

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA**



**Diseño de una red inalámbrica para las radiobases celulares del Instituto Costarricense De Electricidad.**



**Proyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura.**

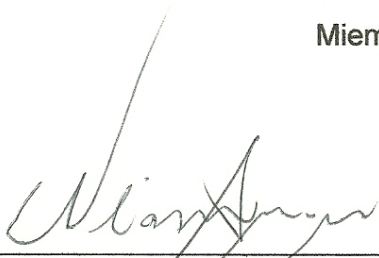
**Oldemar Segura Segura**

**Cartago, Diciembre de 2009.**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. William Marín Moreno

Profesor lector



Ing. Javier Pérez Rodríguez

Profesor lector

  
Ing. Faustino Montes De Oca Murillo

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 17 de Diciembre del 2009


## **Declaratoria de Autenticidad**

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 17 de Diciembre del 2009



---

Firma del autor

Oldemar Segura Segura.

Céd: 1-1239-0366

## Resumen

El presente trabajo consiste en la elaboración de un estudio de factibilidad técnica para el establecimiento de una red inalámbrica que permita el transporte de video y datos, desde las radiobases celulares hacia la red interna del I.C.E con el fin de reforzar la seguridad en estos sitios y de este modo disminuir los actos delictivos que generan grandes pérdidas a la institución. El proyecto se desarrolló para la región de Guanacaste para la cual se realizó un estudio de la distribución de las radiobases en la zona.

Dado que para la implementación se debe hacer uso del espectro radioeléctrico, se efectuó un análisis legal del proyecto para conocer las limitantes legales existen para su realización.

El estudio de factibilidad contempla una serie de cálculos y aproximaciones matemáticas empleadas para la obtención del ancho de banda requerido por el proyecto, así como para el cálculo de diferentes variables que afectan el diseño de enlaces radioeléctricos como es el caso de los presupuestos de enlaces, radio de zona de Fresnel, altura de instalación de los equipos, etc.

Además se establecen los diferentes requerimientos que se deben de tomar en cuenta para la creación de un posible cartel de licitación para la compra de los equipos inalámbricos, así como una descripción de los algoritmos empleados para el desarrollo de la base de datos que contiene la información de localización, descripción y función de cada una de las radiobases de la red.

Finalmente se realizó la propuesta de la topología de enlace entre las diferentes radiobases de la zona en estudio.

**Palabras clave:** enlace Punto a punto, Punto a Multipunto, radiobase, recomendaciones UIT-R, atenuación debido a la lluvia, presupuesto de enlace, perdidas de propagación en el espacio libre, antenas, zona de Fresnel, Lenguaje de programación PHP, HTML, modulación OFDM.

## **Abstract**

The present work is the elaboration of a technical feasibility study for establishing a wireless network that allows the transport of video and data from the cellular radio base stations to I.C.E's internal network in order to strengthen security at these sites and thereby reducing criminal acts on them and making heavy losses to the institution. The project was developed for the Guanacaste region in which they performed a study of the distribution of radio base stations in the area.

Given that implementation should make use of radio spectrum, was performed legal analysis of the project to know the legal constraints to the achievement of it.

The feasibility study envisages a series of calculations and mathematical approaches for calculating the bandwidth required by the project and for the calculation of different variables such as link budgets, Fresnel zones, height of installation equipment, etc.

Besides establishing the different requirements that must be taken into account for the creation of a cartel may tender for the purchase of wireless equipment and a description of the algorithms used for the development of the database containing information location, description and function of each network radio base stations.

Lastly, there was the proposal of the topology of connection between the different radio base stations of the study area.

**Keywords:** Point to point, point to multipoint base station, ITU-R recommendations, attenuation due to rain, link budget, loss of free-space propagation, antennas, Fresnel zone, PHP programming language, HTML, OFDM modulation.

# Índice General

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
PROBLEMA EXISTENTE E IMPORTANCIA DE SU SOLUCIÓN.....	1
<b>CAPITULO 1    METAS Y OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
1.1    META.....	3
1.2    OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3    OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>CAPITULO 2    MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1    DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO A MEJORAR.....	5
2.2    DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PRINCIPIOS ELECTRÓNICOS RELACIONADOS CON LA ELABORACIÓN DE RADIOENLACES.....	7
2.2.1    PRESUPUESTO DE ENLACE.....	7
2.2.2    ATENUACIÓN DE LA SEÑAL DE RADIOFRECUENCIA.....	8
2.2.2.1    Perdidas de propagación en el espacio libre “PEL”.....	8
2.2.2.2    Perdidas de atenuación debido a la lluvia.....	10
2.2.2.3    Pérdida de atenuación debido al multi-trayecto.....	12
2.2.3    ZONA DE FRESNEL.....	13
2.2.4    MODULACIÓN DIGITAL OFDM.....	15
2.2.5    POLARIZACIÓN DE LA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.....	17
2.2.6    PATRÓN DE RADIACIÓN.....	18
2.2.7    RADIO EFECTIVO DE LA TIERRA.....	19
2.2.8    CURVATURA DE LA TIERRA.....	20
2.2.9    CÁLCULO DE LA ALTURA DE LAS ANTENAS.....	21
<b>CAPITULO 3    PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>23</b>
3.1    RECONOCIMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	23
3.2    OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	24
3.2.1    Entrevista al personal encargado de la seguridad de las radiobases.....	24
3.2.2    Investigación del aspecto legal del proyecto.....	24
3.2.3    Determinación de la topología para enlazar las diferentes radiobases.....	25
3.2.4    Diseño de enlaces entre las diversas radiobases.....	25
3.2.5    Análisis de las principales tecnologías inalámbricas disponibles en el mercado.....	26
3.2.6    Desarrollo de la base de datos.....	26
3.3    EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS Y SÍNTESIS DE LA SOLUCIÓN.....	26
3.3.1    TOPOLOGÍAS DE ENLACE ANALIZADAS.....	27
3.3.1.1    Topología Mallada (Mesh).....	27
3.3.1.2    Topología Punto a Punto.....	29
<b>CAPITULO 4    DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN.....</b>	<b>33</b>
4.1    ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LOS EQUIPOS.....	33
4.2    ANÁLISIS LEGAL DEL PROYECTO.....	40
4.3    ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS.....	41
4.3.1    Equipos Punto a Punto que operan bajo frecuencias no licenciadas.....	42
4.3.2    Equipos Punto a Multipunto que operan bajo frecuencias no licenciadas.....	44
4.4    ANÁLISIS DE LA TOPOLOGÍA ACTUAL DE LAS RADIOBASES.....	47
4.5    CÁLCULO DE PARÁMETROS Y ANÁLISIS DEL PERFIL DE LOS ENLACES.....	48
4.5.1    SITIOS CON CONEXIÓN INALÁMBRICA AL PUNTO DE PRESENCIA (POP).....	49
4.5.1.1    Perdidas de propagación en el espacio libre.....	49
4.5.1.2    Atenuación debido a la Lluvia.....	51
4.5.1.3    Cálculo de la zona de Fresnel.....	55
4.5.1.4    Cálculo de la altura óptima de los equipos.....	56
4.5.1.5    Presupuesto de enlace.....	58
4.5.2    SITIOS SIN CONEXIÓN INALÁMBRICA AL PUNTO DE PRESENCIA (POP).....	60
4.5.2.1    Perdidas de propagación en el espacio libre.....	60

4.5.2.2	Atenuación debido a la Lluvia.....	61
4.5.2.3	Presupuesto de enlace.....	62
4.6	DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS INALÁMBRICOS A EMPLEAR.....	62
4.6.1	Requerimientos Eléctricos.....	63
4.6.2	Requerimientos Físicos.....	64
4.6.3	Requerimientos de Red.....	65
4.6.4	Requerimientos de Seguridad.....	67
4.7	DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS PARA ENLAZARSE AL E1.....	69
4.8	INTERCONEXION DE LOS EQUIPOS A EMPLEAR.....	70
4.8.1	Estacion Base con enlace E1.....	71
4.8.2	Estación con acceso al Puntos de Presencia.....	73
4.8.3	Radiobases suscriptoras.....	74
4.9	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	75
4.9.1	DISEÑO DE LAS PÁGINAS WEB ESTÁTICAS.....	77
4.9.1.1	Página de Rechazo de acceso.....	78
4.9.1.2	Página para la creación de una cuenta de usuario.....	79
4.9.1.3	Página para el formulario de introducción de equipo nuevo.....	80
4.9.2	UTILIZACIÓN DEL API DE LOS MAPAS DE LA EMPRESA GOOGLE®.....	82
4.9.3	DISEÑO DE LAS PÁGINAS WEB DINÁMICAS.....	82
4.9.3.1	Página para ingresar un nuevo Equipo.....	83
4.9.3.2	Página para ingresar un nuevo usuario.....	83
4.9.3.3	Página de Búsqueda.....	84
<b>CAPITULO 5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>94</b>
<b>CAPITULO 6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>103</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	103
6.2	RECOMENDACIONES.....	105
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>		<b>106</b>
<b>APÉNDICE.....</b>		<b>109</b>
A.1	CÁLCULO DE ENLACES CON ACCESO DIRECTO A LA RED INSTITUCIONAL.....	112
A.1.1	CENTRAL TELEFÓNICA DE BAGASES 50401-02.....	112
A.1.1.1	Perdidas de propagación en el espacio libre.....	112
A.1.1.2	Atenuación debido a la lluvia.....	113
A.1.1.3	Calculo de la zona de Fresnel.....	116
A.1.1.4	Presupuesto de enlace.....	119
A.1.1.5	Presupuesto de enlace.....	120
A.2	CÁLCULO DE ENLACES CON ACCESO A LA RED INSTITUCIONAL POR MEDIO DE UN ENLACE E1.....	121
A.2.2	CENTRAL TELEFÓNICA PUNTA CACIQUE 50503-02.....	121
A.2.2.1	Perdidas de propagación en el espacio libre.....	121
A.2.2.2	Atenuación debido a la lluvia.....	122
A.2.2.3	Cálculo de la zona de Fresnel.....	123
A.2.2.4	Presupuesto de enlace.....	124
A.3	GRÁFICA DE INTERPOLACIÓN PARA EL CÁLCULO DE $K_H$ Y $A_H$ .....	125
A.3.1	Cálculo de la constante $K_h$ .....	125
A.3.2	CÁLCULO DE LA CONSTANTE $A_H$ .....	126
<b>ANEXOS.....</b>		<b>129</b>
ANEXO 1.	CONSTANTES DE POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PRESENTES EN LA RECOMENDACIÓN UIT-R P.838-3.....	129
ANEXO 2.	MAPA DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA (MM/H), PRESENTE EN LA RECOMENDACIÓN UIT-R P.837-1.....	130
ANEXO 3.	ANCHOS DE BANDA DISPONIBLES EN LAS AGENCIAS TELEFÓNICAS Y CENTRALES ELÉCTRICAS.....	131
ANEXO 4.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y FUNCIÓN DESEMPEÑADA POR CADA UNO DE LAS RADIOBASES ANALIZADAS.....	132

## Índice de Figuras

<b>FIGURA 1</b> RADIOBASE CELULAR ABROJO-CIUDAD NEILLY.....	1
<b>FIGURA 2.1</b> DIAGRAMA DEL SISTEMA GLOBAL. ....	5
<b>FIGURA 2.2</b> RELACIÓN DE LA ATENUACIÓN DE LA POTENCIA DE TRANSMISIÓN RESPECTO A LA DISTANCIA.....	7
<b>FIGURA 2.3</b> EJEMPLO DEL EFECTO DEL MULTI-TRAYECTO EN LAS SEÑALES RADIOELÉCTRICAS.....	12
<b>FIGURA 2.4</b> DIAGRAMA DEL PRINCIPIO DE HUYGENS. ....	13
<b>FIGURA 2.5</b> DIAGRAMA DE LA ZONA DE FRESNEL. ....	14
<b>FIGURA 2.6</b> DISTRIBUCIÓN DE LOS DIFERENTES RADIOS DE LA ZONA DE FRESNEL. ....	15
<b>FIGURA 2.7</b> SUB-PORTADORAS OFDM EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.....	16
<b>FIGURA 2.8</b> DIAGRAMA FASORIAL DEL CAMPO ELÉCTRICO. ....	18
<b>FIGURA 2.9</b> PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA SECTORIAL.....	18
<b>FIGURA 2.10</b> CURVATURA DE LA SEÑAL TRANSMITIDA DEBIDO AL FACTOR DE RADIO FICTICIO K.....	20
<b>FIGURA 2.11</b> EFECTO DE LA CURVATURA DE LA TIERRA SOBRE EL CÁLCULO DE LOS NIVELES DE ELEVACIÓN DEL TERRENO. ....	21
<b>FIGURA 3.1</b> COBERTURA BRINDADA POR LOS EQUIPOS DE LA TABLA 2. ....	28
<b>FIGURA 3.2</b> TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO PROPUESTA PARA LA REGIÓN DE GUANACASTE. ....	30
<b>FIGURA 3.3</b> TOPOLOGÍA PUNTO A MULTIPUNTO PROPUESTA COMO EJEMPLO EN LA REGIÓN DE CARTAGO. ....	31
<b>FIGURA 4.1</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS CÁMARAS BASADO EN LA TABLA 3. ....	34
<b>FIGURA 4.2</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS CÁMARAS BASADO EN LA TABLA 4. ....	35
<b>FIGURA 4.3</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS CÁMARAS BASADO EN LA TABLA 5. ....	36
<b>FIGURA 4.4</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS CÁMARAS BASADO EN LA TABLA 6. ....	38
<b>FIGURA 4.5</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS CÁMARAS BASADO EN LA TABLA 7. ....	39
<b>FIGURA 4.6</b> DISTRIBUCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO. ....	48
<b>FIGURA 4.7</b> DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA LA ESTACIONES BASE CON ENLACES E1.....	72
<b>FIGURA 4.8</b> DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL EQUIPO CONVERTIDOR DE IP A G.703. ....	73
<b>FIGURA 4.9</b> DIAGRAMA DE CONEXIÓN ENTRE LOS EQUIPOS COLOCADOS EN LAS ESTACIONES CENTRALES.....	74
<b>FIGURA 4.10</b> DIAGRAMA DE CONEXIÓN ENTRE LOS EQUIPOS COLOCADOS EN LAS ESTACIONES CENTRALES.....	75
<b>FIGURA 4.11</b> ESTRUCTURA DE INTERACCIÓN ENTRE LAS PRINCIPALES PÁGINAS WEB.....	76
<b>FIGURA 4.12</b> MENSAJE DE ADVERTENCIA PARA RECHAZAR EL ACCESO A LA BASE DE DATOS. ....	77
<b>FIGURA 4.13</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÓGICA EMPLEADA PARA LA PÁGINA RECHAZO.HTML. ....	78
<b>FIGURA 4.14</b> PÁGINA DE ACCESO A LA BASE DE DATOS.....	79
<b>FIGURA 4.15</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÓGICA EMPLEADA PARA LA PÁGINA CREARCUENTA.HTML. ..	79
<b>FIGURA 4.16</b> INFORMACIÓN SOLICITADA PARA LA CREACIÓN DE UN NUEVO USUARIO. ....	80
<b>FIGURA 4.17</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÓGICA EMPLEADA PARA LA PÁGINA FORMULARIOEQUIPO.HTML.....	81
<b>FIGURA 4.18</b> FORMULARIO EMPLEADO PARA ENLISTAR NUEVOS SITIOS DENTRO DE LA BASE DE DATOS. ....	81
<b>FIGURA 4.19</b> DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA INTRODUCCIÓN DE NUEVOS SITIOS A LA BASE DE DATOS..	83
<b>FIGURA 4.20</b> DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CREACIÓN DE CUENTAS DE USUARIO EN LA BASE DE DATOS. ....	84
<b>FIGURA 4.21</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE LA BÚSQUEDA REALIZADA DENTRO LA BASE DE DATOS. ....	84
<b>FIGURA 4.22</b> MAPA DE LA UBICACIÓN POR CALLES Y AVENIDAS DE LAS RADIOBASES CELULARES INGRESADAS EN LA BASE DE DATOS.....	85
<b>FIGURA 4.23</b> VISTA SATELITAL DE LAS RADIOBASES CELULARES INGRESADAS EN LA BASE DE DATOS..	86
<b>FIGURA 4.24</b> DISTRIBUCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO DE LA REGIÓN DE GUANACASTE. ....	87
<b>FIGURA 4.25</b> DISTRIBUCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO DE LA REGIÓN DE GUANACASTE. ....	87
<b>FIGURA 4.26</b> UBICACIÓN DE LAS RADIOBASES CELULARES QUE POSEEN ACCESO A LA RED DEL I.C.E.	89
<b>FIGURA 4.27</b> TOPOLOGÍA PROPUESTA PARA LA CENTRAL TELEFÓNICA DE FILADELFIA Y LAS RADIOBASES DE LOS ALREDEDORES.....	90
<b>FIGURA 4.28</b> TOPOLOGÍA PROPUESTA PARA LAS RADIOBASES DE TIERRAS MORENAS Y EL SILENCIO EN LA ZONA DE TILARÁN. ....	91
<b>FIGURA 4.29</b> UBICACIÓN DE LAS CENTRALES TELEFÓNICAS EN LAS QUE SE EMPLEARA UN ENLACE E1. ....	92
<b>FIGURA 4.30</b> ENLACES ESTABLECIDOS EN LA CENTRAL TELEFÓNICA DEL CERRO SANTA RITA.....	93



<b>FIGURA A.1.1</b>	IMAGEN DE LA TOPOLOGÍA EMPLEADA PARA EL POP DE BAGASES.....	112
<b>FIGURA A.1.2</b>	PERFIL DE ENLACE ENTRE LA CENTRAL TELEFÓNICA DE BAGASES Y LA CENTRAL TELEFÓNICA DE MONTENEGRO. ....	116
<b>FIGURA A.1.3</b>	PERFIL DE ENLACE ENTRE LA CENTRAL TELEFÓNICA DE BAGASES Y LA RADIOBASE DE PALMIRA.....	117
<b>FIGURA A.1.4</b>	PERFIL DE ENLACE ENTRE LA CENTRAL TELEFÓNICA DE BAGASES Y LA RADIOBASE DE TIERRAS MORENAS.....	118
<b>FIGURA A.2.1</b>	IMAGEN DE LA TOPOLOGÍA EMPLEADA PARA EL POP DE PUNTA CACIQUE.....	121
<b>FIGURA A.2.2</b>	PERFIL DE ENLACE ENTRE LA CENTRAL TELEFÓNICA DE PUNTA CACIQUE Y LA RADIOBASE DE PLAYA PANAMÁ. ....	123
<b>FIGURA A.3.1</b>	POLINOMIO DE INTERPOLACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE KH. ....	126
<b>FIGURA A.3.2</b>	POLINOMIO DE INTERPOLACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE AH.....	127
<b>FIGURA A.3.3</b>	POLINOMIO DE INTERPOLACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE AH PARA LAS FRECUENCIAS DE 4.5GHZ A 7GHZ.....	128

## Índice de Tablas.

<b>TABLA 1.</b> CONDICIONES DE SIMULACIÓN PARA LOS EQUIPOS NETKROM Y SKYPILOT.....	27
<b>TABLA 2.</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR CÁMARA.....	34
<b>TABLA 3.</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS 4 CÁMARAS PARA UNA RESOLUCIÓN DE 352x240 PIXELES.....	35
<b>TABLA 4.</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR LAS 4 CÁMARAS PARA UNA RESOLUCIÓN DE 704x576 PIXELES.....	36
<b>TABLA 5.</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO PARA UNA RESOLUCIÓN DE 352x240 PIXELES Y 15 CUADROS POR SEGUNDO.....	37
<b>TABLA 6.</b> ANCHO DE BANDA REQUERIDO PARA UNA RESOLUCIÓN DE 704x576 PIXELES Y 15 CUADROS POR SEGUNDO.....	38
<b>TABLA 7.</b> EQUIPOS PUNTO A PUNTO QUE OPERAN BAJO FRECUENCIAS NO LICENCIADAS.....	42
<b>TABLA 8.</b> EQUIPOS PUNTO A MULTIPUNTO QUE OPERAN BAJO FRECUENCIAS NO LICENCIADAS.....	44
<b>TABLA 9.</b> COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES EQUIPOS SUSCRIPTORES.....	45
<b>TABLA 10.</b> PERDIDAS DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE.....	50
<b>TABLA 11.</b> ATENUACIÓN DE LA SEÑAL DEBIDO A LA LLUVIA.....	54
<b>TABLA 12.</b> CÁLCULO DEL PRIMER RADIO DE LA ZONA DE FRESNEL.....	55
<b>TABLA 13.</b> CÁLCULO DE LA ALTURA ÓPTIMA PARA LA COLOCACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	58
<b>TABLA 14.</b> PRESUPUESTO DE ENLACE ENTRE LAS RADIOBASES 50102-01 Y 20104-01.....	59
<b>TABLA 15.</b> PRESUPUESTO DE ENLACE ENTRE LAS RADIOBASES Y LOS PUNTOS DE PRESENCIA DE LA RED.....	59
<b>TABLA 16.</b> PERDIDAS DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE PARA LOS ENLACES E1.....	61
<b>TABLA 17.</b> ATENUACIÓN DE LA SEÑAL DEBIDO A LA LLUVIA PARA LOS ENLACES AL E1.....	61
<b>TABLA 18.</b> PRESUPUESTO DE ENLACE ENTRE LAS RADIOBASES Y LOS PUNTOS DE INTERCONEXIÓN CON EL ENLACE E1.....	62
<b>TABLA 19.</b> COMPARACIÓN DE LAS POTENCIAS DE TRANSMISIÓN PARA LOS ENLACES DE MAYOR DISTANCIA.....	64
<b>TABLA 20.</b> REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS INALÁMBRICOS.....	68
<b>TABLA 21.</b> REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA CONVERSIÓN DE LA TRAMA IP A G.703.....	70
<b>TABLA 22.</b> CONSTANTES DE POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL OBTENIDAS DE LA RECOMENDACIÓN UIT-R P.838-3.....	129

## Introducción.

Problema existente e importancia de su solución.

En la actualidad las radiobases celulares del Instituto Costarricense de Electricidad se encuentran en un entorno muy inseguro dado la importancia y tipo de servicio para el que fueron creadas lo cual las convierte en víctimas de muchos actos delictivos dentro de los cuales destaca el robo de equipos, cables e inclusive el robo de diesel de las plantas eléctricas que se encuentran en las mismas.

