos se tenga que pagar una fuerte suma de dinero por el derecho de paso.

La elección del prototipo depende de las circunstancias y los prototipos pueden ser sometidos a cambios drásticos o moderados.

Tabla X. **Parámetros prototipo nodo central**

# de Tramo	Distancia (metros)	Coordenada Inicial		Coordenada Final	
		Latitud (N)	Longitud (O)	Latitud (N)	Longitud (O)
1*	1004	14°33'26,07"	90°44'15,96"	14°33'26,49"	90°43'42,54"
2	448,71	14°33'33,28"	90°44'15,84"	14°33'18,72"	90°44'16,09"
3	443,37	14°33'33,37"	90°44'02,75"	14°33'19,09"	90°44'02,84"
4	936,39	14°33'46,36"	90°43'46,15"	14°33'15,94"	90°43'46,58"
5	57,85	14°33'15,94"	90°43'46,58"	14°33'15,93"	90°43'44,59"
6	321,47	14°33'15,93"	90°43'44,59"	14°33'05,82"	90°43'43,01"

\*Trazo nodo central.

Fuente: elaboración propia, en base a las especificaciones del prototipo.

Tabla XI. **Ubicación de cajas prototipo nodo central**

# de Caja	Ubicación	
	Latitud	Longitud
1	14°33'26,22"	90°44'15,98"
2	14°33'26,33"	90°44'02,79"
3	14°33'26,44"	90°43'46,39"
4	14°33'15,97"	90°43'46,53"
5	14°33'15,97"	90°43'44,63"

Fuente: elaboración propia, en base a los datos obtenidos de Google Earth.

#### 4.2.2. **Ruta subterránea y cable protegido por ducto**

Los sistemas de fibra óptica pueden ser instalados de varias formas, dependiendo de las circunstancias de la implementación; entre las formas de instalación de fibra óptica, las más utilizadas son el sistema subterráneo y cable protegido, el sistema enterrado directo y el sistema aéreo de fibra óptica; tanto el sistema de enterrado directo y el sistema aéreo ofrecen muchas desventajas que deben de ser consideradas al momento de su implementación.

El sistema de enterrado directo no brinda una protección adecuada al cable de fibra óptica motivo por el cual el tiempo de vida del cable se reduce considerablemente pero la instalación es menos compleja y más económica.

El sistema aéreo de fibra óptica es una opción muy costosa y su instalación se torna compleja, este tipo de solución se recomienda en situaciones en las cuales no se pueda planificar un sistema de subsuelo.

El sistema subterráneo y cable protegido con ducto, es un sistema más completo, su instalación se lleva a cabo enterrando un ducto que podría ser de metal o de tubo PVC el cual protegerá al cable de fibra óptica; Los costos de este sistema pueden ser un poco elevados pero el tiempo de vida del cable se extiende considerablemente y facilita la expansión del sistema. Las principales ventajas de este sistema son:

- El sistema está fuera de la vista pública y posee aspecto estético
- Son adaptables para una futura instalación o expansión
- Proporciona más protección física al cable

Entre las desventajas más considerables está el alto costo inicial de instalación, exige más cuidados en la planificación de rutas y proporcionan una vía posible para servicios no deseados.

Antes de seleccionar una ruta, es recomendable realizar un estudio sobre el terreno y una proyección a futuro para evitar problemas en la ruta, además buscar el ahorro de costos como pudiera ser utilizar un cable de fibra económico o el ducto de material PVC.

No siempre la ruta más corta es la mejor para la instalación debido al número de cables que se desean transportar y el crecimiento futuro así como el mantenimiento; es una buena práctica el proveer espacio para futuras fibras y cajas de empalme, además del espacio correspondiente para el mantenimiento del cable.

En la instalación inicial o en una ampliación del sistema es necesaria la construcción de un nuevo ducto o tubería.