Estos hechos delictivos de los cuales han sido víctimas las radiobases celulares le provocan a la institución grandes pérdidas de dinero (Aproximadamente 700 millones de colones anuales), así como un desprestigio ante sus clientes debió a que muchos de estos hechos conllevan que en alguno de los casos los equipos salgan de funcionamiento durante cortos periodos de tiempo con el fin de poder resolver el problema. Dado al relieve que presenta nuestro país muchas de las radiobases se encuentran en sectores de difícil acceso (en medio de montañas o lugares muy alejados de los centros urbanos) por lo cual se desconoce si han sufrido de algún acto vandálico ya que en numerosas ocasiones la institución se entera de estos daños hasta que se realizan las labores de mantenimiento.

En la figura 1 se muestra una de las radiobases de Ciudad Neilly en la cual se observa la fragilidad en la seguridad desarrollada alrededor de la misma.



**Figura 1** Radiobase celular Abrojo-Ciudad Neilly.

El caso que se observa en la figura 1 se repite en muchas de las radiobases celulares que se encuentran alejadas de los centros urbanos, por lo cual tener un control de las personas que acceden a estos equipos es muy difícil de establecer.

En la actualidad el Instituto Costarricense de Electricidad se encuentra colocando nuevas radiobases, con el fin de mejorar la cobertura celular del país así como para la nueva red de telefonía 3G, en muchos lugares alejados por lo cual la vigilancia de las mismas se dificulta, haciéndolas posibles víctimas de actos vandálicos.

## **Capítulo 1 Metas y Objetivos**

### 1.1 Meta.

Diseñar una red inalámbrica que permita la comunicación entre las diferentes radiobases celulares con el fin de poder tener acceso a los diversos sistemas de seguridad instalados en las mismas. El diseño del prototipo de la red así como los equipos seleccionados se tomarán como base para la creación de futuras redes en diferentes regiones del territorio nacional.

### 1.2 Objetivo General.

Demostrar mediante un estudio de factibilidad técnico que el prototipo desarrollado es capaz de comunicar inalámbricamente las radiobases celulares con las diferentes agencias del I.C.E para la transmisión de video y datos provenientes de los sistemas de seguridad.

### 1.3 Objetivos Específicos.

1.3.1 Proponer la topología de la red inalámbrica que permita establecer la comunicación entre las diferentes radiobases y los centros de gestión de red.

1.3.2 Diseño de los enlaces mediante cálculos matemáticos que permitan demostrar su viabilidad.

1.3.3 Definir las características que deben cumplir los equipos de comunicación de las respectivas radiobases que sirva de base para desarrollar un eventual cartel de licitación para la adquisición de los equipos.

1.3.4 Proponer los equipos de comunicación y su interconexión para que cumplan con las características necesarias para establecer los enlaces entre las radiobases.

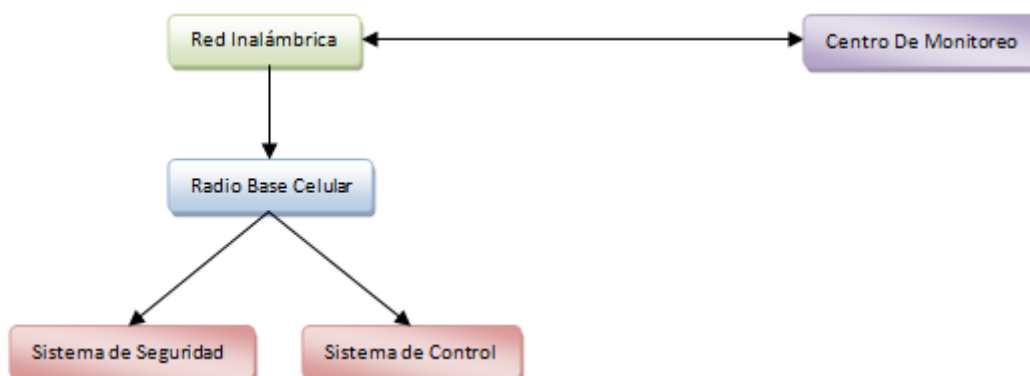
1.3.5 Desarrollar una base de datos para las diferentes radiobases con el fin de poder almacenar información de: localización, dirección IP y descripción de la función que cumple la radiobase dentro de la red ya sea como nodo cliente, nodo enrutador o nodo repetidor.

## Capítulo 2 Marco Teórico

### 2.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar.

El desarrollo e implementación de la red inalámbrica para las radiobases celulares, surge como una respuesta del Instituto Costarricense de Electricidad a los robos que han sufrido en estos sitios, ha decidido desarrollar un sistema de vigilancia que permita prevenir la sustracción de los equipo que se encuentran presentes en las diferentes radiobases del país.

Sin embargo para que esto pueda ser posible se necesita de una red que permita la comunicación entre las diferentes radiobases celulares y el centro de gestión de red, para lo cual se ha planeado emplear una red inalámbrica de transporte la cual debe ser capaz de transportar los paquetes de datos, voz y video generados por los sistemas de seguridad y control de acceso colocados en las radiobases, hasta el centro de monitoreo de la red.



**Figura 2.1** Diagrama del sistema global.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama de cómo se incorporará el diseño de la red inalámbrica a la solución planteada por la sección de Seguridad Electrónica del Instituto Costarricense de Electricidad, como se puede observar el desarrollo e implementación de esta red es de suma importancia ya que a través de esta, el I.C.E puede tener acceso a los diferentes sistemas de control

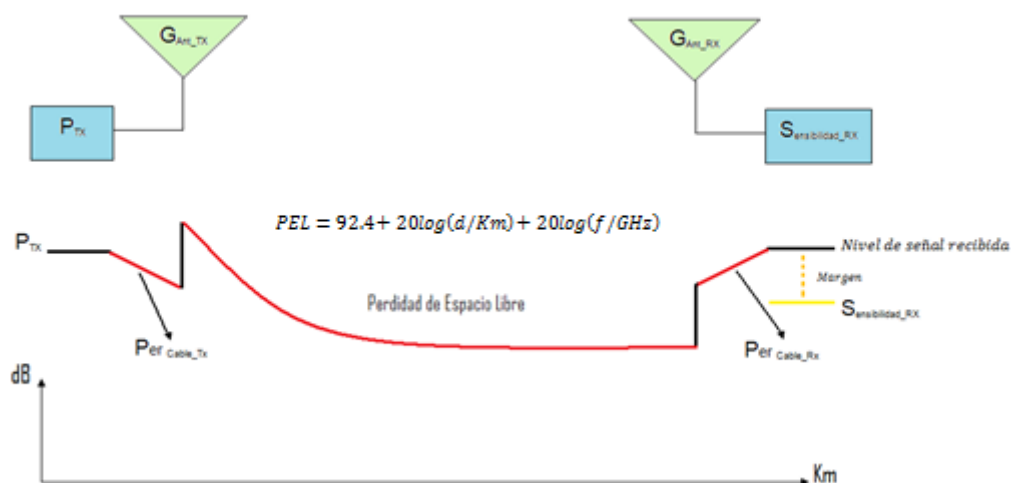
y seguridad que se instalarán en las radiobases desde el centro de gestión de red dentro de los diferentes sistemas que se podrán monitorear gracias al diseño de esta red se encuentra la plataforma de control de acceso Continuum de la marca Andover lo cual permitirá que el personal encargado de la seguridad pueden ser capaz de obtener información de las personas que ingresan a estos sitios así como la fecha y hora en la cual ocurre lo que permite tener un mejor control del tipo de personal que ingresan a este tipo de sitios, además de esto se podrá acceder la información brindada por los equipos de grabación como es el caso de los video grabadores y las cámaras IP.



## 2.2 Descripción de los principales principios electrónicos relacionados con la elaboración de radioenlaces.

### 2.2.1 Presupuesto de enlace.

El presupuesto de enlace o balance de potencia es un procedimiento por medio del cual al tener un conocimiento de la frecuencia y potencia de transmisión, la distancia entre ambos puntos y la sensibilidad de los equipos a emplear se es capaz de conocer la viabilidad del establecimiento del enlace. La realización de un presupuesto de enlace es muy importante antes de iniciar el proyecto esto con el fin de tener una mayor certeza que los equipos que se emplearán para el diseño son capaces de permitir la comunicación entre ambos puntos.



**Figura 2.2** Relación de la atenuación de la potencia de transmisión respecto a la distancia.

**Tomado de:** Antenas y Cables [1] y editado en Microsoft Paint

En la figura 2.2 se muestra la relación que existe entre la potencia transmitida y las pérdidas sufridas por la señal en su recorrido. Como se puede notar en la figura anterior la potencia brindada por el equipo transmisor ( $P_{TX}$ ) sufre una pequeña atenuación lineal debido a las pérdidas sufridas por los conectores, cables, guías de onda acoplados a la antena así como del amplificador ( $G_{Ant\_TX}$ ) [2]. Sin embargo la señal al llegar a la antena transmisora es amplificada ( $G_{Ant\_TX}$ ) con el fin de que esta pueda ser transmitida por el espacio

libre. No obstante conforme se propaga la señal de radiofrecuencia por el aire esta experimenta una atenuación de su potencia de una manera logarítmica conforme aumenta la distancia (PEL). En el instante que la señal alcanza el otro punto del enlace, esta es amplificada por la antena receptora ( $G_{Ant\_RX}$ ) e igual que en la caso del transmisor cuando ésta se propaga a través de los cables y conectores sufre una pequeña atenuación, por último la potencia de la señal de radiofrecuencia que logra alcanzar al equipo receptor debe estar por encima del margen de sensibilidad del equipo receptor con el fin de que el enlace sea factible para esto se estableció un margen de seguridad de aproximadamente 5dB por encima de la sensibilidad del receptor. La ecuación 2.1 permite calcular el balance de potencia de un radioenlace.

$$Margen \geq P_{TX} - Per_{Cable\_TX} + G_{Ant\_TX} - PEL - Per_{Cable\_RX} + G_{Ant\_RX} - Per_{Adic} + Sensibilidad_{RX} \quad (2.1)$$

## 2.2.2 Atenuación de la señal de radiofrecuencia.

En el diseño de radioenlaces se deben de tomar en cuenta una serie de efectos que perjudican la propagación de las señales radioeléctricas de un punto a otro dentro de este conjunto de efectos se encuentran los siguientes:

### 2.2.2.1 Pérdidas de propagación en el espacio libre “PEL”.

Las pérdidas de propagación de espacio libre también conocidas como Free Space Loss se definen como la manera en que la onda electromagnética se atenúa conforme se propaga por el espacio, estas pérdidas son un aspecto muy importante en el diseño de los radio enlaces debido a que es en este trayecto donde se produce la mayor atenuación de la potencia de la señal transmitida.

Las pérdidas de propagación de una señal en el espacio libre varían en función de la frecuencia empleada así como de la distancia entre los puntos, tal y como se muestra en la siguiente ecuación.

$$L_{Espacio\_Frecuencia} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.2)$$

Donde  $d$  es la distancia entre ambos puntos y  $\lambda$  es la longitud de onda, la cual puede expresarse de la siguiente manera  $\lambda = c/f$  por lo cual al sustituirla en la ecuación 2.2 se obtiene:

$$L_{Espacio\_Distancia} = \left(\frac{4\pi df}{c}\right)^2 \quad (2.3)$$

Donde  $f$  es la frecuencia de transmisión y  $c = 3 \times 10^8$  m/s que corresponde a la velocidad de la luz en el espacio libre, al sustituir estos valores en la ecuación 2.3 se tiene:

$$L_{Espacio} = \left(\frac{4\pi df}{3 \times 10^8}\right)^2 \quad (2.4)$$

Dado que para este proyecto se utilizarán frecuencias de transmisión en el rango de los GHz y la distancia entre los puntos de interconexión es del rango de los Km se reacomoda la ecuación 2.4 de la siguiente manera:

$$L_{Espacio} = \left(\frac{4\pi df \times 1 \times 10^{12}}{3 \times 10^8}\right)^2 \quad (2.5)$$

Con el fin de obtener las pérdidas de propagación en el espacio libre en decibeles (dB) se aplican logaritmos a ambos lados de la ecuación 2.5 obteniendo:

$$L_{Espacio} = 20 \log\left(\frac{4\pi \times 1 \times 10^{12}}{3 \times 10^8}\right) + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.6)$$

$$L_{Espacio} = 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.7)$$

La ecuación 2.7 muestra la forma en la que se relaciona las pérdidas de propagación en el espacio libre  $L_{Espacio}$  (dB) respecto a la distancia  $d$  (Km) y la frecuencia de transmisión  $f$  (GHz). [3]

### 2.2.2.2 Perdidas de atenuación debido a la lluvia.

Las pérdidas por atenuación debida a la lluvia deben de tomarse en cuenta cuando se realizan enlaces inalámbricos que emplean una frecuencia de transmisión superior a los 5GHz. Este tipo de atenuación afecta en mayor manera a la polarización horizontal que a la vertical debido al hecho de que las gotas de lluvia poseen una mayor área de contacto cuando se emplea la polarización horizontal.

De acuerdo a la recomendación de la UIT-R, la atenuación debida a la lluvia se puede obtener utilizando la siguiente ecuación:

$$A_{Total} = \gamma_R d_{eff} \quad (2.8)$$

Donde:

$$A_{Total} = \text{Atenuación total debido a la lluvia (dB)}$$

$$\gamma_R = \text{Atenuación específica (dB/Km)}$$

$$d_{eff} = \text{Distancia efectiva del enlace (Km)}$$

De acuerdo a la recomendación de la UIT-R P.838-3 [4], la atenuación específica debido a la lluvia  $\gamma_R$  se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia R (mm/h) mediante la ecuación:

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (2.9)$$

Los valores de k y  $\alpha$  se determinan en función de la frecuencia (GHz) dentro del rango de 1 a 1000GHz. Los valores de las variables k y  $\alpha$  pueden calcularse por medio de las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau}{2} \quad (2.10)$$

$$\alpha = \frac{k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau}{2k} \quad (2.11)$$

Donde  $k_H$  y  $\alpha_H$  son las constantes de polarización horizontal,  $k_V$  y  $\alpha_V$  son las constantes de polarización vertical,  $\phi$  corresponde al ángulo de elevación del trayecto del enlace, mientras que  $\tau$  es el ángulo de inclinación de la polarización de la onda electromagnética respecto a la horizontal.

La distancia efectiva del enlace  $d_{eff}$  (Km) se puede obtener mediante el empleo de la ecuación:

$$d_{eff} = d \cdot r \quad (2.12)$$

Donde:

$d =$  Distancia real del enlace (Km)

$r =$  Factor de distancia

El factor de distancia se obtiene utilizando los valores de precipitación de la región en la cual se desarrollará el enlace, por lo que el factor de distancia  $r$  viene dado por:

$$r = \frac{1}{1 + d/d_o} \quad (2.13)$$

De acuerdo a la ecuación 2.13  $d$  es la distancia real del enlace (Km), mientras que  $d_o$  se obtiene utilizando como referencia el nivel de precipitaciones de la región.

Para precipitaciones mayores o iguales a 100mm/h el valor de  $d_o$  viene dado por:

$$d_o = 35e^{-0.015R_{0.01}} \quad (2.14)$$

Cuando las precipitaciones en la región en la cual se establecerá el enlace son menores a 100mm/h el valor de  $d_o$  viene dado por:

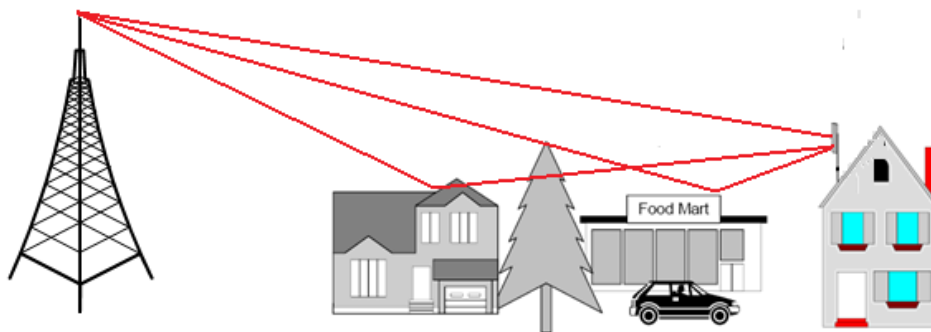
$$d_o = 100 \quad (2.15)$$

### 2.2.2.3 Pérdida de atenuación debido al multi-trayecto

La atenuación por multi-trayecto se debe de tomar en cuenta cuando se elaboran enlaces de varios kilómetros de distancia y empleando frecuencias menores a los 10GHz, ya que esta se constituye en uno de los factores que influye en la atenuación de la potencia de la señal transmitida [5].

El efecto del multi-trayecto se crea cuando la señal radioeléctrica deja la antena transmisora ya que una parte de la potencia transmitida alcanza de manera directa la antena receptora, mientras que la otra parte de la señal rebota en el suelo y alcanza al receptor tiempo después, este desfase temporal entre las señales se debe al hecho que cuando la señal rebota en el suelo, esta debe recorrer una distancia mayor para poder alcanzar al receptor.

Los efectos que presenta la atenuación por multi-trayecto no solo consisten en la pérdida de potencia de la señal transmitida sino que afecta la calidad del enlace aumentando el número de errores en la información captada por el receptor (BER por sus siglas en ingles). Según con la recomendación de la UIT-R F.1093-2 [6], uno de los métodos más eficientes para evitar los errores provocados por la atenuación de multi-trayecto es el denominado diversidad de espacio el cual consiste en colocar dos antenas distintas en la misma torre separadas la una de la otra por varias longitudes de onda esto con el fin de captar la información en varias trayectorias y poder combinar ambas señales para así evitar la pérdida de información.

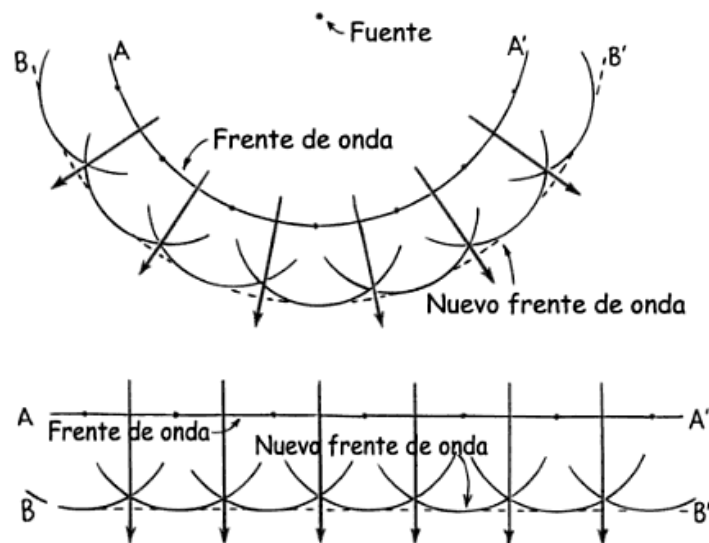


**Figura 2.3.** Ejemplo del efecto del Multi-trayecto en las señales radioeléctricas.

**Tomado de:** Diseño de radioenlaces [10] y editado en Microsoft Paint

### 2.2.3 Zona de Fresnel

Este concepto se basa en el principio de Huygens el cual establece que cada punto de un frente de onda que avanza es el centro de un nuevo frente de onda esférico secundario el cual posee la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda del frente de onda del que proceden [8] tal y como se muestra en la figura 2.4



**Figura 2.4** Diagrama del principio de Huygens.

**Tomado de:** Física Conceptual Paul G. Hewitt pag 564.[9]

La zona de Fresnel se encuentra formada por una serie de regiones que rodean la trayectoria desde la antena transmisora hasta la receptora. Estas regiones tienen la forma de un elipsoide y dentro de su volumen se encuentra la potencia de la señal, por ejemplo el primer elipsoide se conoce como la primera zona de Fresnel y esta contiene la mayor parte de la potencia de la señal que logra alcanzar a la antena receptora.

La relación matemática que permite el cálculo de los radios de la zona de Fresnel se puede deducir mediante la siguiente ecuación:

$$R_{Fresnel} = 17.5 \sqrt{\frac{nD_1D_2}{fD}} \quad (2.16)$$

Donde:

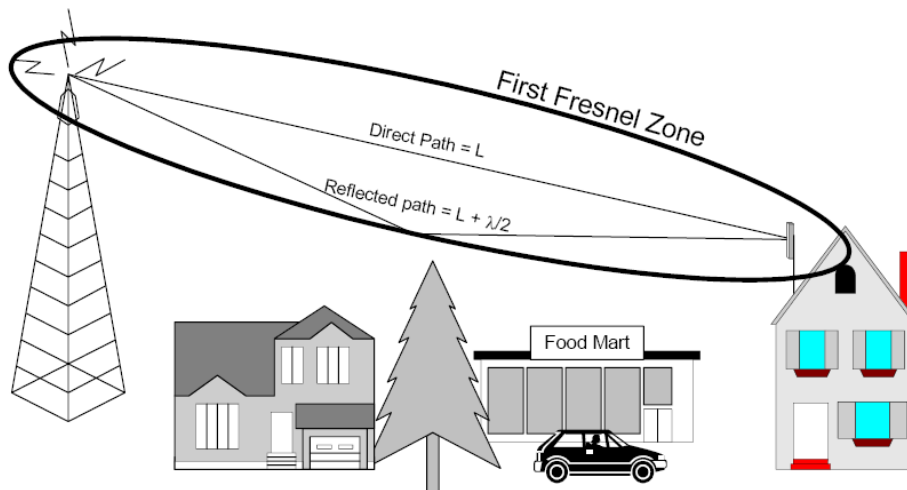
$n$  = Radio de Fresnel 1,2,3,4 .....  $n$

$D_1$  = Distancia al obstaculo desde el transmisor(Km)

$D_2$  = Distancia al obstaculo desde el receptor(Km)

$D$  = Distancia entre el receptor y el trasmisor (Km)

$f$  = Frecuencia (GHz)



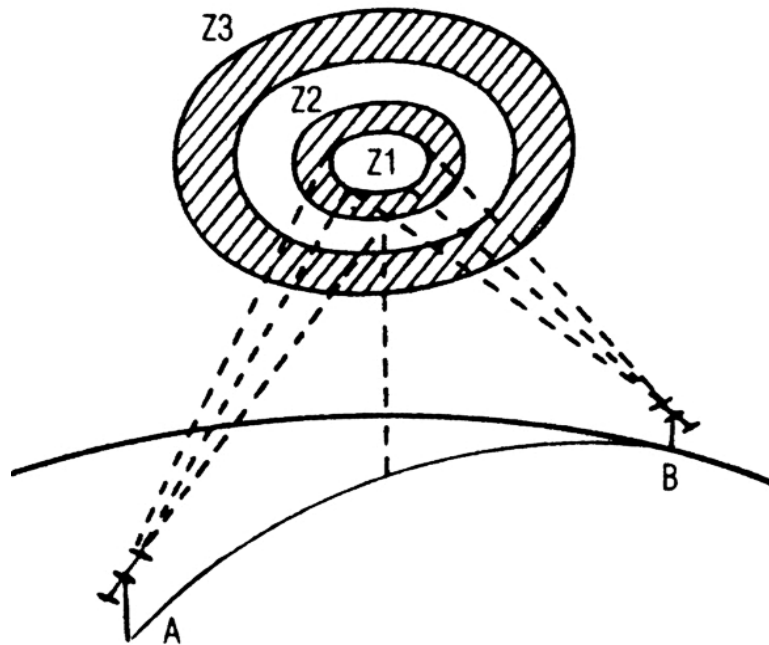
**Figura 2.5** Diagrama de la zona de Fresnel.