Es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos que afectan el costo de la instalación:

- Derecho de Paso
- Materiales (para los ductos, relleno, etc)
- Mano de obra, fletes, gastos de movilización
- Restauración del terreno
- Carreteras
- Ferrocarriles
- Tipo de formación de ductos
- Operaciones y gastos de mantenimiento
- Tipo de suelo

Al terminar la planificación de la red, la persona encargada del diseño debe obtener los planos del sistema de ductos en los cuales se especifican tamaños y cantidades de material necesario, además que muestre las siguientes características:

- Ubicación de todas las líneas existentes
- Tamaño y configuración de las entradas de cables



- Longitud total de conductores (líneas por cantidad de ductos)
- Tipo de material de los conductos
- Conductos, formación y profundidad
- Especificaciones y materiales
- Entradas de cables
- Ubicación y profundidad de otras estructuras
- Control de tráfico

La selección del tipo de ducto a utilizar, se basa prácticamente en el tipo de suelo que existe en el lugar y los requerimientos del mismo para no dañar el cable de fibra, los ductos se clasifican por tipos:

- Tipo B: pared delgada, requiere encofrado de concreto
- Tipo C: pared gruesa, puede ser sembrado directamente en tramos rectos.
- Tipo D: pared semigruesa, es resistente a los rayos UV y retarda las flamas.

Si se utilizan varios ductos, es necesario que estos estén cercanos y agrupados por abrazaderas, ver figura 38.

Figura 38. **Sistema subterráneo con ducto metálico**



Fuente: [www.slideshare.net/JosePerez90/planta-externa-10092054](http://www.slideshare.net/JosePerez90/planta-externa-10092054). Consulta: marzo 2013.

#### **4.2.3. Precios y presupuestos**

En la tabla XII, se detallan los precios de los dispositivos a utilizar estos precios pueden sufrir ciertas variaciones por factores externos de la ingeniería (fluctuaciones en tasa de cambio, compañías de entrega, marcas, etc).

La cotización de precio se basa en el sitio web [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com), que funciona como mercado mundial de productos, entre sus operaciones principales están catálogo de mercadería, contacto con proveedores y métodos de pago para la entrega de la mercadería.

Los precios de los dispositivos pueden variar dependiendo de la tasa de cambio que al día 6 de mayo de 2013 se cotiza en 1 \$ = 7,7819 Q (quetzales), moneda nacional de Guatemala, dato proporcionado por el Banco de Guatemala.

Tabla XII. **Precio de dispositivos**

<b>Dispositivo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Rango de Precio (\$ dólar)</b>	<b>Marca/Proveedor</b>
Estructura de torre hecha de acero laminado	1 torre	\$ 90 – 100	Grupo Industrial Milpas Altas
Antena Omnidireccional de amplio espectro	1 antena	\$ 50 – 75	Comba
Combinador pasivo GSM/CDMA	1 combinador	\$ 50 – 100	Huasi
Electrodo Electrolítico	1 set (10 tubos)	\$ 150 – 350	Best Grounding
Caja empalmes de fibra óptica	1 set	\$ 200 – 500	Qianhong
UPS 1500 VA	1 ups	\$ 82 – 95	Sumry
Cable de fibra óptica multi-modos	1 metro	\$ 1 – 20	Owire, OEM
Tubo PVC	1 metro	\$ 0,2 – 2	Luoyang Jungge PVC

Fuente: elaboración propia, en base a cotización en página de internet [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com).

El presupuesto del prototipo de anillo con derivaciones tabla XIII y el presupuesto del prototipo nodo central tabla XIV, elaborados utilizando el límite superior del rango de los precios de cada dispositivo.

El precio unitario de cada dispositivo se encuentra en la tabla anterior. Recordando que el prototipo de anillo con derivaciones abarca una longitud de 4 010,49 y el de nodo central una de 3 211,79.

**Tabla XIII. Presupuesto anillo con derivaciones**

<b>Dispositivos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (\$)</b>
Estructura de torre hecha de acero laminado	10 Faroles	1 000,00
Antena Omnidireccional de amplio espectro	10 Antenas	750,00
Combinador pasivo GSM/CDMA	10 Combinadores	1 000,00
Electrodo Electrolítico	1 Set (10 tubos)	350,00
Caja empalmes de fibra óptica	1 Set	500,00
UPS 1500 VA	10 ups	950,00
Cable de fibra óptica multi-modo	4 010,49	80 209,80
Tubo PVC	4 010,49	8 020,98
Total	-----	92 780,78

Fuente: elaboración propia, en base a la cantidad de dispositivos y el precio cotizado.