**Tomado de:** Diseño de radioenlaces [10].

Cuando se diseña un enlace inalámbrico se busca siempre que el primer radio de la zona de Fresnel se encuentre libre de obstáculos en al menos un 60%, ya que al garantizar esto se puede decir que existe línea vista entre el transmisor y el receptor y por ende este ultimo recibirá más de la mitad de la potencia transmitida [11]. Cuando se realizan enlaces a distancias considerables es importante tomar en cuenta la curvatura de la superficie terrestre con el fin de aproximar de una mejor manera la apertura del radio de la zona de Fresnel.



En la figura 2.6 se muestra la colocación de una pantalla imaginaria interpuesta entre el transmisor y el receptor sobre la cual se dibujan las diferentes intersecciones que se producen con los elipsoides que conforman los radios de la zona de Fresnel.

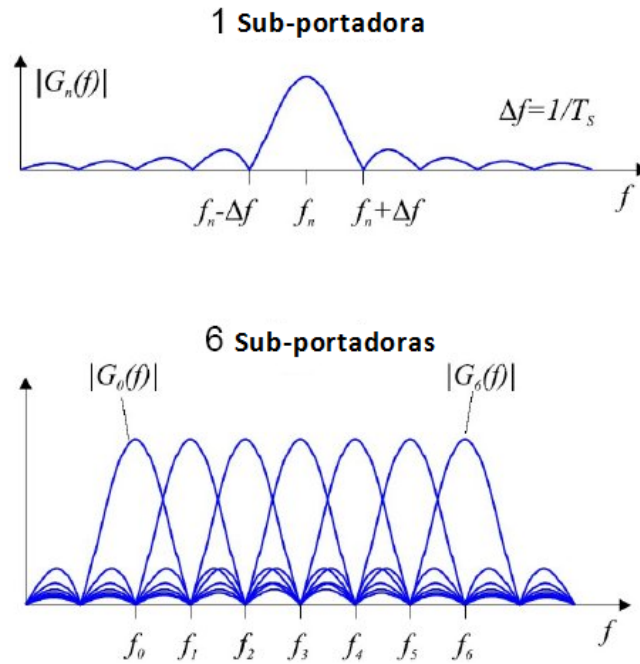


**Figura 2.6** Distribución de los diferentes radios de la zona de Fresnel.

Tomado de: Zona de Fresnel [12].

#### 2.2.4 Modulación digital OFDM.

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM por sus siglas en ingles, es un tipo de modulación digital que consiste en enviar una serie de portadoras a diferentes frecuencias y ortogonales entre si, donde cada una de estas transporta información modulada en QAM o PSK. La modulación OFDM es considerada como una tecnología híbrida entre la modulación de muti-portadora MCM y la modulación por desplazamiento de frecuencia FSK.



**Figura 2.7** Sub-portadoras OFDM en el dominio de la frecuencia.

**Tomado de:** OFDM wireless LAN Juha Heiskala, John Terry [7].

La modulación OFDM es una técnica que permite lograr transmitir datos a altas velocidades, además que permite combatir los efectos del multi-trayecto así como las interferencias por radio frecuencia.

Dentro de las principales ventajas que presenta la modulación digital OFDM se encuentra el hecho de utilizar canales ortogonales entre sí para enviar la información, por lo cual se elimina la necesidad de emplear una banda guardia para la separación de los canales por lo que el uso del espectro electromagnético es más eficiente. En muchas ocasiones a la modulación OFDM se le conoce como multi-portadora o modulación discreta de multi-tono.

### 2.2.5 Polarización de la onda electromagnética.

La polarización de una onda electromagnética consiste en la variación de la orientación del campo eléctrico el cual varía en función del tiempo alrededor del plano de polarización. De acuerdo a la manera en la que varía la intensidad del campo eléctrico en función del tiempo y de la forma en que se orienta sobre el plano de polarización existen varios tipos de polarización dentro de los que se encuentran:

**Polarización Lineal:** Esta se establece cuando la componente del campo eléctrico  $E$  tiene una orientación recta y fija la cual se mantiene así ante cualquier variación en la posición y el tiempo, además del hecho de que no existe un desfase entre las componentes  $E_x$  y  $E_y$  que conforman el campo eléctrico.

**Polarización Circular:** se crea cuando existe un ángulo de desfase entre las componentes del campo eléctrico  $E_x$  y  $E_y$  que sea exactamente  $\theta = \pm\pi/2$ .

**Polarización Elíptica:** en este tipo de polarización se crea cuando existe una diferencia de magnitud y de fase entre las componentes del campo eléctrico  $E_x$  y  $E_y$ .

La relación matemática que muestra la polarización de una onda electromagnética en cualquier momento y propagándose en la dirección del eje  $z^+$  viene dada por:

$$E_{(z,t)} = E_x \cos(\omega t - \beta z) a_x + E_y \cos(\omega t - \beta z + \phi) a_y \quad [13] \quad (2.17)$$

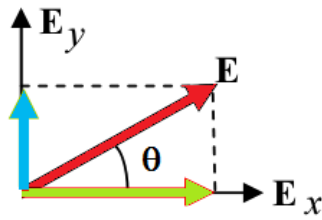
Donde:

$E_x, E_y =$  Magnitud de las componentes del campo eléctrico.

$\omega =$  velocidad angular.

$\phi =$  Desfase entre las componentes  $E_x$  y  $E_y$  del campo eléctrico.

$\beta =$  Constante de fase.

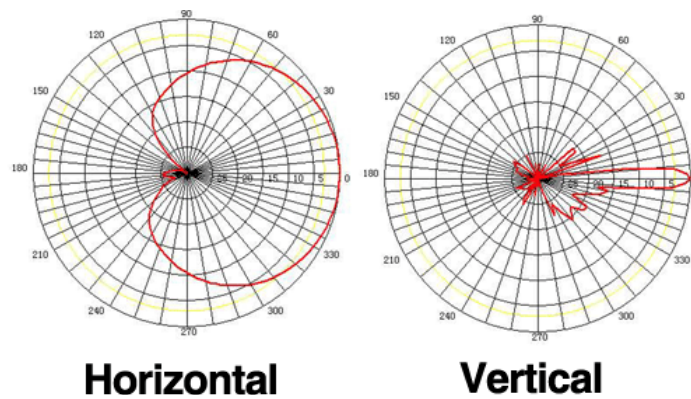


**Figura 2.8** Diagrama fasorial del campo eléctrico.

Realizado en: Microsoft Paint.

### 2.2.6 Patrón de radiación.

El patrón de radiación también conocido como diagrama de radiación consiste en una gráfica que sirve para representar las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con la posición de una antena.



**Figura 2.9** Patrón de radiación de una antena sectorial.

Tomado de: Antenas [15].

Existen dos maneras de representar un patrón de radiación dentro de las cuales se encuentran:

Patrón de radiación absoluto: consiste en el trazado de la intensidad del campo eléctrico o de la densidad de potencia de la antena.

Patrón de radiación relativo: consiste en el trazado de la intensidad del campo eléctrico o de la densidad de potencia de la antena en un punto específico.

### 2.2.7 Radio efectivo de la tierra.

Cuando se realizan enlaces de largas distancias, es muy importante analizar y tomar en cuenta el radio efectivo de la tierra; esto debido al hecho que cuando los enlaces establecidos poseen varios kilómetros de distancia entre los puntos de conexión, la línea vista entre ambos puede verse comprometida debido al efecto que produce la atmosfera en la onda radioeléctrica la cual sufre una curvatura en su trayecto desde el emisor hasta el receptor. Este efecto a largas distancias provoca una degradación en la línea vista entre ambos puntos.

El radio efectivo de la tierra depende de la región geográfica de estudio, sin embargo cuando no se posee la información necesaria para su cálculo, es recomendado realizar aproximaciones de la misma en este caso para nuestro país se puede utilizar el valor de  $K= 4/3$  el cual es el valor recomendado por la UIT para climas tropicales [11]. El valor del factor de radio ficticio de la tierra para una región específica puede calcularse mediante la ecuación:

$$K = \frac{1}{1+R_0 \cdot \frac{\delta n}{\delta h}} \quad (2.18)$$

Donde:

$K$  = Factor de radio ficticio.

$R_0$  = Radio real de la Tierra (6370Km).

$\frac{\delta n}{\delta h}$  = Coindice de refracción de la región.

Una vez que se posee el valor de  $K$  para la región en estudio, el radio efectivo de la tierra puede calcularse mediante la ecuación:

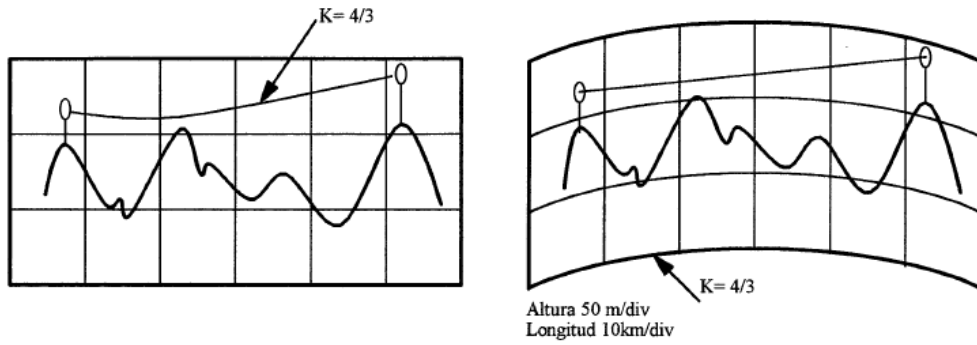
$$R_E = R_0 \cdot K \quad (2.19)$$

Donde:

$R_E$  = Radio efectivo de la Tierra.

$R_0$  = Radio real de la Tierra (6370Km).

$K$  = Factor de radio ficticio.



**Figura 2.10** Curvatura de la señal transmitida debido al factor de radio ficticio K.

**Tomado de:** Propagación y campo recibido [11].

### 2.2.8 Curvatura de la Tierra.

La curvatura de la Tierra C es una relación matemática que es empleada con el fin de determinar la altura real de un objeto que interfiere con la trayectoria de la señal [11]. La curvatura o protuberancia de la Tierra puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

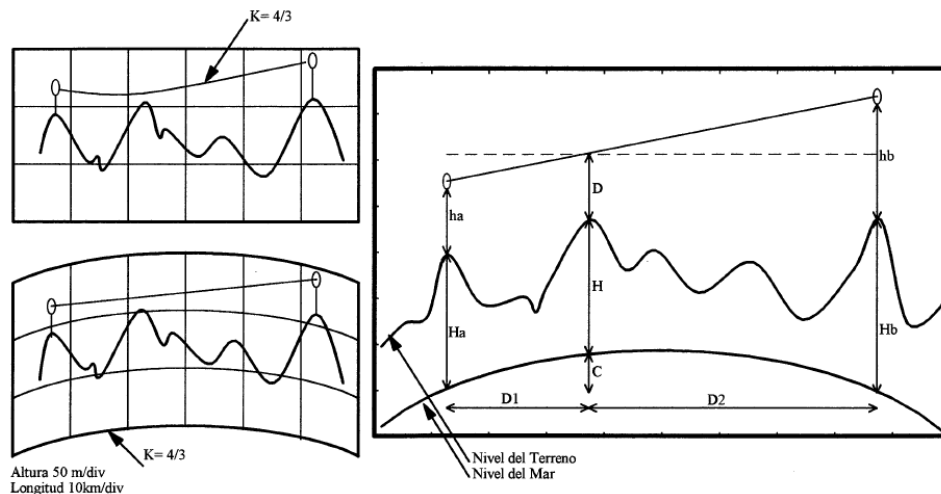
$$C = \frac{4 \cdot D_1 \cdot D_2}{51 \cdot K} \quad (2.20)$$

Donde:

$D_1$  = Distancias desde el transmisor hasta el obstaculo (Km).

$D_2$  = Distancias desde el receptor hasta el obstaculo (Km).

$K$  = Factor de radio ficticio.



**Figura 2.11** Efecto de la curvatura de la Tierra sobre el cálculo de los niveles de elevación del terreno.

**Tomado de:** Propagación y campo recibido [11].

En la figura 2.11 se muestra como la curvatura de la Tierra ejerce efecto sobre el cálculo de las alturas relativas del terreno, ya que por ejemplo la altura del obstáculo entre las antenas ( $h_a$  y  $h_b$ ) sin tomar en cuenta la curvatura de la tierra sería  $H$  mientras que tomando en cuenta el efecto de la misma la altura real del obstáculo vendría dada por  $H+C$ .

### 2.2.9 Cálculo de la altura de las antenas.

El cálculo de la altura de la antena es un aspecto importante en el desarrollo de radioenlaces debido a que una buena escogencia de la misma garantiza que los enlaces cuenten con la suficiente liberación del radio de Fresnel permitiendo que los sitios puedan comunicarse entre sí. Para el cálculo de las alturas de las antenas se emplea la figura 2.11, donde una de las variables más importantes en las cuales se debe pensar es el valor de liberación  $D$  el cual para enlaces inalámbricos debe cumplirse que este sea como mínimo del 60% de la primera zona de Fresnel.

Según la figura 2.11 el cálculo de la altura de las antenas para los casos más críticos según el criterio de la UIT [11] se debe emplear los siguientes criterios:

$$D = 1 \cdot F_1 \quad \text{y} \quad K = 4/3$$

$$D = 0,6 \cdot F_1 \quad \text{y} \quad K = 0,8$$

El cálculo de las alturas de las antenas  $h_a$  y  $h_b$  de la figura 2.11 se pueden determinar por medio de las siguientes relaciones matemáticas:

$$H_1 = H_a + h_a \quad (2.21)$$

$$H_2 = H_b + h_b \quad (2.22)$$

$$H_3 = H + C + D \quad (2.23)$$

$d_1$  y  $d_2 =$  Distancia de las estacion A y B al obstaculo.

Finalmente la ecuación que permite el cálculo de las alturas de las antenas  $h_a$  y  $h_b$  viene dada por:

$$(H_3 - H_1) \cdot d_2 = (H_2 - H_3) \cdot d_1 \quad (2.24)$$



### **Capítulo 3 Procedimiento Metodológico.**

#### **3.1 Reconocimiento y definición del problema.**

La situación delictiva que está viviendo en estos momentos el país, ha generado que las torres celulares que posee el Instituto Costarricense de Electricidad sean víctimas de diferentes actos delictivos tales como el robo de cable y del equipo electrónico que se encuentra presente en estas instalaciones.

Actualmente el I.C.E se encuentra desarrollando una serie de medidas que permitan disminuir la incidencia de este tipo de acciones y el impacto que poseen sobre las finanzas de la institución así como en la prestación de los servicios de telefonía celular que brinda el Instituto Costarricense de Electricidad a sus diferentes clientes. Tales medidas surgen como refuerzo a la seguridad que actualmente protege estos sitios y se ha demostrado que no es suficiente, dentro de las nuevas medidas se encuentra la colocación de alarmas, controles de acceso así como cámaras de vigilancia. Es por esto que el Instituto Costarricense de Electricidad requiere de un estudio de factibilidad técnica para determinar si es viable el diseño de una red inalámbrica que permita al departamento de Seguridad Electrónica la comunicación con las diferentes torres celulares, esto con el fin de poder acceder a la información de datos y video provenientes de los diferentes sistemas que se pretenden colocar en un futuro en estos sitios.

En conclusión el sector de telecomunicaciones del Instituto Costarricense de Electricidad presenta un problema debido a la separación entre el departamento de Protección Institucional en este caso la Sección de Seguridad Electrónica y las radiobases celulares, lo cual provoca que esta sección ignore el estado en el que se encuentran las radio bases así como también que personas son las que acceden a estos sitios.

## 3.2 Obtención y análisis de información.

### 3.2.1 Entrevista al personal encargado de la seguridad de las radiobases.

El diseño de la red inalámbrica del I.C.E es un proyecto que se planeo para una implementación futura, por lo cual se debe tener conocimiento de las ideas que el Departamento de Seguridad Institucional en este caso en particular la sección de Seguridad Electrónica se encuentra evaluando como medidas para la prevención de los robos sufridos en las radiobases, esto con el fin de poder tener un conocimiento de los equipos utilizados para el control de acceso, los tipos de alarmas y el numero de cámaras que se estarían planeando colocar en el futuro por sitio.

El conocimiento de los equipos a instalar es de suma importancia ya que permite poseer una idea del ancho de banda mínimo que la red debe mantener disponible en función de la cantidad y el tipo de información que circulará por ella, para así poder garantizar que el rendimiento de la red sea el más eficiente para las funciones que se desean desarrollar en la misma.

### 3.2.2 Investigación del aspecto legal del proyecto.

Para la investigación de los diferentes componentes legales que posee el proyecto se efectuó un análisis de la legislación nacional existente y que pueda ser aplicada para este proyecto, esto con el fin de poder poseer conocimiento de las diferentes limitaciones que se pueden presentar en cuanto a las frecuencias a emplear, así como también la potencia de transmisión permitida por nuestra legislación.

Para esto se analizó en especial el Plan Nacional de Atribuciones de Bandas de Frecuencias Radioeléctricas [17] así como también la Ley General de Telecomunicaciones [18].

### 3.2.3 Determinación de la topología para enlazar las diferentes radiobases.

Se emplearon las coordenadas geográficas de las distribuciones de las radiobases celulares que posee la División de Servicios Infraestructura Civil y Electromecánica del I.C.E así como los posibles mapas de los enlaces de microondas que interconectan las diferentes radiobases que posee la sección de Radio y Celular del I.C.E, con el propósito de poder generar una idea más clara de la distribución de los sitios a enlazar, esto permitió que se pueda realizar un primer diseño de la manera en la cual se puede generar una distribución de las radiobases que funcionarán como puerta de enlace (Gateway) así como las de estaciones repetidoras con el fin de poder crear una área de cobertura que sea capaz de incorporar la mayor cantidad de radiobases posibles.

### 3.2.4 Diseño de enlaces entre las diversas radiobases.

En este caso se hizo referencia a la demostración mediante modelos matemáticos que los diversos enlaces que se establecieron entre las radiobases celulares de la región de Guanacaste son factibles para su futura implementación, para esto se realizó un análisis de los diversos factores que pueden afectar la creación de los enlaces como son: la atenuación de la señal debida a lluvias, propagación en el espacio libre, además de esto se contemplará el balance de potencias de los enlaces, la línea vista entre radiobases (LOS), radio de Fresnel así como el cálculo de las alturas al que deben colocarse los equipo en las antenas.

Para este punto también se contó con la simulación de los radioenlaces por medio de RadioMobile el cual es un software de uso libre y que permite evaluar el desempeño de enlaces de tipo WLAN así como WMAN para exteriores en los rangos de frecuencias de 20MHz a 20GHz bajo un método denominado Modelo del Terreno Irregular (ITM) [32] mediante cartas topográficas SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [33].

### 3.2.5 Análisis de las principales tecnologías inalámbricas disponibles en el mercado.

Una vez que se tuvo un conocimiento de la distribución de las radiobases celulares, en especial la distancia de separación que existe entre cada una de ellas así como cuales de estas poseen la posibilidad de acceso a la red institucional se puede iniciar el proceso de análisis de las diferentes tecnologías presentes en el mercado con el fin de poder escoger cuál de estas se adapta de una mejor manera a los requerimientos del proyecto ya sea para los enlaces Punto a Multipunto así como a los enlaces Punto a Punto entre los diferentes sitios para esto se empleará un análisis de costo-beneficio.

### 3.2.6 Desarrollo de la base de datos.

Se desarrolló una base de datos para el almacenamiento de la información referente a la localización, descripción y tipo de función que desempeña la radiobase ya sea como nodo router, nodo cliente o repetidor, así como la dirección IP que posee cada uno de los diferentes sitios.

Se planea que esta base de datos pueda ser visualizada y consultada a través de la web, por los diferentes funcionarios del centro de monitoreo, también se pretende introducir dentro de la pagina web un mapa de la región bajo estudio en el cual se mostrará la localización de las diferentes radiobases.

## 3.3 Evaluación de alternativas y síntesis de la solución.

Debido a que los equipos que se seleccionen para este proyecto deben ser capaces de desempeñarse en cualquier región del territorio nacional, se procedió a realizar un análisis de la distribución de las diferentes radiobases esto con el fin de poder conocer la sección en la cual las distancias de enlaces son mayores por esto se procedió a escoger la región de Guanacaste como punto de partida para el análisis de los diferentes equipos.

Inicialmente con la información brindada por la sección de División de Servicios Infraestructura Civil y Electromecánica del I.C.E además de la distribución de los enlaces de microonda que brindo la sección de Radio y Celular, se procedió a localizar por medio del software RadioMobile en el mapa de la región de Guanacaste las diferentes radiobases celulares, esto con el fin de examinar la distribución geográfica de las mismas y a partir de esta desarrollar la topología más optima para la región. Dado que los únicos puntos donde existe presencia de la red interna del Instituto Costarricense de Electricidad se encuentra en las agencias telefónicas se decidió realizar un análisis de la factibilidad de realizar enlaces entre las mismas y las centrales telefónicas más cercanas.