**Tabla XIV. Presupuesto nodo central**

<b>Dispositivos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (\$)</b>
Estructura de torre hecha de acero laminado	10 Faroles	1 000,00
Antena Omnidireccional de amplio espectro	10 Antenas	750,00
Combinador pasivo GSM/CDMA	10 Combinadores	1 000,00
Electrodo Electrolítico	1 Set (10 tubos)	350,00
Caja empalmes de fibra óptica	1 Set	500,00
UPS 1500 VA	10 ups	950,00
Cable de fibra óptica multi-modo	3 211,79	64 235,80
Tubo PVC	3 211,79	6 423,58
Total	-----	75 209,38

Fuente: elaboración propia, en base a la cantidad de dispositivos y el precio cotizado.

## CONCLUSIONES

1. El diseño de las celdas tipo farol debe de ser igual a los diseños utilizados por la Municipalidad de Antigua Guatemala, para evitar cualquier sanción o suspensión del proyecto.
2. Los dispositivos necesarios para el procesamiento de señales GSM y UMTS se instalan en los basureros del farol, la antena se adapta en la parte superior del farol.
3. Utilizando un UPS y un electrodo electrolítico se brinda una señal de cobertura ininterrumpida.
4. El uso de fibra óptica para la interconexión de los faroles proporciona el ancho de banda necesario para satisfacer la demanda de llamadas y la demanda de transferencia de datos por los usuarios.
5. El cambio de la banda de frecuencia con la que se implementa el proyecto, producirá cambios en las señales de cobertura, los cuales serán tolerados por la red.
6. La selección entre el modelo de anillo con derivaciones y el modelo de nodo central, para la instalación de la planta externa, dependerá de la infraestructura de los servicios de la Municipalidad como del presupuesto disponible.



## RECOMENDACIONES

1. El uso de acero forjado para elaborar el farol y la construcción de una zapata base, ayudarán a que la estructura del farol no se deforme.
2. Si no fuese posible la instalación de un electrodo electrolítico, se pueden utilizar dos varillas de cobre de 1,5 metros totalmente enterradas y separadas 1 metro entre sí.
3. Para mayor protección del cable de fibra óptica que se utiliza en la planta externa, la implementación de tubos metálicos unidos con abrazaderas aumenta la vida útil del cable.
4. En los procesos de ubicación de sitios, simulación de señales y cálculo de enlaces troncales, utilizar herramientas de software libre para no incurrir en costos innecesarios.
5. Si se necesita disminuir los costos se puede utilizar cable coaxial para conectar el equipo de procesamiento de datos con la antena.
6. En caso de tener un presupuesto muy limitado, se puede omitir el uso de UPS y del electrodo electrolítico. Estos cambios disminuirán la fiabilidad del sistema.





## BIBLIOGRAFÍA

1. CAMPO RODRÍGUEZ, Juan Carlos. *Curso: fibra óptica* [en línea]. Universidad de Oviedo. <[www.http://paratorpes.es/manuales/curso%20fibra%20optica.pdf](http://paratorpes.es/manuales/curso%20fibra%20optica.pdf)>. [Consulta: 25 de febrero de 2013].
2. DOBIAS NUILA, Jonas Antonio. *Criterios estructurales sobre torres para telefonía celular*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 125 p.
3. GARDUÑO AGUILAR, Fabiola. *Software para dimensionamiento de troncales para redes* [en línea]. Universidad de las Américas. [Puebla, México]: [ref. mayo de 2007]. Disponible en Web: <[www.http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/garduno\\_a\\_f/portada.htm](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/garduno_a_f/portada.htm)>.
4. Guatemala. Congreso de la República de Guatemala. *Ley protectora de la ciudad de Antigua Guatemala*. Decreto 60-69, 21 de noviembre de 1969. 16 p.
5. Guatemala. *Reglamento de construcción y urbanismo del municipio de Antigua Guatemala*. 13 de febrero de 2009. 23 p.

6. HERNÁNDEZ CARDOZA, Amaterazú. *Operación de una radio base celular cuando coexisten GSM & IS-54, IS-136* [en línea]. Universidad de las Américas. [Puebla, México]: [ref. diciembre de 2003]. Disponible en Web: <[www.catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/hernandez\\_c\\_a/portada.html](http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/portada.html)>.
7. HOLIDAY, David. *Mapeo de las organizaciones de la sociedad civil (OSC) en Guatemala* [en línea]. <[www.davidholiday.com/publications/BID\\_mapeo.pdf](http://www.davidholiday.com/publications/BID_mapeo.pdf)>. [Consulta: 25 de noviembre de 2012].
8. QUINA LUISA GALLO, Carlos Arturo. *Optimización de redes de transporte celular, basadas en análisis de tráfico, configuración de equipos e implementación de los circuitos de las provincias del oro y del cañar* [en línea]. Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador. [Sangolquí, Ecuador]: <[www.http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4516](http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4516)>. [Consulta: 20 de diciembre de 2012].
9. RENTERIA FLOREZ, Milton Ferley. *Diseño, simulación e implementación de un radio enlace entre los municipios de Alcalá y Ansermanuevo (Valle del Cauca)*. Trabajo de graduación de Ing. Sistemas y Telecomunicaciones. Universidad Católica de Pereira (Colombia), Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, 2011. 128 p.

10. RIVERA CAMAS, Samuel Josué. *Especificaciones técnicas para la construcción de sitios de telefonía celular*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 81 p.



## APÉNDICES

### CÁLCULO DE ENLACES TRONCALES (VOZ DE 2G, DATOS 2G Y DATOS 3G)

Partiendo de los datos del comportamiento del tráfico en las últimas 11 semanas del 2012, tabulados en las siguientes tablas.

**Tabla de datos para 3G datos, 2G voz y 2G datos**

Año	2012					
Semana	42	43	44	45	46	47
Tráfico de datos 3G (Gigabytes)	571,975	577,47476	583,027402	588,633434	594,293371	600,00773
Tráfico de voz 2G (erlangs)	22478,674	22487,2159	22495,761	22504,3094	22512,8611	22521,416
Tráfico de datos 2G (Gigabytes)	95,405	95,6797664	95,9553241	96,2316755	96,5088227	96,7867681

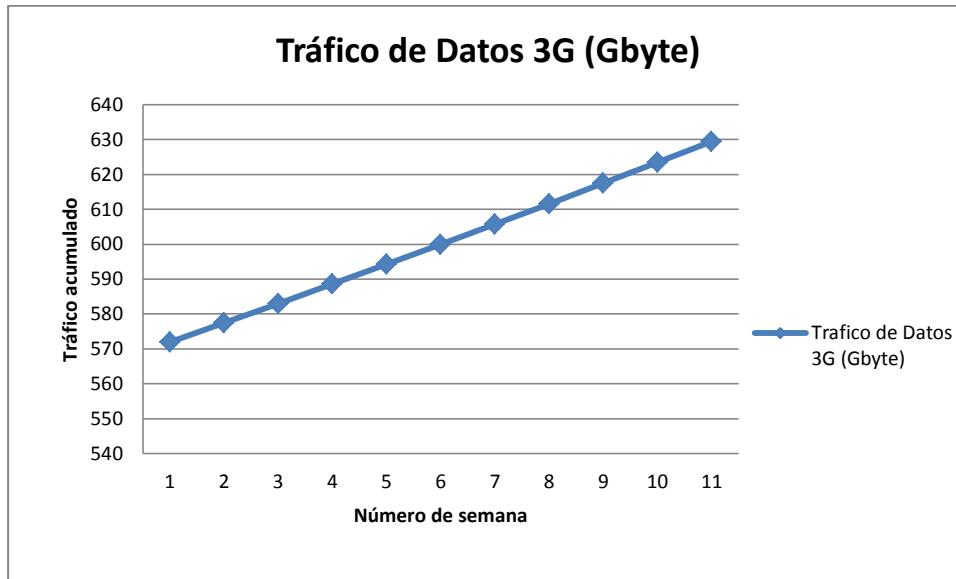
Fuente: Claro, Guatemala.