### 3.3.1 Topologías de enlace analizadas.

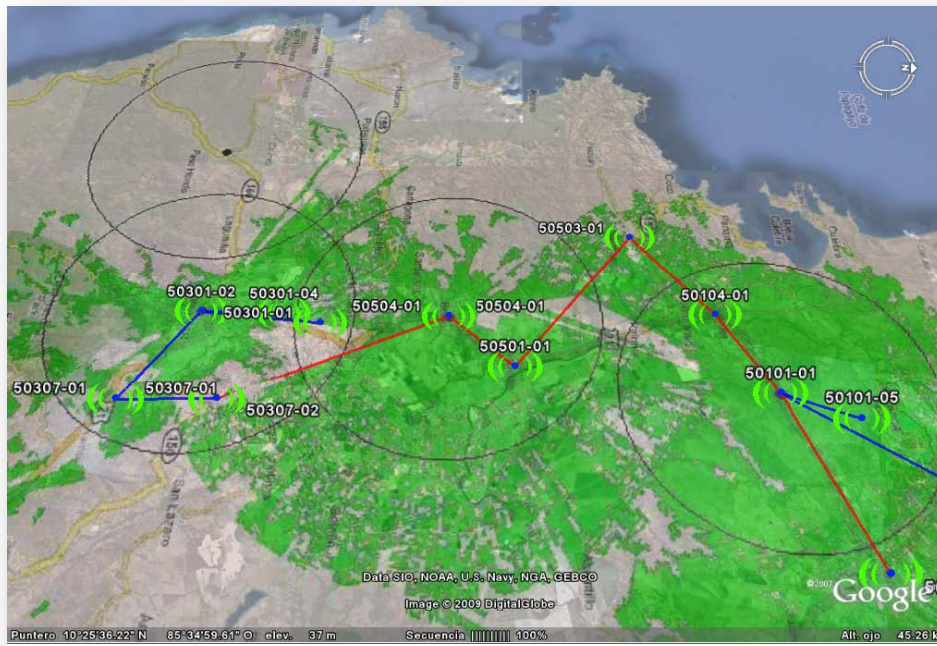
#### 3.3.1.1 Topología Mallada (Mesh).

Debido a que la topología que presenta la mejor opción en adaptación a cambios es la red mallada se procedió a realizar un análisis de cobertura de los equipo que presentan el mayor desempeño en este campo, en la tabla 2 se muestran los datos de simulación empleados en el software RadioMobile para la obtención de la cobertura brindada por estos equipo, es importante recalcar que esta cobertura es aproximada debido a que en la simulación no se está tomando en cuenta la existencia de obstáculos como árboles y edificaciones que pueden encontrarse presentes en la zona de estudio.

**Tabla 1.** Condiciones de simulación para los equipos NetKrom y SkyPilot.

Equipo	Fabricante	Rango de Frecuencias (GHz)	Potencia de Transmisión (dBm)	Ganancia de la antena (dBi)
ISP-BS500AH	NetKrom	5.150-5.850	24	17
SkyGateway	Skypilot	4.940-5.850	21	17

En la figura 3.1 se muestra el resultado de la zona de cobertura que se puede obtener al emplear equipos tanto SkyPilot como NetKrom.



**Figura 3.1** Cobertura brindada por los equipos de la tabla 2.

**Realizado en:** RadioMobile 10.0.9 y GoogleEarth Pro.

Como se puede observar en la figura anterior el radio de cobertura brindado por los equipos SkyPilot se muestra como las regiones de color verde encerradas por un anillo de color negro mientras que la de los equipos NetKrom se muestra en color verde, tal y como se puede notar el desarrollo de una topología en malla aunque es posible no es el más recomendable debido a que no se estaría empleando todos los beneficios que posee este tipo de topología tal y como es el caso de la posibilidad de poseer enlaces redundantes entre los diversos nodos que conforman la red, en este caso los equipos únicamente pueden enlazarse mediante una única ruta con otro de los nodos de la red, tal y como se muestra con la forma en la que se encuentran distribuidos los anillos de radiación de los equipos SkyPilot ya que muestran de manera más clara que la central telefónica 50301-01 únicamente puede alcanzar la central telefónica 50101-01 mediante el nodo 50504-01. Otro de los aspectos importantes radica en el hecho de que los equipos analizados

emplean el rango de frecuencias de 5GHz tanto para la capa de acceso así como para la capa de distribución por lo cual el ancho de banda disponible disminuye drásticamente.

### 3.3.1.2 Topología Punto a Punto.

La segunda alternativa planteada para interconectar las diferentes radiobases celulares a la red interna del I.C.E, fue mediante el empleo de enlaces punto a punto entre los diferentes sitios sin embargo este tipo de topología presenta como limitante el hecho de que cuando uno de estos enlaces falla, muchos de los sitios que dependen de este enlace se quedarán sin comunicación por lo cual el porcentaje de disponibilidad de la red empleando este tipo de topología no es muy bueno y dado el hecho de que la red se desarrollará como un medio de transporte de la información proveniente de los diversos dispositivos de seguridad se necesita que la disponibilidad de la red sea muy alta.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que empleando enlaces punto a punto la cantidad de equipo que se debe colocar en los monopolos de las radiobases generan un aumento extra de peso además de esto se presenta el problema de la disponibilidad del espacio en el monopolo debido a que se requiere de permisos para la asignación del mismo esto genera la posibilidad de que no exista espacio disponible a la altura requerida para cada uno de los equipos.

Por último y tal vez el aspecto más importante y que afecta de manera negativa el empleo de este tipo de topología es el hecho de que la red no sería escalable debido a que por cada nuevo enlace que se necesite realizar se deberá colocar un nuevo equipo en el monopolo de cada una de las radiobases.



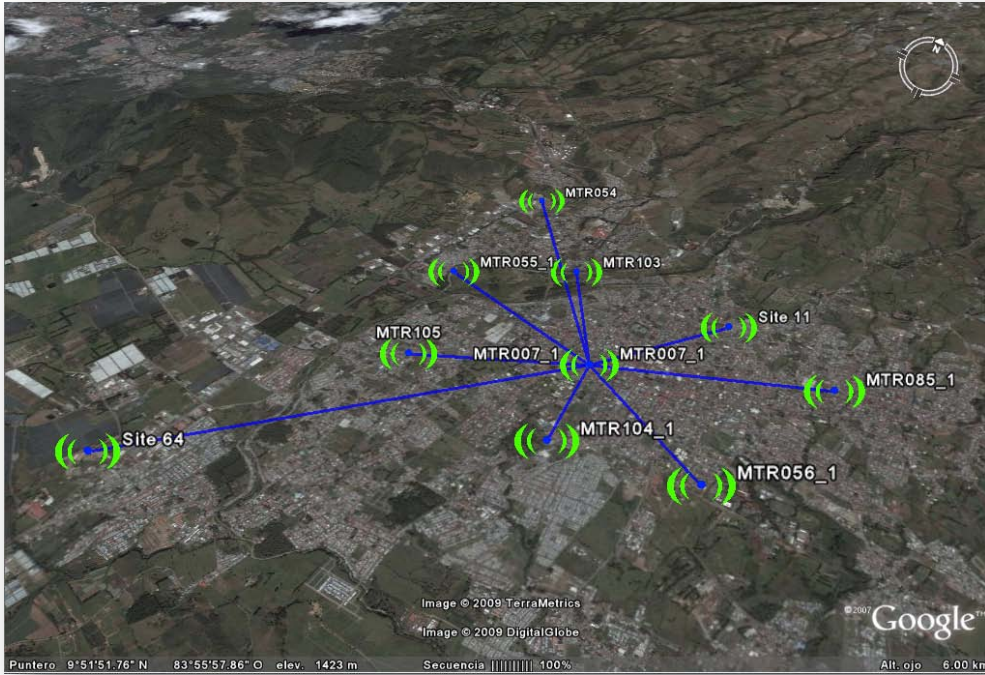
**Figura 3.2.** Topología punto a punto propuesta para la región de Guanacaste.

**Realizado en:** RadioMobile 10.0.9 y GoogleEarth Pro.

### 3.3.1.3 Enlaces Punto a Multipunto.

Como tercera alternativa se desarrollo una topología de enlace punto a multipunto como la que se muestra en la figura 3.3, la cual corresponde a la manera en la que se podrían enlazar los diferentes sitios de una manera más escalable y de menor gasto económico.





**Figura 3.3.** Topología punto a multipunto propuesta como ejemplo en la región de Cartago.

**Realizado en:** RadioMobile 10.0.9 y GoogleEarth Pro.

Una de las principales ventajas de este tipo de topología es que permite concentrar en un único punto una gran cantidad de equipos suscriptores, lo cual genera que la posibilidad de falla de un equipo no afecte el desempeño de los otros. Uno de los aspectos más importantes de este tipo de topología es la escalabilidad de la red, ya que si se necesitará realizar un nuevo enlace únicamente es necesario la colocación de un equipo suscriptor en el nuevo sitio lo cual permite maximizar el espacio disponible en los mástiles de las radiobases celulares. Además de esto el costo económico de esta topología es menor ya que no se requiere que todos los equipos tengan un gran ancho de banda debido a que los equipos realizan un enlace dedicado con la unidad central por lo cual el enlace es utilizado para enviar la información únicamente de los equipos instalados en el sitio, además de lo anterior este tipo de topología permite que sea aplicable en cualquier sitio del país tal y como se muestra en el ejemplo de la figura 3.3 en el cual la topología multipunto empleada en la región de Guanacaste también puede desarrollarse en las radiobases de la provincia de Cartago.

Sin embargo una de las principales dificultades de este tipo de topología radica en el hecho de que en los puntos donde se concentrarán los enlaces deben ser un punto de presencia (POP) de la red interna del Instituto Costarricense de Electricidad con el fin de que los datos enviados a este punto puedan ser redirigidos al centro de monitoreo. Esto reduce el número de sitios que pueden emplearse como estaciones base debido a que como se mencionó anteriormente la cantidad de radiobases que se encuentran en sitios con acceso a la red interna del I.C.E es mínimo.

## Capítulo 4 Descripción detallada de la solución.

### 4.1 Ancho de Banda Digital Requerido por los Equipos.

Uno de los aspectos más críticos en el diseño del proyecto consiste en poder garantizar que el ancho de banda disponible por enlace se ajuste a los requerimientos establecidos por la sección de Seguridad Electrónica, esto es muy importante debido al enfoque del proyecto ya que al tratarse de la seguridad de las radiobases se debe garantizar que el ancho de banda disponible sea el necesario para poder tener acceso a las cámaras colocadas en las radiobases así como a los diversos sistemas de seguridad que se instalarán.

Es por esto que se elaboró un análisis de los diversos anchos de banda que se requerirán tomando en cuenta diferentes resoluciones, cuadros por segundo y formatos de compresión de imágenes que podrían emplearse en las cámaras. Debido a que se colocará un máximo de cuatro cámaras IP por sitio, se empleará esto como criterio de diseño, con el fin de que cada enlace este en la capacidad de soportar este numero de cámaras, en cuanto al tráfico de datos este es de un bajo volumen por lo cual se le puede asignar 512Kbs extra al ancho de banda requerido para la transmisión de las imágenes.

Tomando en cuenta las diferentes resoluciones de video que la sección de Seguridad Electrónica se encuentra evaluando para el uso en las cámaras se procedió a realizar el cálculo del ancho de banda para esto se empleó la siguiente formula.

$$BW = \text{Tamaño Imagen} * \#\text{Cuadros por segundo} * \#\text{Camaras} \quad (4.25)$$

Donde:

$$BW = \text{Ancho de Banda}$$

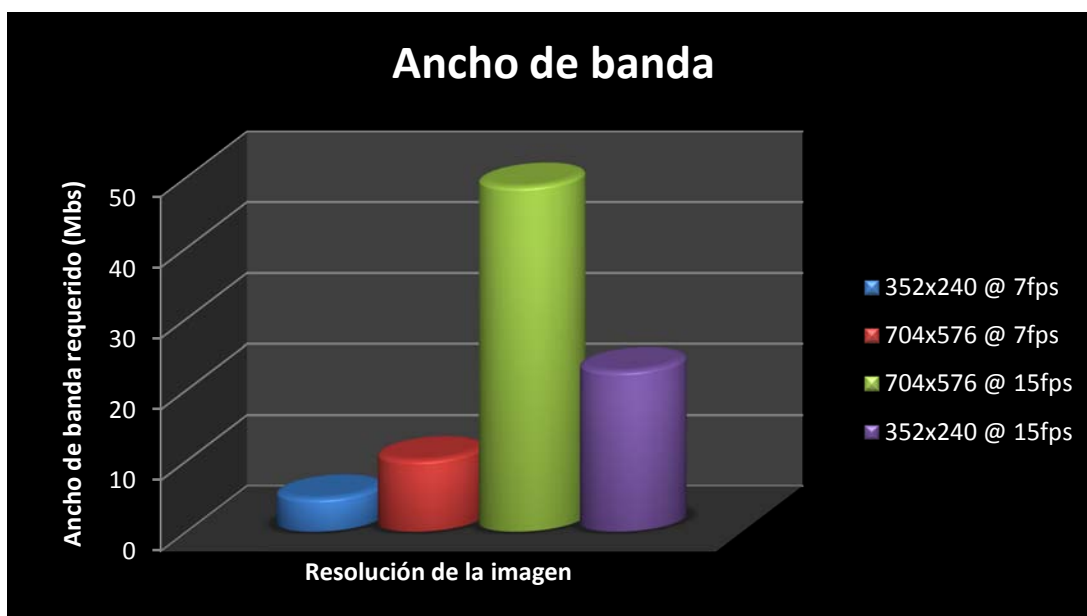
El tamaño de la imagen se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño Imagen} = \text{Resolucion (pixel)} * \text{Resolucion por pixels} \left( \frac{\text{bit}}{\text{pixel}} \right) \quad (4.26)$$

Tomando en cuenta estas ecuaciones se procedió a realizar el cálculo del ancho de banda requerido para una imagen con una resolución de 8 bits por pixel, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Ancho de banda requerido por cámara.

Resolución (Píxeles)	Tamaño imagen (KB)	Cuadros por segundo	Ancho de banda (Mbps)
352x240	82,5	7	4,73
		15	10,13
704x576	396	7	22,7
		15	48,66



**Figura 4.1.** Ancho de banda requerido por las cámaras basado en la tabla 3.

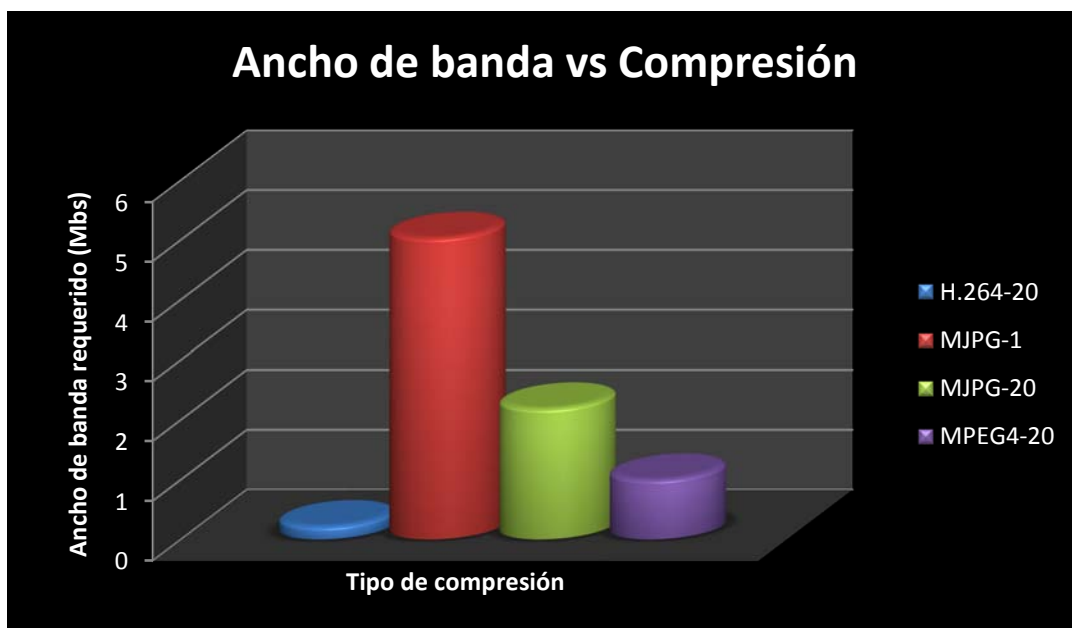
**Realizado en:** Microsoft Office Excel 2007.

Como se puede observar en el gráfico de la figura 4.1 se nota que el ancho de banda mínimo sin compresión se obtiene para una resolución de 352X240 píxeles y a una secuencia de siete cuadros por segundo para el cual se estarían necesitando alrededor de 5Mbps por cámara, por lo que al escalar este valor al número máximo de cámaras a emplear, se puede notar que se requieren de alrededor de 20Mbps por enlace lo cual es muy elevado, es por esto que se recurrió a realizar una serie de cálculos tomando en cuenta los

diferentes métodos de compresión de imágenes que existen en el mercado con el fin de lograr obtener la mejor resolución posible para el máximo número de cámaras y con el menor consumo de ancho de banda para esto también se empleó el software IP Camera [19] el cual es un programa especializado para el diseño de circuitos cerrados de televisión (CCTV), en la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al analizar los principales formatos de compresión de imágenes.

**Tabla 3.** Ancho de banda requerido por las 4 cámaras para una resolución de 352x240 pixeles.

Formato de Compresión	Resolución (Píxeles)	Tamaño imagen (KB)	Cuadros por segundo	Ancho de banda (Mbs)
H.264	352x240	1	7	0,2187
MJPG-1	352x240	23	7	5,0312
MJPG-20	352x240	10	7	2,1875
MPEG4	352x240	3	7	0,6562



**Figura 4.2.** Ancho de banda requerido por las cámaras basado en la tabla 4.

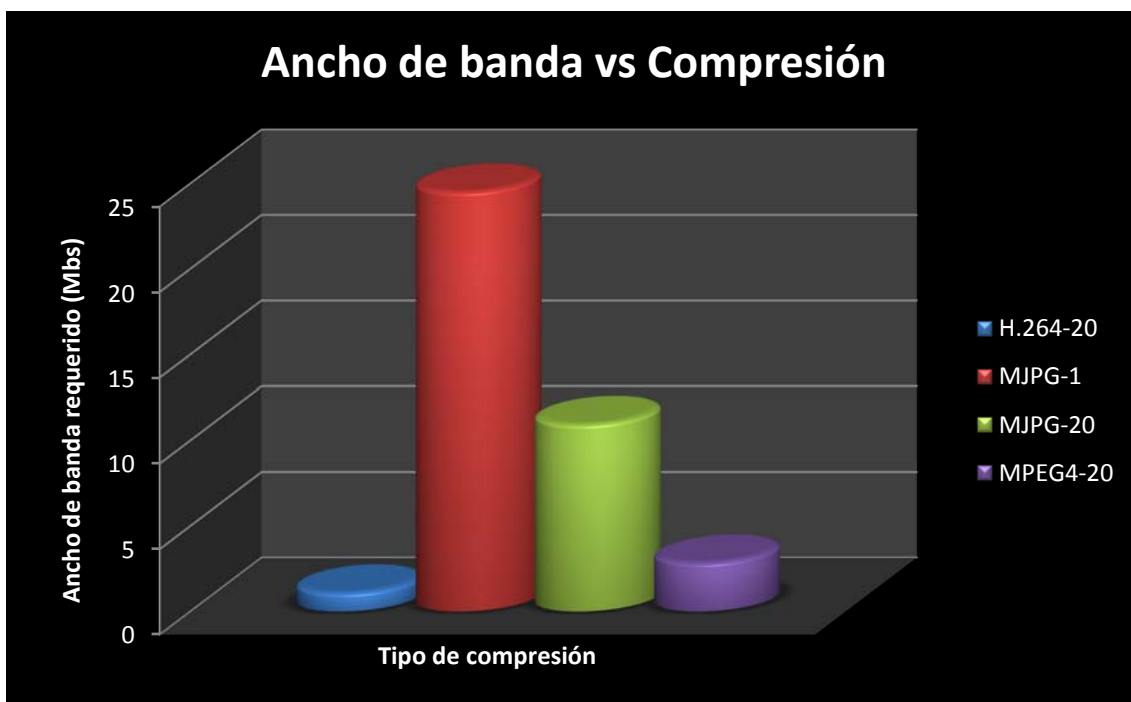
**Realizado en:** Microsoft Office Excel 2007.

En la figura 4.2 se muestra el consumo del ancho de banda de las cuatro cámaras en función del tipo de compresión, en este caso podemos observar que el menor consumo de ancho de banda para una resolución de 352x240

pixeles se obtiene para el formato de compresión de H.264 con la cual se necesita un enlace de aproximadamente 300Kbps, mientras que en el caso del formato de compresión MPEG4 se requieren de aproximadamente 700Kbps, se analizarán principalmente estos dos tipos de formatos debido a que es el que emplean la mayor parte de los equipos de vigilancia que utiliza el I.C.E sin embargo también se analizan los formatos de compresión MJPG con el fin de poder tener una idea del ancho de banda que se requieren los equipos que trabajan bajo estos formatos de compresión.

**Tabla 4.** Ancho de banda requerido por las 4 cámaras para una resolución de 704x576 pixeles.

Formato de Compresión	Resolución (Píxeles)	Tamaño imagen (KB)	Cuadros por segundo	Ancho de banda (Mbps)
H.264	704x576	5	7	1,0937
MJPG-1	704x576	112	7	24,5
MJPG-20	704x576	50	7	10,9375
MPEG4	704x576	13	7	2,8437



**Figura 4.3.** Ancho de banda requerido por las cámaras basado en la tabla 5.

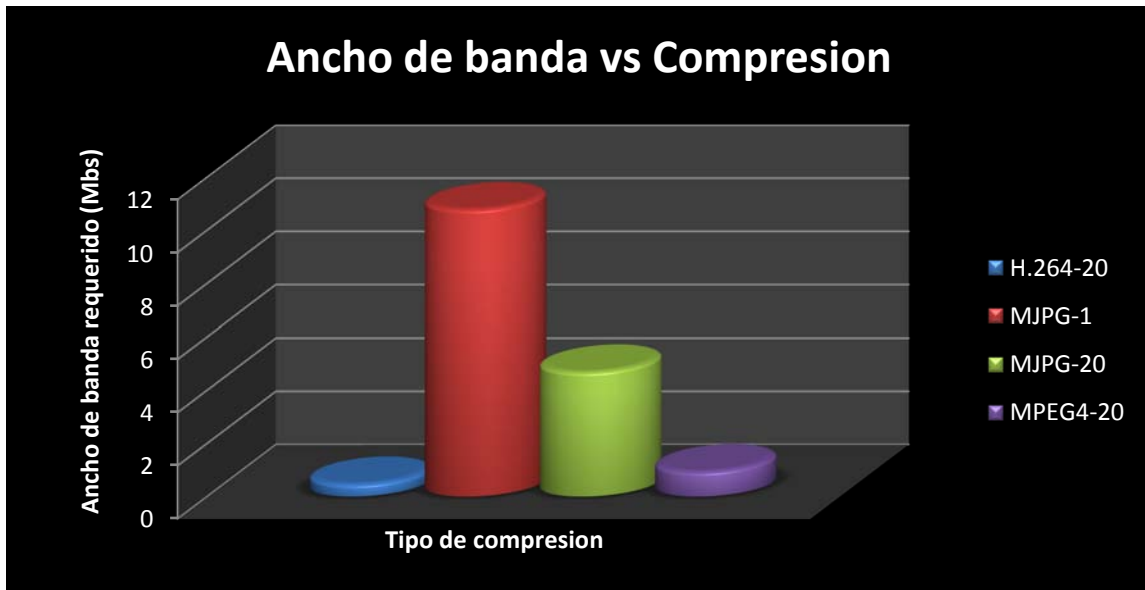
Realizado en: Microsoft Office Excel 2007.