**Tabla de datos para 3G datos, 2G voz y 2G datos (continuación)**

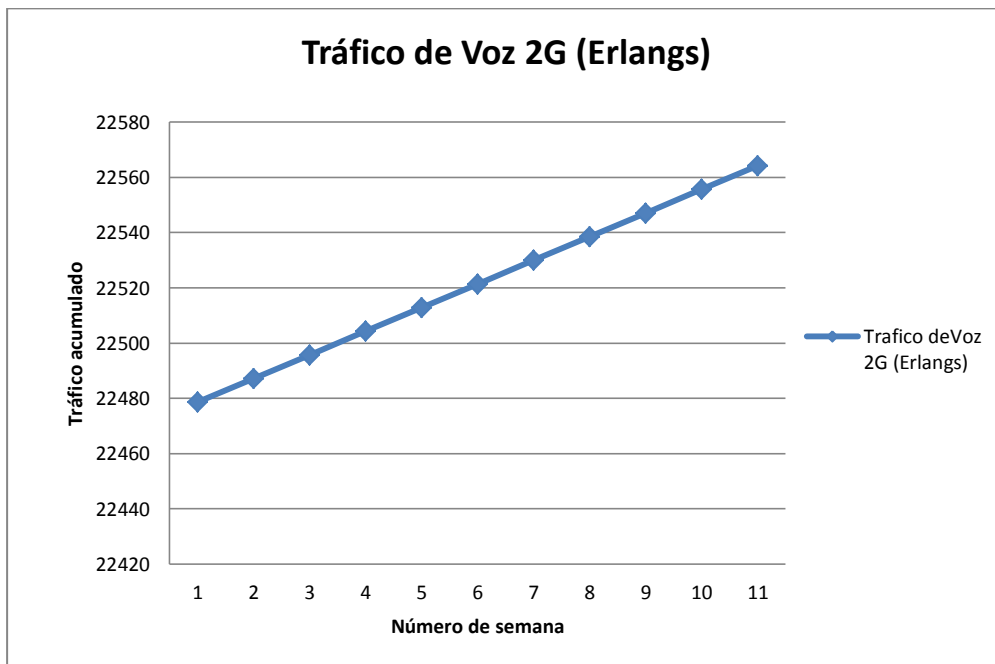
Año	2012				
Semana	48	49	50	51	52
Tráfico de datos 3G (Gigabytes)	605,777035	611,601815	617,482601	623,419934	629,414356
Tráfico de voz 2G (erlangs)	22529,9741	22538,5355	22547,1001	22555,668	22564,2392
Tráfico de datos 2G (Gigabytes)	97,065514	97,3450627	97,6254164	97,9065776	98,1885486

Fuente: Claro, Guatemala.

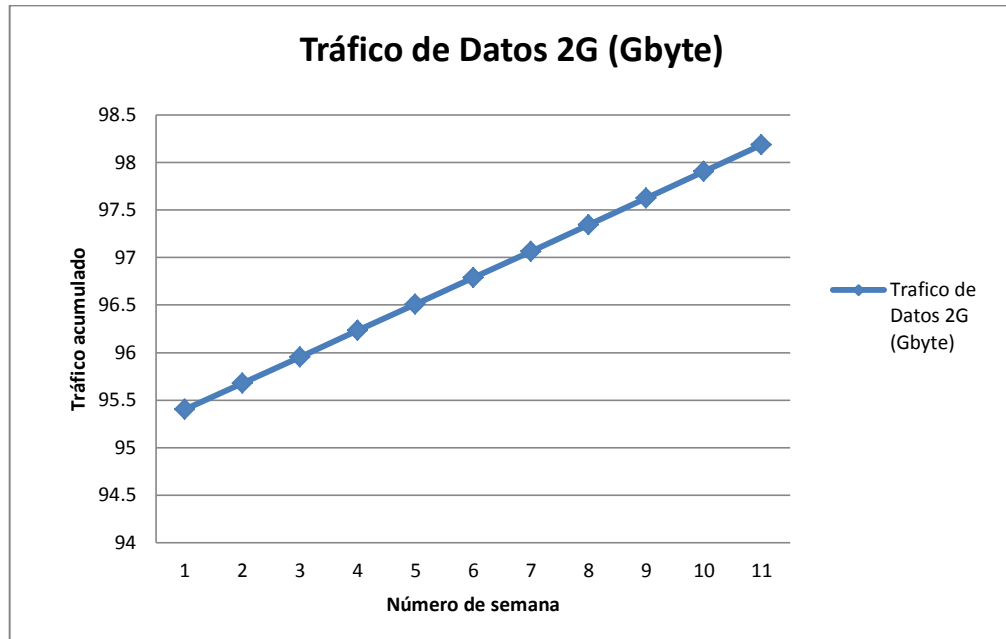
Con sus respectivas gráficas:



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

El crecimiento de 2G de voz es del 0,038%, de 2G de datos 0,288% y de 3G de datos de 0,9615%. Con un grado de servicio 0,010 (1 llamada perdida por cada 100 intentos). Los valores máximos para 2G de voz es de 1,2244 erlangs, para 2G de datos es de 0,0403 Gbytes y para 3G de datos es de 0,86 Gbytes. Los resultados son:

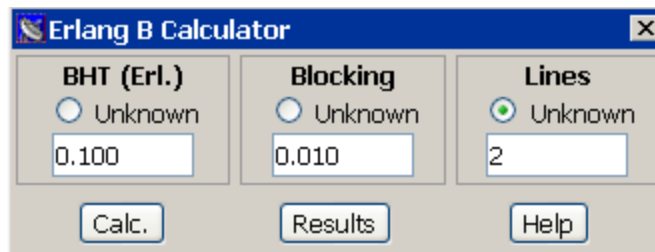
### Cálculo para 2G de voz

BHT (Erl.)	Blocking	Lines
<input type="radio"/> Unknown 1.224	<input type="radio"/> Unknown 0.010	<input checked="" type="radio"/> Unknown 5
Calc.	Results	Help

Fuente: <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>. Consulta: 25 de febrero 2013.

El resultado para 2G de voz es de 5 enlaces troncales.

### Cálculo para 2G de datos



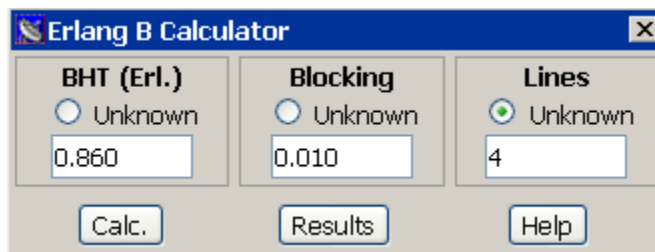
BHT (Erl.)	Blocking	Lines
<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input checked="" type="radio"/> Unknown
0.100	0.010	2

Calc. Results Help

Fuente: <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>. Consulta: 25 de febrero 2013.

El resultado para 2G de datos es de 2 enlaces troncales.

### Cálculo para 3G de datos



BHT (Erl.)	Blocking	Lines
<input type="radio"/> Unknown	<input type="radio"/> Unknown	<input checked="" type="radio"/> Unknown
0.860	0.010	4

Calc. Results Help

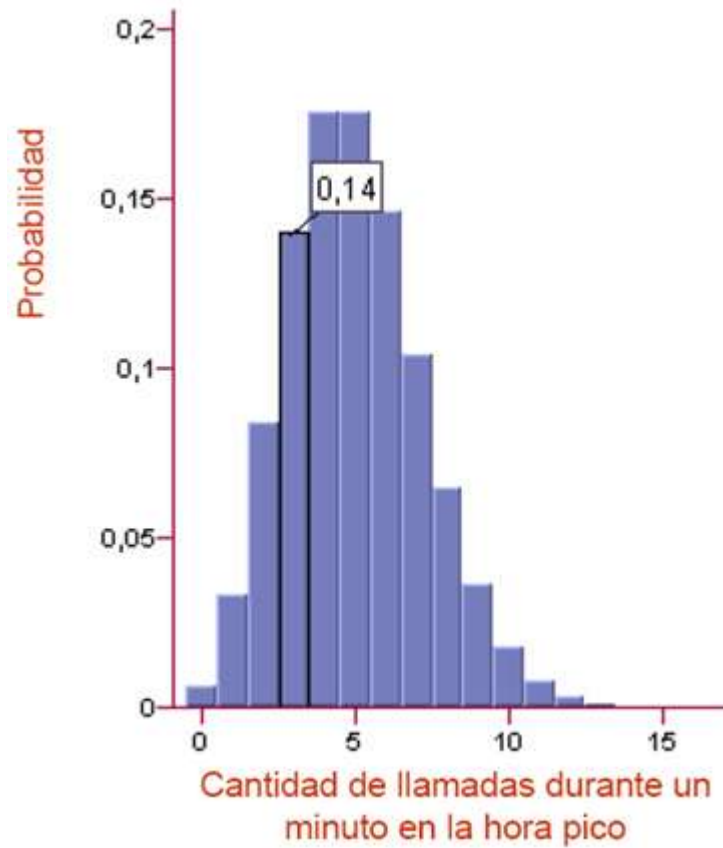
Fuente: <http://www.erlang.com/calculator/erlb/>. Consulta: 25 de febrero 2013.

El resultado para 3G de datos es de 4 enlaces troncales.



## ANEXOS

### Representación gráfica de la distribución de Poisson



Fuente: Atel Asesores.