Al aumentar el tamaño de la resolución de la imagen transmitida por las cámaras el ancho de banda que se requiere para su transmisión aumenta, esto se puede observar tanto en la tabla 5 así como en la figura 4.3 en la cual se puede notar que al aumentar la resolución de 352x240 a 704x576 pixeles se incrementa el ancho de banda requerido, analizando cada uno de los resultados obtenidos se puede notar que en el caso de la utilización de la compresión H.264 el ancho de banda requerido para las cuatro cámaras pasa de 300Kbps a 1Mbs aproximadamente, así también en el caso de la compresión MPEG4 el ancho de banda paso de 700Kbps a 2,9Mbs lo cual es un aumento considerable del ancho de banda.

Como se puede observar al comparar las figuras 4.3 y 4.4 un aumento en la resolución afecta proporcionalmente el ancho de banda requerido, por lo cual se planteó buscar la mejor opción en cuanto a desempeño y calidad por lo que se analizará al igual que en los casos anteriores las resoluciones de 352x240 así como la de 704x576 pixeles, pero a una frecuencia mayor de cuadros por segundo esto con el fin de que las imágenes que lleguen al centro de monitoreo sean lo más claras y fluidas posibles.

**Tabla 5.** Ancho de banda requerido para una resolución de 352x240 pixeles y 15 cuadros por segundo.

Formato de Compresión	Resolución (Pixeles)	Tamaño imagen (KB)	Cuadros por segundo	Ancho de banda (Mbps)
<b>H.264</b>	352x240	1	15	0,4687
<b>MJPG-1</b>	352x240	23	15	10,7812
<b>MJPG-20</b>	352x240	10	15	4,6875
<b>MPEG4</b>	352x240	2	15	0,9375



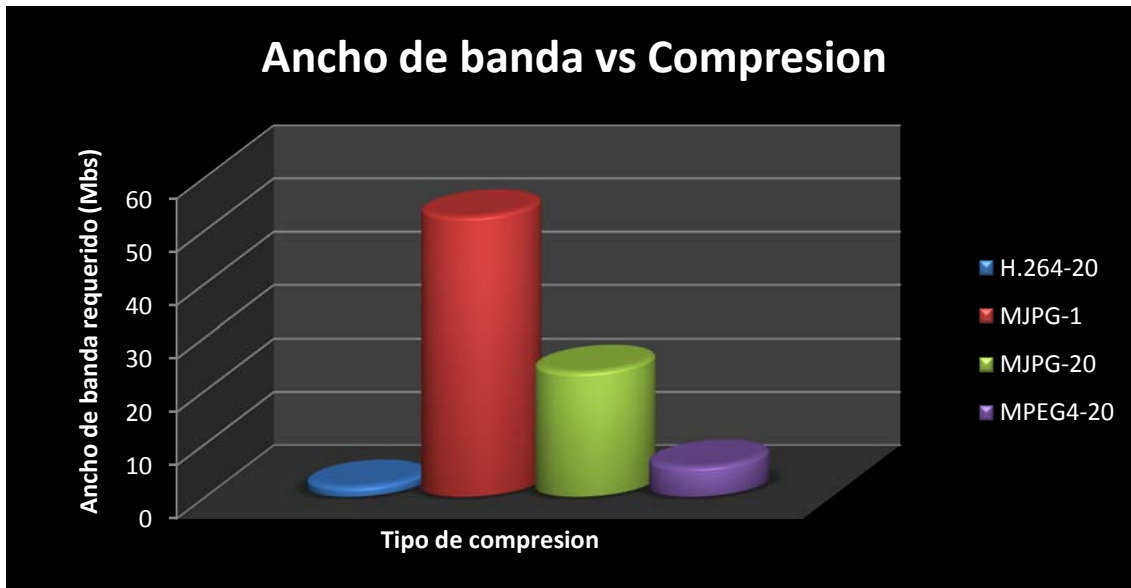
**Figura 4.4.** Ancho de banda requerido por las cámaras basado en la tabla 6.

**Realizado en:** Microsoft Office Excel 2007.

**Tabla 6.** Ancho de banda requerido para una resolución de 704x576 pixeles y 15 cuadros por segundo.

Formato de Compresión	Resolución (Pixeles)	Tamaño imagen (KB)	Cuadros por segundo	Ancho de banda (Mbps)
<b>H.264</b>	704x576	5	15	1,875
<b>MJPG-1</b>	704x576	112	15	52,5
<b>MJPG-20</b>	704x576	50	15	23,4375
<b>MPEG4</b>	704x576	13	15	5,625





**Figura 4.5.** Ancho de banda requerido por las cámaras basado en la tabla 7.

**Realizado en:** Microsoft Office Excel 2007.

Como se puede observar al realizar un análisis de los diferentes anchos de banda obtenidos para las diversas combinaciones de resoluciones y la cantidad de cuadros por segundo se observó que los dos formatos de compresión que mejor se ajustan a los requerimientos anteriormente mencionados de poder obtener la mejor resolución en las cámaras con el menor ancho de banda posible fueron el H.264 así como el MPEG4.

En base a los resultado obtenidos se pude observar que cuando las cuatro cámaras IP están trabajando a una resolución de 704x576 pixeles y una tasa de 15 cuadros por segundo bajo el formato de compresión H.264 se requiere de una ancho de banda estimado de 1,875Mbps mientras que si bajo este mismo escenario se emplea el formato de compresión MPEG4 el ancho de banda requerido que se estimó es de aproximadamente 5,625Mbps.

Al obtener los valores aproximados de los anchos de banda que se requerirán por cada enlace, se puede emplear esta información como base para la escogencia de los equipos así como para el diseño de los enlaces.

## 4.2 Análisis legal del proyecto.

En este caso se realizó una investigación de la legislación nacional vigente que hace referencia al área de las telecomunicaciones y que pudiera ser tomada en cuenta como referencia para el desarrollo del proyecto, en este caso en particular se analizó el reglamento a la Ley General de Telecomunicaciones [18] así como el Plan Nacional de Distribución de Frecuencias Radioeléctricas [17].

El aspecto más importante que se tomó en cuenta durante el estudio de los diferentes artículos que constituyen las leyes anteriormente mencionadas se encuentra la definición por parte del Estado de lo que es considerado como banda de uso libre con el fin conocer cuales frecuencias son consideradas pertenecientes a este rango, además de esto se buscó la definición de las especificaciones técnicas de los equipos que son permitidos en bandas de uso libre en caso muy particular la potencia de transmisión.

De acuerdo a los análisis realizados, y de acuerdo a la Ley General de Telecomunicaciones en el artículo 12 se establece que los equipos empleados bajo el formato de banda libre no deben provocar efectos perjudiciales a otros equipos que trabajen bajo bandas licenciadas, ya que de lo contrario se establecerán sanciones a la institución. El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias Radioeléctricas en el Adendum VI define lo que el Estado Costarricense reconoce como las frecuencias de la banda de uso libre la porción del espectro radioeléctrico conformado por los rangos de frecuencia: 2400 a 2483, 5150-5250, 5250-5350, 5470-5725 y 5725-5825 MHz además de esto se establecen las especificaciones técnicas de los equipos permitidos para trabajar bajo este rango de frecuencias.

En cuanto a las especificaciones técnicas de los equipos que son permitidos por ley para el uso en la banda de uso libre se establece una potencia máxima de transmisión de varía según el rango de frecuencia empleado, ya que para la banda de 2400 a 2438 MHz se establece que la potencia máxima de

transmisión es de 1W, mientras que el caso de la banda de frecuencias de 5150 a 5825 MHz la potencia máxima de transmisión es de 350mW.

Dentro de las ventajas que presenta el uso de este tipo de frecuencias se encuentra el hecho de que no se requieren permisos o concesiones para el uso de la banda, sin embargo al ser frecuencias donde se comparte la misma porción del espectro electromagnético se pueden producir un sin número de interferencias debido a otros usuarios así como por equipos que trabajen bajo frecuencias licenciadas.

Como contraparte de las frecuencias de uso libre se encuentran las frecuencias que trabajan bajo el régimen de banda licenciada, esta banda presenta una importante ventaja respecto a las primeras ya que al ser concesionada no se permite que otros equipos puedan transmitir dentro de esta porción del espectro, lo cual minimiza las interferencias perjudiciales. Sin embargo como aspecto negativo se encuentra el hecho que la concesión de las frecuencias licenciadas requiere de un desembolso económico así como que las frecuencias se encuentren disponibles para lo cual se deben hacer los trámites de concesión ante la Rectoría de Telecomunicaciones del Ministerio De Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET).

#### 4.3 Análisis de los equipos.

Dentro de las diferentes alternativas que se analizan como medio para poder formular una solución se encuentra la creación de una red inalámbrica tipo mallada (Mesh), así como una red de tipo punto multipunto mientras que en el último caso se planteó realizarla por medio de enlaces dedicados punto a punto.

Es por este motivo que se requirió el análisis de diferentes equipos que puedan desempeñarse en alguno de estos casos, bajo frecuencias de uso libre por lo cual se buscaron productos de diversos fabricantes de los cuales se analizaron aspectos de costos y beneficios. Dentro de la gama de fabricantes y modelos

de equipos se examinó los equipos punto a punto, punto a multipunto así como los equipos subcriptores (CPE).

#### 4.3.1 Equipos Punto a Punto que operan bajo frecuencias no licenciadas.

Dentro de los diferentes equipos para radioenlaces que pueden operar bajo las frecuencias no licenciadas, se encontraron una serie de 6 proveedores los cuales se muestran en la tabla 8.

**Tabla 7.**Equipos Punto a Punto que operan bajo frecuencias no licenciadas.

Equipo	Fabricante	Rango de Frecuencias (GHz)	Ancho de banda (Mbps)	Distancia de enlace máxima (Km)	Costo económico (\$)
<b>Tsunami QB-8100 EPR-US</b>	Proxim	4.9 - 6.0	100	8	2,699.00
<b>Gi-LINX 5.8 58PLRI Gi-LINX 5.8 58PLRC</b>	GigaBeam	5.470 - 5.875	108	48 *	
<b>PTP 58500 lite PTP 58300 PTP 58500 Full</b>	Motorola	5.8  5.9	54 25 105	LOS 200, nLOS 10	7,137.00 4,757.00 10,311.00
<b>AI108-4958-O</b>	Airaya	4.94 -5.86	108	50	2,740.00
<b>Rocket M5 Airmax</b>	Ubiquiti	5.470 - 5.825	54	*	234**
<b>BreezeNet B10 BreezeNet B14 BreezeNet B28 BreezeNet B100 BreezeNet B300</b>	Alvarion	5.150 - 5.850	10 14 35 70 100	50	

\* Depende de la antena empleada para realizar el enlace.

\*\* Precio del radio RF, las antenas deben comprarse por separado.

Uno de los aspectos que se deben tomar en cuenta cuando se realizan conexiones de enlaces punto a punto consiste en determinar el número de enlaces que se pueden trabajar a diferentes frecuencias el cual viene determinado por la siguiente relación:

$$\#Canales\ disponible = \frac{f_{superior} - f_{inferior} - 5MHz}{Ancho\ del\ canal}$$

Donde  $f_{superior}$  hace referencia al límite superior del rango de frecuencias, mientras que  $f_{inferior}$  se refiere al valor menor del rango de frecuencias en el caso de la frecuencia de 5MHz se emplea como banda guarda con el fin de evitar posibles traslapes de frecuencias con las bandas que se encuentren en los límites superior e inferior, ya que esto podría generar problemas en la calidad del nivel de señal del enlace.

En el caso de los datos mostrados en la tabla 8 se puede observar que existen grandes diferencias entre todos los fabricantes tanto desde el ancho de banda disponible para los enlaces así como también la distancia máxima que es posible alcanzar con los equipos. Realizando un análisis al ancho de banda disponible por cada uno de los equipos se muestra que tanto los equipos de los fabricantes Airaya [34], Motorola [35], Alvarion [36] así como los de GigaBeam [37] son los que poseen tasas de anchos de banda del rango de los 100Mbps, mientras que en cuanto a las distancias máximas de enlace se puede ver que los equipos de la marca Motorola es el que presenta un mayor rango de alcance ya que el modelo PTP 58500 Full puede alcanzar distancias de 200Km bajo línea vista y 10Km con casi línea vista, lo cual permite realizar enlaces en lugares donde no se posee una liberación del 100% de la primera zona del radio de Fresnel. Sin embargo una de las mayores limitantes en este caso radica en el hecho de que el precio por enlace es muy elevado ya que este se aproxima a los \$10,311.00 lo cual provoca que al pensar en la utilización de estos equipos a nivel nacional el costo total del proyecto sería muy elevado ya que actualmente y según los datos provistos por la sección de Radio del Instituto Costarricense de Electricidad el número de radiobases construidas hasta el momento es de 483 sitios.

#### 4.3.2 Equipos Punto a Multipunto que operan bajo frecuencias no licenciadas.

Las tecnologías de enlace punto a multipunto es aquella donde se emplean equipos centrales denominados estaciones bases donde se encuentra el punto de presencia de la red (conocido como POP Point of Presence por sus siglas en inglés), el acceso a la red se da por medio de los sistemas clientes o suscriptores (denominados CPE Customer Premises Equipment por sus siglas en inglés), dentro de los diferentes equipos para radioenlaces que pueden operar bajo las frecuencias no licenciadas, se encontraron una serie de proveedores los cuales se muestran en la tabla 9.

**Tabla 8.** Equipos Punto a Multipunto que operan bajo frecuencias no licenciadas.

Equipo	Fabricante	Rango de Frecuencias (GHz)	Ancho de banda (Mbps)	Distancia de enlace máxima (Km)	Costo económico (\$)
<b>MeshMax5054 Tsunami MP-8100</b>	Proxim	5.15-6.08	54	**	3,099.99
		4.9 - 6.0	300/ 54*	**	
<b>Gi-LINX 5.8 58MLRI Gi-LINX 5.8 58MLRC</b>	GigaBeam	5.470 - 5.875	108	15	
				**	
<b>PMP 100 5700AP PMP 400</b>	Motorola	5.8	14	3,2	
			20		
<b>ISP-BS500AH</b>	NetKrom	5.150 - 5.850	54	**	
<b>Rocket M5 Airmax</b>	Ubiquiti	5.470 - 5.825	54	**	234***
<b>BreezeAccess VL</b>	Alvarion	5.150 - 5.850	54	50	
<b>SkyGateway SkyExtender</b>	Skypilot	4.940 - 5.850	20(UDP)	16	4,799.00
			12(TCP)		
<b>Access5830 AccessPoint</b>	Trango Systems	5.725 - 5850	10	28	783

\* Dependiente de la modulación empleada MCS 300Mbps y 64-QAM 54Mbps.

\*\* Dependiente de la antena empleada

\*\*\* Precio del radio RF, las antenas deben comprarse por separado.

Dado que los equipos de CPE de una red punto a multipunto definen en gran parte la cobertura de la red, se procedió a realizar una comparación de los diferentes equipos suscriptores que emplean las tecnologías analizadas en la tabla 9, de la cual se desprendió la siguiente información la cual se muestra en la tabla 10

**Tabla 9.** Comparación entre los diferentes equipos suscriptores.

Equipo	Fabricante	Rango de Frecuencias (GHz)	Ancho de banda (Mbps)	Distancia de enlace máxima (Km)	Costo económico (\$)
Tsunami QB-8150 EPR-US 9200 MeshMax	Proxim	4.9 - 6.0	100	**	3,099.99
		5.15 - 6.08	54	**	
Gi-LINX 5.8 58PLRI Gi-LINX 5.8 58PLRC	GigaBeam	5.470 - 5.875	108	48 **	
Mororola Canopy 5200 Motorola Canopy 5700 Motorola Canopy 5400- Advantage	Motorola	5.2	6	*	
		5.7	7	*	
		5.4	14	*	
ISP-CPE500AUHP	NetKrom	5.150 - 5.850	54	32	
Rocket M5 Airmax NanoStation M5	Ubiquiti	5.470 - 5.825	54	**	234***
		5.475 - 5.825	54	15	
BreezeAccess VL	Alvarion	5.150 - 5.850	54	50	
SkyConnector SkyConnector Pro	Skypilot	4.940 - 5.850	13	16	4,799.00
Access5830 CPE	Trango Systems	5.725 - 5850	10	28	783

\* 3Km con la antena interna y 16Km con reflector pasivo

\*\* Dependiente de la antena empleada

\*\*\* Precio del radio RF, las antenas deben comprarse por separado.

Como se puede ver en este caso cuando se emplean redes con una configuración de punto a multipunto no se debe tomar en cuenta únicamente a las estaciones base debido a que la interconexión con las mismas se realiza mediante el equipo suscriptor, por lo cual el rango de cobertura del mismo forma un limitante de la extensión de la cobertura de la red debido a que por ejemplo si se desea realizar un enlace entre la estación base y un suscriptor a 10Km de distancia de la misma bajo la siguiente condición: la estación base puede proveer una cobertura de 15Km y el equipo suscriptor únicamente puede realizar enlaces de 5Km de distancia, se produce un problema debido a que se crea un enlace de una única vía o Simplex debido a que el modulo suscriptor puede recibir la información proveniente de la base mientras que cuando se desea realizar un enlace entre el modulo suscriptor y la estación base será inalcanzable debido a que esta se encuentra a una distancia mayor a los 5Km establecido como alcance máximo del equipo.

En cuanto a la escogencia del equipo se optó por los equipos de empresa Alvarion debido a que los equipos cumplen con los estándares establecidos para las distancias de enlace así como en cuanto a los anchos de banda requeridos además del hecho que sus soluciones tanto para enlaces punto a punto así como multipunto se encuentran dentro de las mejores, aunque los equipos que presentan una mejor opción son los de la marca NetKrom debido a que fueron diseñados especialmente para empresas que se desempeñan como WISP (Wireless Internet Service Provider) por lo que poseen enrutadores dentro de los radios esto permite que el equipo se desempeñe en una gran cantidad de ambientes tanto como equipos punto a punto o punto multipunto.

Sin embargo en el país no existen proveedores de estos equipos por lo cual generaría que el I.C.E tenga que realizar una compra en el exterior, afectando el tiempo de ejecución del proyecto así como el hecho de generarse una dificultad cuando se requiera que la empresa cambie algún dispositivo dañado. Caso contrario con los equipos Alvarion de los cuales si existen proveedores autorizados en el país.



#### 4.4 Análisis de la Topología Actual de las Radiobases.

Como se mencionó en la sección 2.2.6 del marco teórico la topología de la red se encuentra profundamente ligada a la manera en la que se conectan los diferentes sitios y equipos. Es por esto que uno de los pasos iniciales para poder generar una propuesta de diseño real de la red inalámbrica requiere de un conocimiento de la localización de manera precisa de cada uno de los diferentes sitios que formarán parte del estudio. En este caso se emplearon los datos de la División de Servicios Infraestructura Civil y Electromecánica, debido a que esta sección posee un inventario de las diferentes radiobases y centrales telefónicas del país así como su localización geográfica (Latitud y Longitud), es por esto que con base a la información brindada y que se encuentra en el Anexo 4 se logró ubicar cada uno de los sitios dentro del mapa de Costa Rica por medio del software RadioMobile así como por medio de GoogleEarth, a partir de estos datos se consiguió tener una noción más clara de las distancias entre cada una de las radiobases.

Para el análisis de la distribución de los sitios también se empleó la información brindada por la División de Información Corporativa, la cual proporcionó los datos de los anchos de banda disponibles de la red institucional en cada una de las diferentes agencias telefónicas así como de las centrales eléctricas que se muestra en el Anexo 3.

Una vez que se logró realizar la ubicación e identificación de los diferentes sitios así como de los POP de la red institucional se generó un mapa como el que se muestra en la figura 4.6, el cual permitió realizar el estudio del perfil de los enlaces con el propósito de conocer en cuales sitios es posible la elaboración de enlaces inalámbricos.



por medio del software de RadioMobile con lo cual se logró realizar el análisis de factibilidad técnica del enlace inalámbrico a una frecuencia de 4,9-5,9GHz con el fin de cubrir el rango de operación de las frecuencias permitidas por ley. El empleo del RadioMobile [27] se realizó con el fin de poder evaluar las características geográficas del relieve de la periferia de cada sitio con el propósito de poder establecer si existía la posibilidad de desarrollar enlaces entre esta y otras centrales o radiobases.

Por medio de los datos brindados por el software de simulación así como por el GoogleEarth se pudo realizar un análisis de la zona de Fresnel así como las pérdidas de atenuación en el espacio libre, a continuación se presentan los resultados de estos cálculos, es importante recordar que los cálculos se encuentran disponibles en la sección de apéndices.

#### 4.5.1 Sitios con conexión inalámbrica al Punto de Presencia (POP)

Estos sitios se encuentran conformados por aquellos en los cuales se logró comunicar a un cierto número de radiobases con una estación central a través de la cual se puede tener acceso a la red interna del I.C.E. A continuación se muestran los cálculos de los principales parámetros que se tomaron en cuenta para el establecimiento de los enlaces en cada uno de los puntos de presencia.

##### 4.5.1.1 Pérdidas de propagación en el espacio libre.

Las pérdidas de propagación en el espacio libre son uno de los aspectos que más interfieren en el planeamiento de los enlaces inalámbrico debido a que estas se encuentran en función de la frecuencia así como de la distancia del enlace por lo cual a mayor distancia las pérdidas de potencia de la señal debido al espacio libre aumentan. A continuación se muestra el cálculo de la atenuación de la señal a causa de la propagación en el espacio libre para el enlace entre la central telefónica de Cañas Dulces 50102-01 y la radiobase de Santa Rosa 20104-01.

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(d) + 20\text{Log}(5,8)$$

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(16.52) + 20\text{Log}(5,8)$$

$$L_{Espacio} = 132.0287\text{dB}$$

En la tabla 11 se muestran los resultados de la atenuación debido al espacio libre para los enlaces establecidos entre las diferentes radiobases celulares y el punto de presencia de la red interna del I.C.E.

**Tabla 10.**Perdidas de propagación en el espacio libre.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Perdidas de propagación (dB)
<b>50102-01</b>	20104-01	16.52	132.0287
	50103-01	11.21	128.6606
<b>50101-02</b>	50102-02	13.50	130.2752
	50401-03	13.33	130.1651
	50101-05	9.38	127.1126
	50101-04	0.97	107.4039
	50101-01	11.71	129.0396
<b>50501-01</b>	50101-01	16.40	131.9654
	50104-01	13.68	130.3902
	50503-01	13.08	130.0007
	50504-01	5.68	122.7555
<b>50401-02</b>	50806-01	26.62	136.1727
	50602-01	18.03	132.7884
	50401-01	7.41	125.0649
<b>50403-01</b>	50402-01	4.22	120.1748
<b>50301-02</b>	50301-01	7.91	125.6320
	50301-04	5.40	122.3164
	50307-01	7.66	125.0649
<b>50801-01</b>	50803-01	5.61	122.6478
<b>50601-01</b>	50601-02	16.47	132.0024
	50603-01	10.88	128.4011
<b>50701-02</b>	50704-01	8.62	126.3787
	50703-01	6.35	123.7240
<b>50201-01</b>	50202-03	7.79	125.4993
<b>50206-02</b>	50306-01	8.55	126.3078
<b>50205-02</b>	51101-02	4.93	121.5254
	50205-01	3.11	117.5237
	50906-02	16.15	131.8320

#### 4.5.1.2 Atenuación debido a la Lluvia.

El cálculo del efecto de atenuación que provoca la lluvia sobre la potencia de la señal transmitida se calculó por medio de la recomendación UIT-R P.838-3 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) por medio de la cual se obtuvo el promedio de la intensidad de lluvia para Costa Rica el cual es de 145mm/h de acuerdo a la información del Anexo 2.

Además de la intensidad de lluvia promedio anual brindada por al UIT, se accedió a la información que posee el Instituto Meteorológico Nacional [20], sin embargo esta institución no posee las estadísticas de todos los sitios requeridos para el estudio, por lo cual se decidió emplear la información proporcionada por la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Para el cálculo de la atenuación debido a la lluvia, se realizó una interpolación con los datos presentes en la recomendación UIT-R P.838-3 tal y como se puede observar en la sección A.3 de la sección de apéndices, esto ya que al no existir información acerca del valor de las constantes de  $K_h$  así como de  $\alpha_h$  para la frecuencia de 5.8GHz se decidió emplear estas constantes para el cálculo debido a que la polarización horizontal es la más susceptible a la atenuación producida por la lluvia.

De acuerdo con los datos de la interpolación de la sección A.3 del apéndice, se obtuvieron los siguientes polinomios de interpolación para el cálculo de los coeficientes de  $K_h$  y  $\alpha_h$ . Para el caso del cálculo de  $K_h$  se empleó el siguiente polinomio:

$$K_h(f) = 6x10^{-9} \cdot f^6 - 8x10^{-7} \cdot f^5 + 2x10^{-5} \cdot f^4 - 0,0001 \cdot f^3 + 0,0004 \cdot f^2 - 0,0005 \cdot f + 0,0002$$

Donde:

$K_h(f)$  = valor de la constante de  $K_h$  por interpolación

$f$  = Frecuencia de cálculo

Al emplear la ecuación de interpolación para el cálculo del coeficiente  $K_h$  para la frecuencia de 5,8GHz se obtuvo un valor de 0,0006036478. En el caso del cálculo de la constante  $\alpha_h$  se utilizó el siguiente polinomio obtenido de la interpolación de las frecuencias de 4.5GHz a 7GHz:

$$\alpha_h(f) = -0,0127 \cdot f^4 + 0,3151 \cdot f^3 - 2,9156 \cdot f^2 + 11,816 \cdot f - 15,941$$

Donde:

$\alpha_h(f)$  = valor de la constante de  $\alpha_h$  por interpolación

$f$  = Frecuencia de cálculo

Al emplear la ecuación de interpolación para el cálculo del coeficiente  $\alpha_h$  para la frecuencia de 5,8GHz se obtuvo un valor de 1,618857. Una vez que se obtuvieron los valores de los coeficientes de  $K_h$  así como  $\alpha_h$  para la frecuencia de 5,8GHz se procedió a realizar el cálculo de la atenuación empleando las ecuaciones de la sección 2.2.2.2 de la siguiente manera:

La intensidad promedio de lluvia para el 0.01% según la gráfica mostrada en el Anexo 2:

$$R=145 \text{ mm/h.}$$

Empleando la ecuación 2.9 para el cálculo de la atenuación específica se obtiene:

$$\gamma_R = 0.0006036476 \cdot 145^{1.618857}$$

$$\gamma_R = 1,9042 \text{ dB/Km}$$

Para el cálculo del factor de reducción se procedió a calcular primero el factor  $d_o$  por medio de la ecuación 2.14 del cual se obtuvo el siguiente valor:

$$d_o = 35e^{-0.015 \cdot 145}$$

$$d_o = 3,976 \text{ Km}$$

Luego del cálculo de la constante  $d_0$  se procedió a realizar el cálculo del factor de reducción por medio de la ecuación 2.13 que en el caso del enlace entre la central telefónica de Cañas Dulces 50102-01 y la radiobase de Santa Rosa 20104-01 la distancia del enlace es de 16.52Km aproximadamente por lo que el cálculo del factor de reducción es el siguiente:

$$r = \frac{1}{1 + 16.52/3.976}$$
$$r = 0.1939 \text{ Km}$$

Calculando la distancia efectiva por medio de la ecuación 2.12 se obtuvo el siguiente valor:

$$d_{eff} = 16,56 \cdot 0.1939$$
$$d_{eff} = 3.2048 \text{ Km}$$

Por último el cálculo de la atenuación total provocada por la lluvia para el enlace entre las centrales viene dado por la ecuación 2.8 según la cual:

$$A_{Total} = 1,9042 \cdot 3,2048$$
$$A_{Total} = 6,1028 \text{ dB}$$

En la tabla 12 se muestra los resultados obtenidos al realizar el cálculo de la atenuación debido a la lluvia para los diferentes enlaces.

**Tabla 11.** Atenuación de la señal debido a la lluvia.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Distancia Efectiva (Km)	Atenuación Lluvia (dB)
50102-01	20104-01	16.52	3.2048	6.1028
	50103-01	11.21	2.9351	5.5892
50101-02	50102-02	13.50	3.0715	5.8490
	50401-03	13.33	3.0626	5.8321
	50101-05	9.38	2.7924	5.3176
	50101-04	0.97	0.7797	1.4849
	50101-01	11.71	2.9682	5.6524
50501-01	50101-01	16.40	3.2002	6.0942
	50104-01	13.68	3.0807	5.8665
	50503-01	13.08	3.0492	5.8066
	50504-01	5.68	2.3388	4.4538
50401-02	50806-01	26.62	3.4594	6.5877
	50602-01	18.03	3.2577	6.2036
	50401-01	7.41	2.5876	4.9276
50403-01	50402-01	4.22	2.0472	3.8984
50301-02	50301-01	7.91	2.6460	5.0388
	50301-04	5.40	2.2899	4.3607
	50307-01	7.66	2.6174	4.9844
50801-01	50803-01	5.61	2.3269	4.4311
50601-01	50601-02	16.47	3.2029	6.0992
	50603-01	10.88	2.9119	5.5452
50701-02	50704-01	8.62	2.7210	5.1816
	50703-01	6.35	2.4451	4.6561
50201-01	50202-03	7.79	2.6325	5.0130
50206-02	50306-01	8.55	2.7140	5.1682
50205-02	51101-02	4.93	2.2010	4.1913
	50205-01	3.11	1.7450	3.3231
	50906-02	16.15	3.1906	6.0758



#### 4.5.1.3 Cálculo de la zona de Fresnel.

Para el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel, se realizó un análisis de los perfiles de enlace obtenidos por medio del software RadioMobile con el propósito de observar en los mapas topográficos de la región los diferentes aspectos del relieve que puedan provocar una obstrucción de la zona de Fresnel. Para esto se empleó la ecuación 2.16 por medio de la cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 12.** Cálculo del primer radio de la zona de Fresnel.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Distancia D1(Km)	Distancia D2(Km)	Primer Radio de Zona Fresnel (dB)
50102-01	20104-01	16.52	1.73	14.79	9.0432
	50103-01	11.21	9.12	2.09	9.4752
50101-02	50102-02	13.50	3.84	9.66	12.0451
	50401-03	13.33	6.42	4.15	10.2730
	50101-05	9.38	5.46	3.92	10.9764
	50101-04	0.97	0.48	0.48	3.5414
	50101-01	11.71	6.02	5.69	12.4279
50501-01	50101-01	16.40	12.66	3.74	12.3468
	50104-01	13.68	10.48	3.2	11.3772
	50503-01	13.08	11.16	1.92	9.3004
	50504-01	5.68	3.88	1.8	8.0575
50401-02	50806-01	26.62	13.31	13.31	18.7455
	50602-01	18.03	3.81	1.86	4.5555
	50401-01	7.41	3.42	3.99	9.8608
50403-01	50402-01	4.22	2.11	2.11	7.4636
50301-02	50301-01	7.91	4.78	3.13	9.9935
	50301-04	5.40	2.83	2.57	8.4330
	50307-01	7.66	5.54	2.12	8.9977
50801-01	50803-01	5.61	3.22	2.39	8.5107
50601-01	50601-02	16.47	11.72	4.75	13.3594
	50603-01	10.88	1.96	8.92	9.2112
50701-02	50704-01	8.62	4.31	4.31	10.6671
	50703-01	6.35	2.21	4.14	8.7223
50201-01	50202-03	7.79	6.15	1.64	8.2682
50206-02	50306-01	8.55	5.48	3.07	10.1929
50205-02	51101-02	4.93	3.3	1.63	7.5901
	50205-01	3.11	1.55	1.55	6.3866
	50906-02	16.15	5.24	10.03	13.1085

Es importante hacer notar que se consideró como obstáculo aquellas elevaciones del terreno en las que la presencia de edificaciones o vegetación puedan provocar que exista una obstrucción de la primera zona del radio de Fresnel o que no permitan la liberación del 60% de la misma.

#### 4.5.1.4 Cálculo de la altura óptima de los equipos.

Dado que para el establecimiento de los enlaces entre las diferentes centrales telefónicas y las radiobases celulares se emplearán las antenas que posee el Instituto Costarricense de Electricidad para brindar cobertura celular estas presentan diferentes alturas de acuerdo a una serie de regulaciones aquellas que se encuentran dentro de centros urbanos poseen como máximo 30m de altura, mientras que las que se colocan en regiones rurales la altura máxima permitida es de 60m, es por esto que el cálculo de la altura de las antenas para este proyecto no se enfocará al diseño de la altura del mástil de la antena, sino más bien en encontrar la altura idónea donde se deben colocar los equipos dentro de los márgenes de altura de las antenas que posee el I.C.E esto con el fin de obtener las mejores condiciones posibles para el establecimiento de los diferentes radioenlaces.

Es importante mencionar que los equipos se colocarán a una altura de 30m para las antenas rurales y de 25m en las urbanas, por lo cual el estudio únicamente se realizará para aquellos sitios donde la línea vista entre los equipos transmisor y receptor presenta un compromiso importante. El cálculo de la altura en la que se deben colocar los equipos se realizó empleando las ecuaciones de la sección 2.2.8, 2.2.9 y 2.2.10 respectivamente.

En los siguientes cálculos se muestra el ejemplo del cálculo realizado para el enlace establecido entre las centrales telefónicas de Santa Cruz y la radiobase de Santa Rosa en la región de Guanacaste, inicialmente se calculó el factor de radio ficticio para el cual se emplearon los valores del coeficiente de refracción el cual varía de acuerdo a la época del año así como a la región por lo cual se emplearon los valores del coindice de refracción mostrados en la recomendación de la UIT R P.453-9 según la cual Costa Rica posee un

coíndice de refracción que varía entre los -50 a -60 sin embargo empleando la recomendación de que brinda esta Institución se empleará el caso crítico de  $K=4/3$  el cual se establece como un criterio de diseño para las regiones de climas Tropicales.

Una vez que se posee el valor del K se prosiguió a realizar el cálculo del radio efectivo de la tierra para la región empleando la ecuación 2.19 de la siguiente manera:

$$R_e = 1,33 \cdot 6370$$

$$R_e = 8472.1Km$$

Para los siguientes cálculos se necesita conocer una serie de parámetros como son las distancias de separación así como las alturas a las cuales se encuentran los equipos y el obstáculo. Para el caso del enlace realizado entre la central telefónica de Santa Cruz 50301-02 y la radiobase de Río Cañas 301-01 se obtuvieron los siguientes resultados a los que se debe colocar la antena para lograr la liberación del 60% de la primera zona de Fresnel.

$$\text{Altura } H_a \text{ del Transmisor} = 87,3msnm$$

$$\text{Altura } H_b \text{ del Receptor} = 49,5msnm$$

$$\text{Altura } H \text{ del Obstaculo} = 56,9msnm$$

$$\text{Distancia } D \text{ entre los equipos} = 7,91Km$$

$$\text{Distancia } D_1 \text{ del Transmisor al Obstaculo} = 4,72Km$$

$$\text{Distancia } D_2 \text{ del Receptor al Obstaculo} = 3,19Km$$

$$\text{Frecuencia de Operación} = 5,8GHz$$

$$H_1 = 87,3 + H_a$$

$$H_2 = 49,5 + H_b$$

$$H_1 = 64,54$$

$$[64,54 - (87,3 + H_a)] \cdot 3,09 = [(49,5 + H_b) - 64,54] \cdot 4,82$$

$$H_a = 1,5598 \cdot H_b - 0,7004$$

Variación $H_b$	Altura $H_a$
5	7,0986
4	5,5388
3	3,979
2	2,4192
1	0,8594
0	-0,7004
-1	-2,2602
-2	-3,82
-3	-5,3798
-4	-6,9396

Como se puede observar en el cálculo anterior la altura que permite poseer una liberación del 60% de la zona de Fresnel utilizando la menor altura posible fue de -0,7004m, ya que con esto se logra que al dejar el equipo a la altura Hb inicial, se requiera únicamente disminuir la altura del equipo en la torre Ha un aproximado de 70cm con el fin de poder lograr el despeje necesario de la zona de Fresnel.

**Tabla 13.** Cálculo de la altura óptima para la colocación de los equipos.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Altura del Transmisor Equipos (m)	Altura optima del equipo (m)
50101-02	50401-03	31	6,4m
50301-02	50301-01	30	-0.7004
50601-01	50601-02	31	4,84
50205-02	50906-02	31	-19,39

#### 4.5.1.5 Presupuesto de enlace.

Para el cálculo del presupuesto de enlace se utilizó la ecuación 2.1 del marco teórico, por medio de esta ecuación se puede conocer el margen de estabilidad que posee el enlace, es decir cuántos decibeles se encuentra por encima de la sensibilidad mínima de los equipos empleados, dentro del presupuesto de enlace se estableció la necesidad de garantizar 5dB como margen de seguridad mínimo, esto con el fin de garantizar que el enlace no se vería afectado ante una variación climatológica mínima.

En la tabla 15 se muestra el cálculo del presupuesto de enlace realizado entre la central telefónica de Cañas Dulces 50102-01 y la radiobase de Santa Rosa 20104-01.

**Tabla 14.** Presupuesto de enlace entre las radiobases 50102-01 y 20104-01.

Parámetros	Valor	Unidades
Potencia de Transmisión	21	dBm
Ganancia de la Antena Tx	21	dBi
Perdidas de Espacio Libre	132.0287	dB
Perdidas de Atenuación por Lluvia	6.1028	dB
Ganancia de la Antena Rx	17	dBi
Sensibilidad de Recepción	-89	dBm
Margen de Seguridad Resultante	9.8685	dB

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los presupuestos de enlace para todos los enlaces realizados entre las diferentes radiobases y los puntos de presencia de la red interna del I.C.E

**Tabla 15.** Presupuesto de enlace entre las radiobases y los puntos de presencia de la red.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Presupuesto de enlace (dB)
50102-01	20104-01	16.52	9.86
	50103-01	11.21	13.75
50101-02	50102-02	13.50	11.87
	50401-03	13.33	12.00
	50101-05	9.38	15.56
	50101-04	0.97	39.11
	50101-01	11.71	13.30
50501-01	50101-01	16.40	9.94
	50104-01	13.68	11.74
	50503-01	13.08	12.19
	50504-01	5.68	20.79
50401-02	50806-01	26.62	5.23
	50602-01	18.03	9.00
	50401-01	7.41	18.00
50403-01	50402-01	4.22	23.92
50301-02	50301-01	7.91	17.32
	50301-04	5.40	21.32
	50307-01	7.66	17.95
50801-01	50803-01	5.61	20.92

<b>50601-01</b>	50601-02	16.47	9.89
	50603-01	10.88	14.05
<b>50701-02</b>	50704-01	8.62	16.43
	50703-01	6.35	19.61
<b>50201-01</b>	50202-03	7.79	17.48
<b>50206-02</b>	50306-01	8.55	16.52
<b>50205-02</b>	51101-02	4.93	22.28
	50205-01	3.11	27.15
	50906-02	16.15	10.09

#### 4.5.2 Sitios sin conexión inalámbrica al Punto de Presencia (POP)

Estos sitios se encuentran conformados por aquellas radiobases en las cuales no se logró comunicar con un punto de presencia directamente por medio de los enlaces inalámbricos. Por este motivo se ideó la posibilidad de emplear los enlaces E1 que poseen las diferentes centrales telefónicas para enlazar los diversos equipos de seguridad con el centro de gestión de red. A continuación se muestran los cálculos de los principales parámetros que se tomaron en cuenta para el establecimiento de los enlaces entre las radiobases sin acceso al punto de presencia y la central telefónica más cercana.

##### 4.5.2.1 Perdidas de propagación en el espacio libre.

En la tabla 17 se muestran los resultados de la atenuación debido al espacio libre para los enlaces establecidos entre las diferentes radiobases celulares y las centrales telefónicas con acceso al enlace E1.

**Tabla 16.**Perdidas de propagación en el espacio libre para los enlaces E1.

Central Telefónica	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Perdidas de propagación (dB)
<b>50503-02</b>	50503-03	2,37	115.1635
<b>50309-01</b>	50304-01	13.23	130.0997
	50309-02	4.59	120.7134
<b>50902-01</b>	50605-01	25.26	135.7172
	50704-03	24.79	135.5540
	50704-02	27.36	136.4108
	50904-01	5.21	122.0055
	50202-02	12.8	129.8127

#### 4.5.2.2 Atenuación debido a la Lluvia.

Al igual que en el caso del cálculo de la sección 4.5.1.2 se empleó el polinomio de interpolación obtenido para el cálculo de las constantes  $K_h$  y  $\alpha_h$ , para este caso los resultados obtenidos para el cálculo de los efectos que ejerce la lluvia sobre los enlaces inalámbricos se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 17.** Atenuación de la señal debido a la lluvia para los enlaces al E1.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Distancia Efectiva (Km)	Atenuación Lluvia (dB)
<b>50503-02</b>	50503-03	2.37	1.4849	2.8276
<b>50309-01</b>	50304-01	13.23	3.0573	5.8219
	50309-02	4.59	2.1087	4.0156
<b>50902-01</b>	50605-01	25.26	3.4354	6.5419
	50704-03	24.79	3.4265	6.5251
	50704-02	27.36	3.4716	6.6109
	50904-01	5.21	2.2551	4.2943
	50202-02	12.8	3.0337	5.7771

#### 4.5.2.3 Presupuesto de enlace.

Al igual que en los casos anteriores, para el cálculo del presupuesto de enlace se utilizó la ecuación 2.1 del marco teórico, por medio de la cual se logró verificar si los equipos empleados están en la capacidad de realizar los enlaces establecidos.

El cálculo del presupuesto de los diversos enlaces se encuentran disponibles en la sección de apéndices. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los presupuestos de enlace para todos los enlaces realizados entre las diferentes radiobases y los puntos de interconexión con el enlace E1.

**Tabla 18.** Presupuesto de enlace entre las radiobases y los puntos de interconexión con el enlace E1.

Punto de Presencia (POP)	Enlace	Distancia de enlace (Km)	Presupuesto de enlace (dB)
50503-02	50503-03	2.37	30.00
50309-01	50304-01	13.23	12.07
	50309-02	4.29	23.27
50902-01	50605-01	25.26	5.74
	50704-03	24.79	5.92
	50704-02	27.36	4.97
	50904-01	5.21	21.70
	50202-02	12.8	12.41

#### 4.6 Definición de las características de los equipos inalámbricos a emplear.

Una vez que se tiene noción de la topología a emplear en las radiobases celulares de la región de Guanacaste, se pueden definir una serie de criterios y requerimientos técnicos que los equipos deben cumplir.



Para el establecimiento de los criterios técnicos de los equipos se tomó en cuenta una serie de aspectos tales como lo son: requerimientos eléctricos, físicos, de seguridad así como de red los cuales se definen a continuación de una manera más detalla.

#### 4.6.1 Requerimientos Eléctricos.

Dentro de los aspectos eléctricos que se analizaron para los equipos se encuentra la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, ganancia de la antena así como la polarización y frecuencia de operación. Estos aspectos son importantes a la hora de realizar la escogencia de los equipos ya que de estos depende el establecimiento de los enlaces entre los diferentes sitios.

En el caso de la potencia de transmisión al tratarse de equipos que deben operar bajo el rango de frecuencias de uso libre estos deben ajustarse tanto a las disposiciones del diseño así como también a las normativas establecidas por ley. Dado que para poder realizar enlaces punto a multipunto se requieren antenas sectoriales las cuales poseen ganancias alrededor de 17dBi se realizó un análisis por medio del software RadioMobile para determinar la potencia mínima requerida por los equipos que permitiera alcanzar la distancia máxima de enlace y el ancho de banda requerido para el enlace para lo cual se obtuvo un valor de potencia de transmisión mínimo de 21dBm, ya que a partir de este se garantiza el nivel de sensibilidad mínimo permitido de -89dBm y un margen de seguridad aceptable.

**Tabla 19.** Comparación de las potencias de transmisión para los enlaces de mayor distancia.

Enlace	Potencias de Transmisión (dBm)	Margen de Seguridad (dB)	Nivel de Recepción (dBm)
<b>50902-01 a 50605-01</b>	17	1,9209	-87,0791
	18	2,9209	-86,0791
	19	3,9209	-85,0791
	20	4,9209	-84,0791
	21	5,9209	-83,0791
<b>50902-01 a 50704-02</b>	17	1,7409	-87,2591
	18	2,7409	-86,2591
	19	3,7409	-85,2591
	20	4,7409	-84,2591
	21	5,7409	-83,2591

En materia al tipo de polarización a emplear en las antenas esta puede ser tanto horizontal como vertical. Sin embargo para los enlaces desarrollados se empleó la polarización horizontal debido a que esta es más vulnerable a sufrir los efectos de atenuación por lluvia y se logró demostrar que los enlaces son factibles aun bajo estas condiciones. Sin embargo se debe tratar en lo posible de emplear polarización vertical con el fin de evitar en mayor grado los efectos de la atenuación debido a la lluvia y de este modo mejorar el desempeño del enlace.

#### 4.6.2 Requerimientos Físicos.

En este aspecto se buscó que los equipos de transmisión que se colocarían en las radiobases de la región de Guanacaste también puedan ser capaces de trabajar bajo las condiciones climáticas de temperatura y humedad que presentan las diferentes regiones del territorio nacional. Por este motivo se maneja la posibilidad de que los equipos puedan ser de uso en interiores o exteriores, en caso de ser para uso en interiores se buscó que los mismo sean

para montaje en racks de 19" debido a que estos son los que posee I.C.E para el montaje de sus equipos.

En el caso de tratarse de equipos para instalación en exteriores se estableció el requerimiento que el equipo posea supresores de descargas atmosféricas con el propósito de evitar que exista algún daño en el switch o router al cual se interconectará el equipo debido a voltajes inducidos en los cables de conexión.

#### 4.6.3 Requerimientos de Red.

En materia a los requerimientos de red para los equipos a emplear, estos se basaron en las especificaciones brindadas por la sección de Seguridad Electrónica los cuales establecieron la necesidad de que los equipos sean capaces de poder manejar los siguientes aspectos:

##### 4.6.3.1 Etiquetado de VLAN.

En base al estándar IEEE 802.1q con el cual se permite crear diferentes redes virtuales dentro de la misma red de seguridad, lo que genera la posibilidad de agrupar los equipos de acuerdo a la función que desempeñan y de esta manera facilitar la administración de la red.

##### 4.6.3.2 Calidad de Servicio QoS

Este aspecto es de suma importancia dado el hecho de que sobre la red viajarán paquetes tanto de datos como de video, por lo cual se requiere una priorización de la información, por lo tanto es muy relevante poder dar preferencia a la información proveniente de las cámaras de seguridad instaladas en las diferentes radiobases. Además de la priorización de la información por el tipo de paquete que se está enviando también se buscará que los equipos sean capaces de realizar una priorización por capa 2 o capa 3 con el fin de que los sitios que son más propensos a ser víctimas de actos delictivos tengan una mayor preferencia a la hora de enviar datos a través del enlace.

#### 4.6.3.3 Regulación del Ancho de Banda Digital.

Dado que se en ciertos sitios la cantidad de dispositivos de seguridad que se colocarán será mayor que en otros se buscó que el equipos inalámbricos sean capaces de permitir realizar un ajuste en el ancho de banda de acuerdo a los requerimientos, que permitieran manejar las tasas de Upload y Download de cada uno de los enlaces de acuerdo a la densidad de tráfico estimada en base a los equipos de seguridad instalados.

#### 4.6.3.4 Opciones de enrutamiento.

En el caso de emplear la topología propuesta esta no es de mucha importancia debido a que los paquetes se envían directamente al punto de conexión de la red, en el caso de no emplearse esta topología si constituye un aspecto muy relevante, esto debido a que por la extensión de la red inalámbrica es preciso garantizar que el mantenimiento de la misma sea viable lo cual se puede lograr con el uso de protocolos de enrutamiento dinámicos. Sin embargo los equipos deben tener la capacidad de realizar enrutamientos estáticos, con el fin de poder programar rutas default para el manejo del tráfico de la red si fuese necesario.

En cuanto al enrutamiento dinámico se espera que los equipos cuenten como mínimo con alguno de los Protocolos de Gateway Interior (IGP) como es el caso de RIPv2, OSPF u otro protocolo similar. Los Protocolos de Gateway Interior se encuentran divididos según el tipo de algoritmo que posean para el cálculo de la mejor ruta por lo cual se encuentran los de vector distancia los cuales toman como métrica los saltos que debe realizar el paquete para alcanzar el destino y los de estado de enlace los cuales toman en cuenta el estado actual del ancho de banda disponible por enlace.

#### 4.6.3.5 Opciones de control y mantenimiento.

En este caso los equipos deben permitir el acceder a los mismos como mínimo vía Telnet o SSH, sin embargo se recomendó la utilización de equipos que soporten el protocolo SNMP con el fin de que la gestión de todos los dispositivos pueda hacerse de manera unificada desde software en el centro de gestión de red con el fin de que por medio de este se esté en la capacidad de monitorear tanto los equipos inalámbricos así como también los switch y router.

#### 4.6.4 Requerimientos de Seguridad.

Este aspecto es uno de los más importantes a tener en cuenta, esto debido al hecho que al ser una red inalámbrica es muy propensa a ser víctima de intentos de intrusión, por lo cual se busca que los equipos sean lo más seguros posibles, esto con el fin de poder salvaguardar la integridad de la red como tal.

Es por esto que se descartan aquellos equipos que únicamente cuenten con el algoritmo de encriptación WEP (Wired Equivalent Privacy) debido a que actualmente este método de encriptación de 104bits es muy fácil de romper, por lo cual se pretende que los equipos cuenten como mínimo con una encriptación WAP (Wi-Fi Protected Access), sin embargo se prefiere el protocolo de encriptación AES (Advanced Encryption Standard) debido a su alto grado de seguridad. Además de estas formas de seguridad se empleará una de los aspectos que se tomaron en cuenta para la gestión de red como es el filtrado de acceso a la red por medio de MAC así como de IP con el fin de que únicamente los equipos con permiso puedan acceder a la misma.

## 4.6.5 Requerimientos Técnicos

**Tabla 20.** Requerimientos técnicos de los equipos inalámbricos.

<b>Radio</b>	
Tasa de Transferencia (Tx Rate)	54Mbps o superior
Frecuencia	5.15-5.25GHz 5.25-5.35GHz 5.47-5.72GHz 5.72-5.82GHz
Ancho del canal (seleccionable vía software)	20MHz o inferior , 40MHz modo turbo
Potencia de Transmisión	21dBm o superior (en el puerto de la antena)
Modulación	BPSK,QPSK,14QAM,64QAM
Sensibilidad	-89dBm mínima
Distancia de enlace	24Km o superior
<b>Puerto de red Ethernet</b>	
Interfase RJ-45	10/100Base-Tx
Compatibilidad con la norma IEEE 802.3af (PoE)	preferible 802.3at
Control de Acceso al medio	IEEE 802.3 CSMA/CD
En el caso de poseer alimentación externa	100V ~ 240V AC/ 48V DC a 60Hz
<b>Antena</b>	
Ganancia	21dBi o superior
Apertura del Haz a -3dB	(10.5°horizontal x 10.5°vertical) o inferior
Si posee antena externa debe poseer:	Conector tipo N Hembra 50Ω Impedancia
<b>Manejo de Datos</b>	
Área Local Virtual (VLAN)	802.1Q
Seguridad	
Algoritmos de encriptación	WAP, AES128
Calidad de Servicio (QoS)	
Capa 2 (Dirección Mac)	IEEE 802.1p
Capa 3 ( ToS )	
Capa 4 (UDP/TCP)	
<b>Aspecto avanzados de red</b>	
SSID (Service set Identifier)	
MIR , CIR ajustables	
ACK Timeout (preferible)	
<b>Configuración y Mantenimiento</b>	
Acceso de Configuración y Mantenimiento	LAN, Wireless
Mantenimiento	Telnet, SNMPv2, opcional (SSH, servidor HTTP)
Actualización de Software	TFTP,FTP
<b>Especificaciones Físicas del Equipo</b>	
Equipo para exteriores	
Temperatura	-40°C a 55°C
Humedad	5% al 95% no condensada
Protección contra agua y poseer supresor para descargas atmosféricas	
Equipo para interiores	
Temperatura	0°C a 40°C
Humedad	5% al 90% no condensada

#### 4.7 Definición de las características de los equipos para enlazarse al E1.

En el caso de los equipos que se emplearán para realizar el enlace entre los equipos de grabación y el centro de monitoreo a través del empleo de la línea E1 de las centrales telefónicas, se requiere que estos cumplan con una serie de especificaciones como es el caso de aspectos eléctricos así como el de gestión de red, en el caso de la seguridad este no es de importancia ya que al tratarse de un enlace dedicado las posibilidades de intrusión son casi nulas.

Dado que la capacidad neta de un enlace E1 es de aproximadamente 2Mbps es necesario el emplear un equipo de grabación en la central telefónica con el fin de que este sea capaz de almacenar las imágenes transmitidas por los demás enlaces y de esta manera no se sature el enlace. Se estableció la posibilidad de emplear un enlace E1 compartido con otras secciones de I.C.E sin embargo se debe garantizar un CIR de 512Kbps con el fin de poder tener un acceso a la información almacenada en el videograbador en cualquier momento.

##### 4.7.1 Requerimientos eléctricos.

En este aspectos se analizaron en especial las interfaces de conexión ya que para el caso del enlace E1 el equipo debe poseer conectores BNC de 75Ω además de presentar compatibilidad con el estándar G.703 y el protocolo de codificación HDB3, adema de esto se buscó que la interfase del conector RJ-45 maneje Auto-MDIX, en el caso de la alimentación esta debe ser 100~240v a 60Hz.

##### 4.7.2 Requerimientos de red.

En este caso los equipos deben permitir el acceder a los mismos como mínimo vía Telnet o WebBrowser, al igual que en los casos anteriores se recomendó la utilización de equipos que soporten el protocolo SNMP, con el fin de poder mantener la administración de la red de una manera más eficiente.

### 4.7.3 Requerimientos Físicos.

En este aspecto se maneja los mismos requerimientos establecidos para los equipos inalámbricos, con el fin de que estos también se puedan desempeñar en cualquier región del país.

### 4.7.4 Requerimientos Técnicos

**Tabla 21.** Requerimientos técnicos de los equipos empleados para la conversión de la trama IP a G.703.

<b>Interfase E1</b>	
Conector BNC 75Ω Impedancia	
Compatible estándar G.703	
Tasa de Transferencia 2.048Mbps	
Codificación HDB3	
<b>Interfase Ethernet</b>	
Conector RJ-45	10/100Base-Tx
Compatibilidad con la norma IEEE 802.3	
<b>Alimentación</b>	
En el caso de poseer alimentación externa	100V ~ 240V AC/ 48V DC a 60Hz
<b>Manejo de Datos</b>	
Soporte de VLAN	802.1Q
Monitoreo remoto del equipo preferiblemente mediante SNMP	
<b>Especificaciones Físicas del Equipo</b>	
Temperatura	menos 0° a 60°C
Humedad	5% al 95% no condensada
Montaje en Rack 19''	

### 4.8 Interconexión de los equipos a emplear.

Dado que el acceso a la red interna del Instituto Costarricense de Electricidad, no se realizará de igual manera en los diferentes sitios, debido a que en la mayoría de los casos el acceso a la misma será por medio de una conexión estandar a través de una interface RJ-45, mientras que en otros sitios la inserción de los datos a la red del I.C.E se realizará por medio de un enlace E1 el cual posee una interfase BNC.

Es por este motivo que a continuación se detalla la manera en la que se deben interconectar los diferentes equipos que se emplearán para el proyecto de



acuerdo a su función dentro de la red esto con el propósito de que la interconexión entre los diferentes equipos se realice de la manera correcta y de esta forma garantizar el funcionamiento de los enlaces.

#### 4.8.1 Estacion Base con enlace E1.

Dado que para poder realizar un enlace inalámbrico se requiere de la existencia de Línea de visión entre ambos puntos, en el caso de los equipos de Alvarion estos permiten establecer enlaces con nLOS (near Line of Sight) o NLOS (Non Line of Sight), sin embargo en algunos casos aun bajo esta última opción tampoco es posible establecer los enlaces, por lo cual la comunicación inalámbrica en estos sitios con el punto de presencia de la red no es posible del todo.

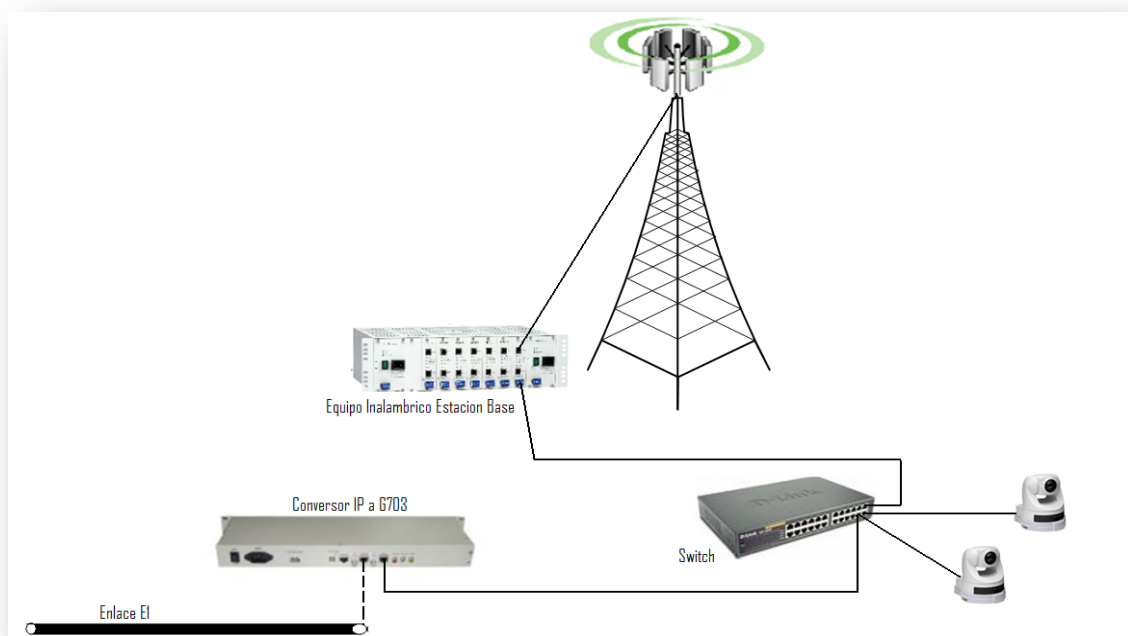
Es por esto que para poder garantizar que el 100% de los sitios posean seguridad tanto de video vigilancia así como de los diferentes dispositivos de seguridad, se ideó la utilización del enlace E1 que se encuentra disponible en las diferentes centrales telefónicas. En este caso se pensó en emplear el enlace E1 como un medio compartido por el cual viajara tanto la información telefónica de las centrales así como la información provenientes de los dispositivos de seguridad, sin embargo al considerar el ancho de banda de un enlace E1 el cual es aproximadamente de 2Mbps, se estableció la necesidad de colocar videograbadores en cada uno de estos puntos con el fin de evitar saturar el enlace.

En cuanto al equipo que realizará la interconexión con el E1 se examinó un equipo que fuera capaz de manejar tanto las tramas IP así como la codificación HDB3 y el protocolo G.703 el cual es empleado por el I.C.E por lo cual se escogió el convertidor de Ethernet a E1 de la marca Ad-net Technologies el cual permite concatenar hasta 4 enlaces E1 pudiendo crear un enlace E1 de 8Mbps y soporta hasta 4 puertos Ethernet para cuatro redes diferentes.

Como se puede observar en la figura 4.7 la cual muestra el diagrama de interconexión de los diferentes equipos a emplear se puede notar el

funcionamiento del modulo en sí, ya que la información captada por los equipos inalámbricos así como la información proveniente de las cámaras locales es enviada a un switch, que a su vez envía la información hacia el equipo traductor de IP a G.703 el cual introduce los datos al enlace E1 para el envío hacia la red interna del Instituto Costarricense de Electricidad.

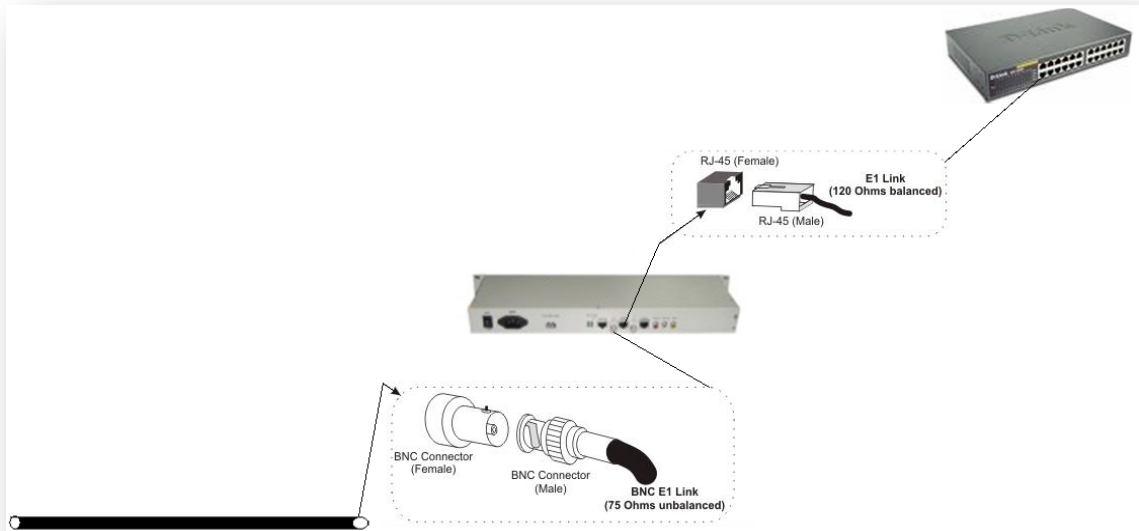
Dado que cerca de las centrales con acceso al enlace E1, se encontraban radiobases en las cuales tampoco era posible la conexión con la red institucional a través de un enlace inalámbrico, se desarrolló en la central una topología multipunto con el propósito de poder comunicar estos sitios con la central telefónica.



**Figura 4.7** Diagrama de conexión para las estaciones base con enlaces E1.

**Realizado en:** Microsoft Paint.

En la figura 4.8 se muestra la conexión entre las diferentes interfases del equipo convertidor, el cual permite enviar información entre dos protocolos de transmisión diferentes.



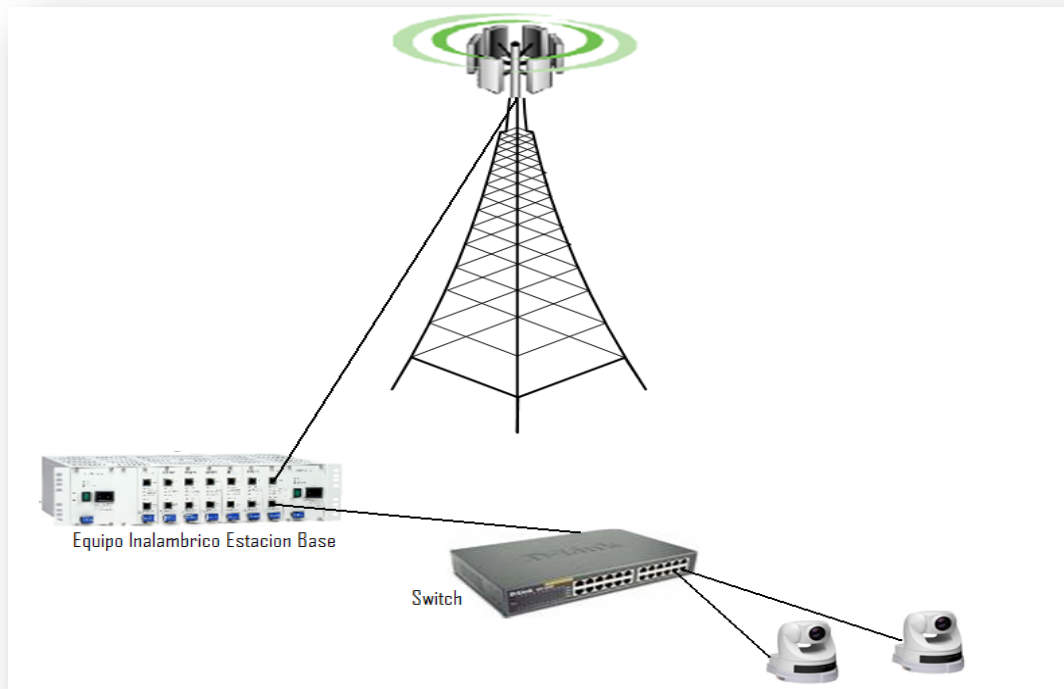
**Figura 4.8** Diagrama de conexión del equipo convertidor de IP a G.703.

**Realizado en:** Microsoft Paint.

#### 4.8.2 Estación con acceso al Puntos de Presencia.

En el caso de los sitios que poseen acceso a la red interna del I.C.E o que se encuentran cerca de la misma se utilizaron enlaces punto a multipunto, con el fin de poder agrupar en estos sitios la mayor cantidad de radiobases y de esta manera poder realizar una grabación local de los videos recibidos de las cámaras colocadas en las diferentes radiobases celulares.

Este metodo de enlace permite poder mantener libre de tráfico los enlaces de las agencias telefónicas, ya que todos los paquetes de video que provienen de las cámaras se almacenan de manera local dentro de un videograbador colocado en la estación base. Esto permite emplear el ancho de banda de los sitios con acceso a la red interna de una manera más eficiente debido a que unicamente se hace uso del mismo cuando se requiere.

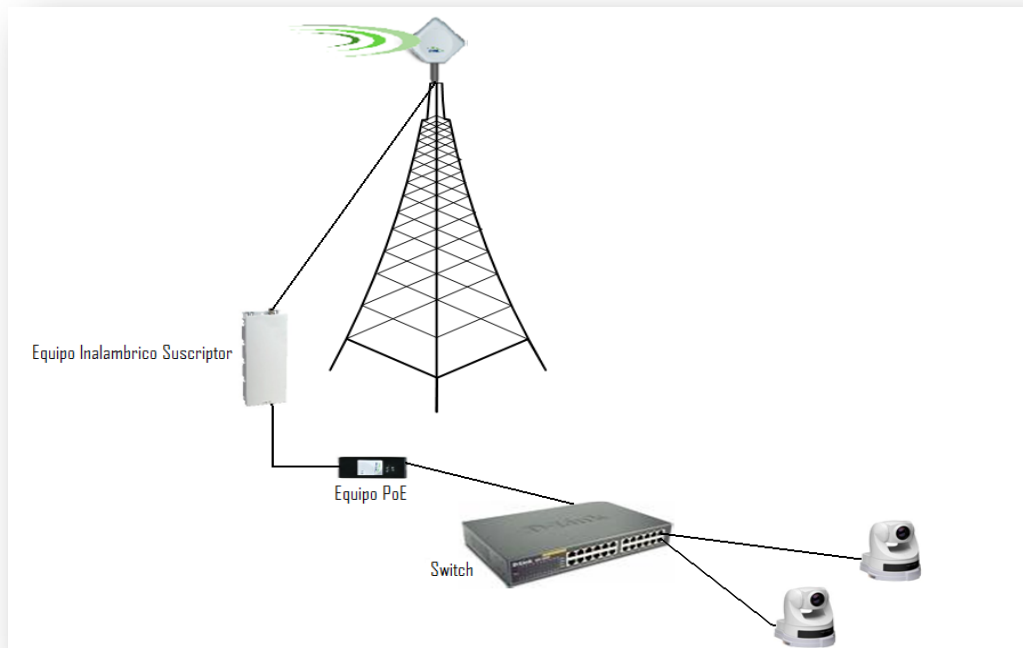


**Figura 4.9** Diagrama de conexión entre los equipos colocados en las estaciones centrales.

**Realizado en:** Microsoft Paint.

#### 4.8.3 Radiobases suscriptoras.

En el caso de las radiobases que funcionarán como estaciones de conexión remota a la estación central se emplearán los equipos suscriptores SU-54 de la marca Alvarion los cuales permiten lograr un ancho de banda neto de 32Mbps, el cual garantiza un ancho de banda mayor al requerido permitiendo la instalación en un futuro de más cantidad de equipos así como la posibilidad de incrementar la calidad del video enviado por las cámaras.



**Figura 4.10** Diagrama de conexión entre los equipos colocados en las estaciones centrales.

**Realizado en:** Microsoft Paint.

En la figura 4.10 se muestran los diferentes elementos que permiten el establecimiento de los enlaces, en el caso de los equipos inalámbricos estos poseen su propio equipo inyector PoE el cual debe conectarse a una alimentación 100~240v, en el caso de la conexión de datos este debe conectarse al puerto troncal del switch con el fin de que toda la información de los equipos conectados al switch pueda ser enviada a la estación base.

#### 4.9 Descripción del software.

En cuanto a la creación de la bases de datos se utilizó software libre en su totalidad con el fin de permitir que la base de datos pueda ser modificada en un futuro sin la necesidad de comprar licencias o pagar por actualizaciones de la misma.

Dentro de los diferentes lenguajes de programación utilizados para el diseño de la base de datos de las radiobases de la región de Guanacaste se encuentran:

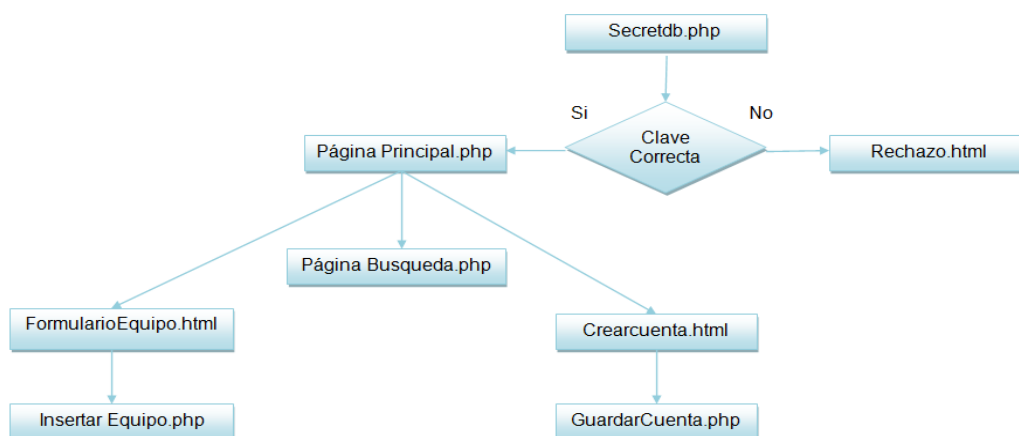
Hyper Text Markup Language “HTML”.

Hyper Text Pre-processor “PHP”.

API de GoogleMap ®.

La base de datos se instaló en un computador funcionando como un servidor local de apache versión 2.2.4 y bajo PHP 5.2.3, el computador se encontraba trabajando en base al sistema operativo de Windows XP de la empresa Microsoft para su instalación se recurrió al tutorial [22].

La estructura de la interacción entre las diferentes páginas web que conforman el sistema de búsqueda de las radiobases dentro de la base de datos se muestra en la figura 4.11.



**Figura 4.11.** Estructura de interacción entre las principales páginas web.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

Como se puede notar en la figura 4.11 la búsqueda en la base de datos se realiza empleando dos tipos de páginas web como son las páginas dinámicas así como las estáticas, esto se realizó con el fin de que el usuario estuviera en la capacidad de poder establecer diferentes criterios de búsqueda dentro de la base de datos de acuerdo a sus necesidades además de permitir al mismo el ingreso de nuevos elementos a la base de datos.

#### 4.9.1 Diseño de las páginas web estáticas.

Las páginas web estáticas se emplearon en el diseño de la base de datos de las radiobases celulares en aquellos casos donde el usuario requiere de la introducción de información, así como en los casos donde se le mostraría al mismo cierto tipo de mensajes por defecto tal y como se muestra el mensaje de advertencia de la figura 4.12. El mensaje de error de acceso a la base de datos se muestra cuando el usuario no ha introducido un nombre de usuario o contraseña correctos.



**Figura 4.12.** Mensaje de advertencia para rechazar el acceso a la base de datos.

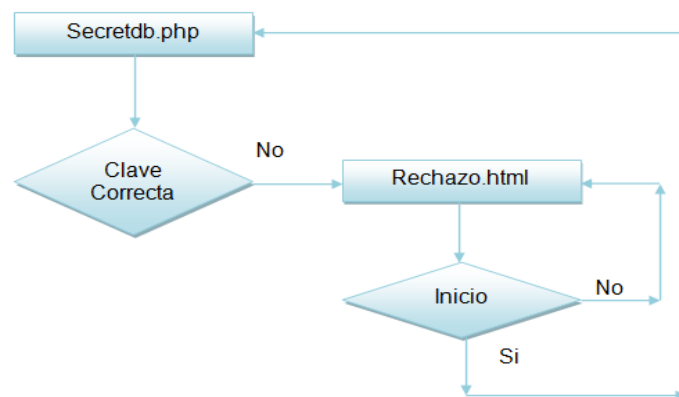
**Tomado de:** Captura del sistema editado en Microsoft Paint.

En las siguientes figuras se muestra el algoritmo de programación empleado para cada una de las páginas HTML mostradas en la figura 4.11, la programación de estas páginas se realizó con el software Macromedia Dreamweaver 8, este software de programación se empleó debido a su flexibilidad y facilidad ya que permite mantener dos ambientes de programación distintos para páginas web como es el caso de un modo código en el cual únicamente se visualizan las diferentes instrucciones ingresadas, además del modo código se encuentra el modo de diseño en el que se observa el acabado final de la página este modo brinda la posibilidad de inserción de archivos de

imágenes dentro del diseño de la página web de una manera sencilla lo que permite mejorar el aspecto gráfico de las mismas.

#### 4.9.1.1 Página de Rechazo de acceso.

En la figura 4.13 se muestra el diagrama de flujo empleado en el desarrollo de la página web encargada de informar al usuario que alguno de los datos introducidos a la hora de identificarse se encuentra incorrecto.

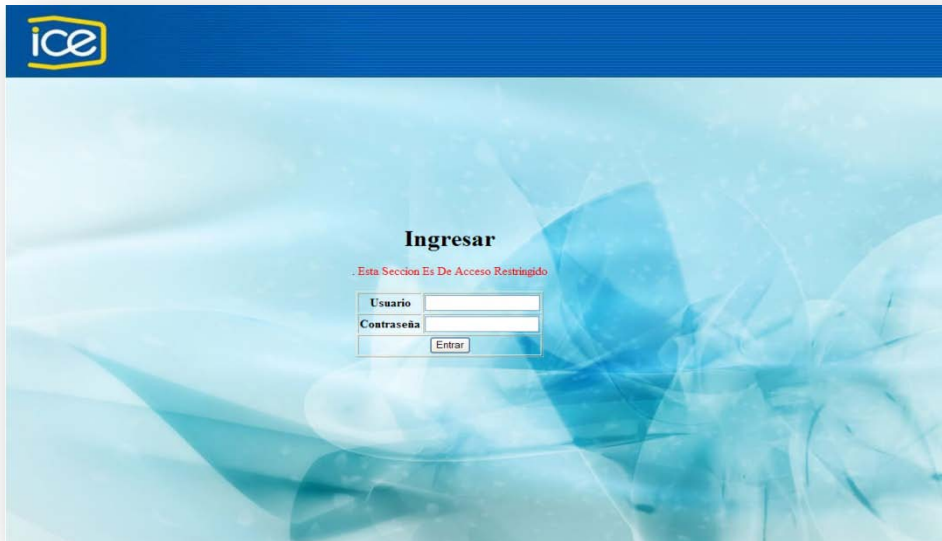


**Figura 4.13.** Diagrama de flujo de la lógica empleada para la página Rechazo.html.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

Como se puede observar en la figura 4.14, cuando el usuario ingresa a la página se le pide una identificación por medio de una clave, esto con el fin de poder acceder a la información que se encuentra almacenada en la base de datos, en el caso de que la clave introducida por el usuario sea incorrecta se le muestra al usuario un mensaje de advertencia como el que se muestra en la figura 4.12. Además de esto se presenta la opción de que se pueda intentar introducir nuevamente la clave en cuyo caso se re-direcciona al usuario de nuevo a la página principal, en el caso contrario se mantendrá la visualización del mensaje de advertencia.



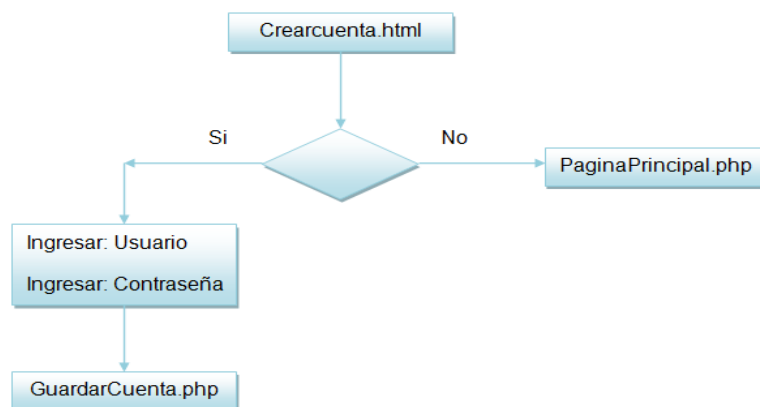


**Figura 4.14.** Página de acceso a la base de datos.

**Realizado en:** Captura del sistema editado en Microsoft Paint.

#### 4.9.1.2 Página para la creación de una cuenta de usuario.

En la figura 4.15 se muestra la lógica empleada para permitir el ingreso de un nuevo usuario a la base de datos, además de esto en la figura 4.16 se puede observar una captura de la información solicitada por el sistema.



**Figura 4.15.** Diagrama de flujo de la lógica empleada para la página Crearcuenta.html.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

Como se puede notar al analizar el diagrama de flujo de la figura 4.15, cuando el administrador desea ingresar un nuevo usuario en la base de datos este debe indicar el nombre del usuario y la contraseña que le asignará al mismo. Una vez realizado esto, la información es enviada a la siguiente página con el fin de que se pueda ingresar en la base de datos. Si por el contrario el administrador da por descartado la inserción del nuevo usuario este es redirigido a la página principal.

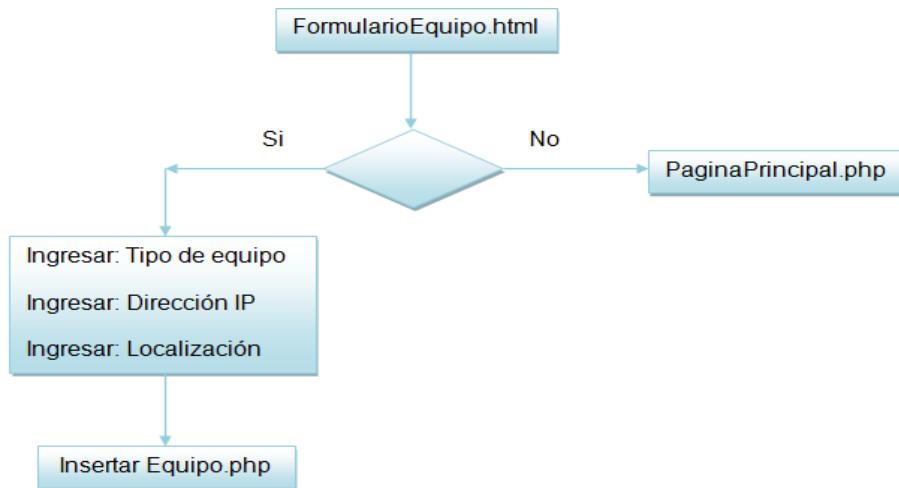
La imagen muestra una interfaz web con un encabezado azul que contiene el logo 'ice' en amarillo y blanco. El fondo de la página es azul claro con un patrón abstracto de líneas y formas. En el centro, el título 'Crear Cuenta De Usuario' está en un color azul oscuro. Debajo del título, hay dos campos de entrada de texto: 'Nombre' y 'Contraseña', cada uno con un botón de flecha para desplegar opciones. Debajo de estos campos, hay un botón rectangular con el texto 'Registrar'.

**Figura 4.16.** Información solicitada para la creación de un nuevo usuario.

**Realizado en:** Captura del sistema editado en Microsoft Paint.

#### 4.9.1.3 Página para el formulario de introducción de equipo nuevo.

En la figura 4.17 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo empleado para introducir la información de los nuevos sitios que se introducirán en la base de datos. Así mismo en la figura 4.18 se muestra una captura de la página web encargada de realizar esta función.



**Figura 4.17.** Diagrama de flujo de la lógica empleada para la página FormularioEquipo.html.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

**Figura 4.18.** Formulario empleado para enlistar nuevos sitios dentro de la base de datos.

**Realizado en:** Captura del sistema editado en Microsoft Paint.

Como se puede notar al analizar el diagrama de flujo de la figura 4.17, para la inserción de nuevos sitios dentro de la base de datos el usuario debe ingresar información específica de cada sitio tal y como se muestra en la figura 4.18 es importante mencionar que las coordenadas geográficas que se introducen deben ser las correctas ya que de lo contrario los sitios se mostrarán en una ubicación errónea. De acuerdo con el diagrama de flujo cuando la información es capturada, esta es enviada a la siguiente página con el fin de que pueda ser

ingresada dentro de la base de datos de las radiobases celulares. Igual que en los casos anteriores cuando el usuario no desee realizar alguna inclusión este será redirigido a la página principal.

#### 4.9.2 Utilización del API de los mapas de la empresa Google®.

El empleo de los API de los mapas de google se emplearon como una forma de permitir visualizar la localización de las diferentes radiobases por medio de mapas políticos así como por medio de imágenes satelitales de la empresa Google®, el empleo de las imágenes satelitales permite hacer acercamientos de una zona específica además de poder hacer un recorrido por diversos lugares permitiendo observar la ubicación de las radiobases por donde se encuentre el usuario posicionado en el mapa.

Para el diseño del mapa se empleó como se mencionó anteriormente los API de Google los cuales son una serie de librerías e instrucciones propias de esta empresa que permite la inserción de este tipo de mapas dentro de diversas páginas web, es importante mencionar que para la utilización de este API se requiere de la autorización y el envío de una clave de acceso de la empresa Google con el fin de poder acceder a los servidores que contienen la información de las imágenes satelitales.

#### 4.9.3 Diseño de las páginas web dinámicas.

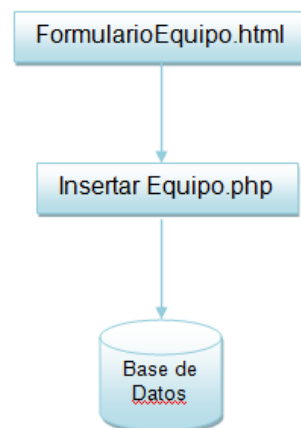
Las páginas web dinámicas se usaron en los casos donde se necesita que el usuario pueda hacer búsquedas en la base de datos por medio de la localización, dirección IP así como de la función que desempeña cada radiobase en la red. Además este tipo de páginas también se empleó cuando el usuario necesita ingresar información dentro de la base de datos.

Debido a que la base de datos se encontrará instalada en algún servidor del Instituto Costarricense de Electricidad se necesita emplear páginas dinámicas esto con el fin de poder tener la capacidad de acceder a la información que contiene el servidor. Estas páginas además del código escrito bajo el lenguaje

de programación PHP también poseen código en HTML alojado dentro de las instrucciones escritas en PHP esto con la intención de poder manipular la apariencia de la página para que todas se mantengan una misma imagen.

#### 4.9.3.1 Página para ingresar un nuevo Equipo

En la figura 4.19 se muestra el diagrama de flujo de la página Insertar Equipo.php la cual se encarga de procesar la información digitada por el usuario en el formulario de la página anterior para que sea comprendida por el servidor web una vez que los datos llegan al servidor estos son almacenados dentro de la base de datos.

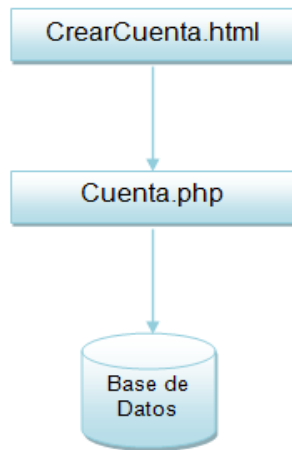


**Figura 4.19.** Diagrama de flujo para la introducción de nuevos sitios a la base de datos.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

#### 4.9.3.2 Página para ingresar un nuevo usuario.

En la figura 4.20 se muestra el diagrama de flujo de la página Cuenta.php, esta página se encarga de procesar la información digitada por el usuario, dado que esta información contiene claves confidenciales se pensó en la utilización de algún algoritmo de encriptación con el fin de que esta información se mantenga segura, para lo cual se empleó la función md5 del lenguaje de programación PHP lo cual permite la codificación así como la decodificación de la información por medio del uso de Hash.

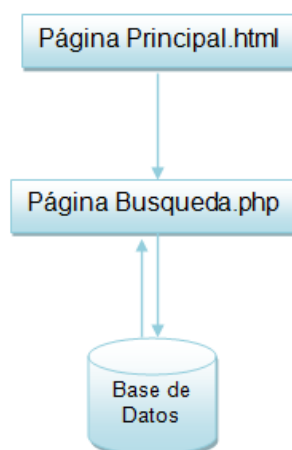


**Figura 4.20.** Diagrama de flujo para la creación de cuentas de usuario en la base de datos.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

#### 4.9.3.3 Página de Búsqueda.

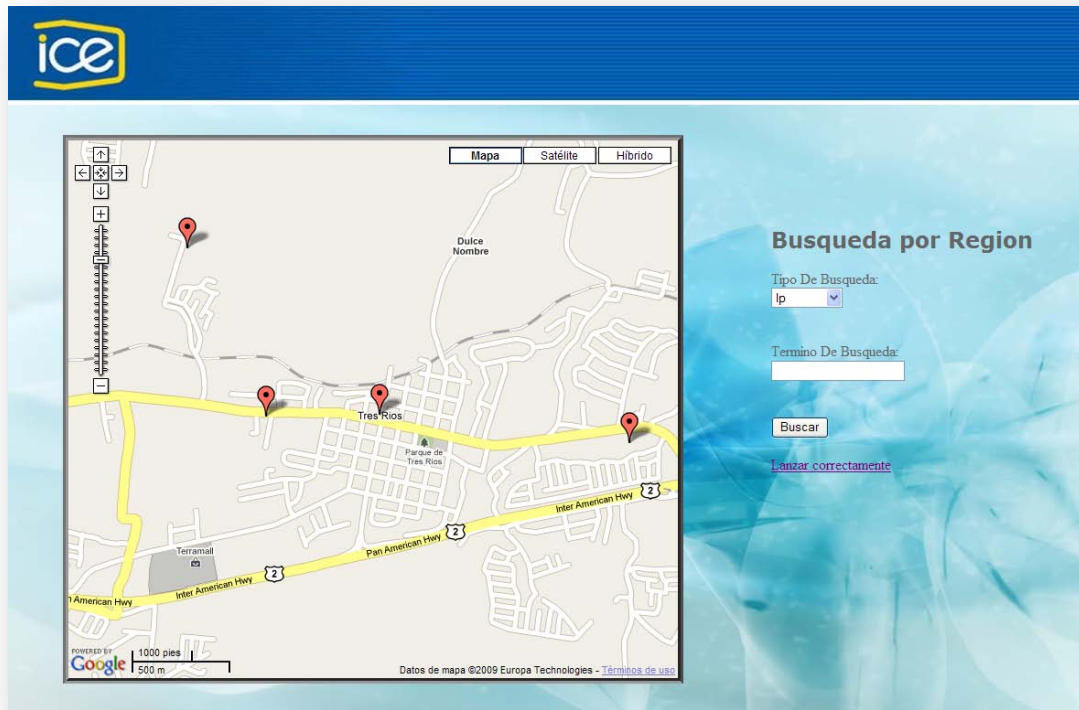
En la figura 4.21 se muestra el diagrama de flujo de la página Busqueda.php, la cual se encarga de procesar la información brindada por la base de datos así como los criterios de búsqueda introducidos por el usuario. Además dentro de esta misma página se encuentra incrustado el código de los API de Google®, por medio del cual se logra mostrar la ubicación de cada uno de las radiobases dentro del mapa de la región, esto se logra por medio del procesamiento de la información de las coordenadas geográficas almacenadas en la base de datos.



**Figura 4.21.** Diagrama de flujo de la búsqueda realizada dentro la base de datos.

**Realizado en:** Microsoft Word 2007.

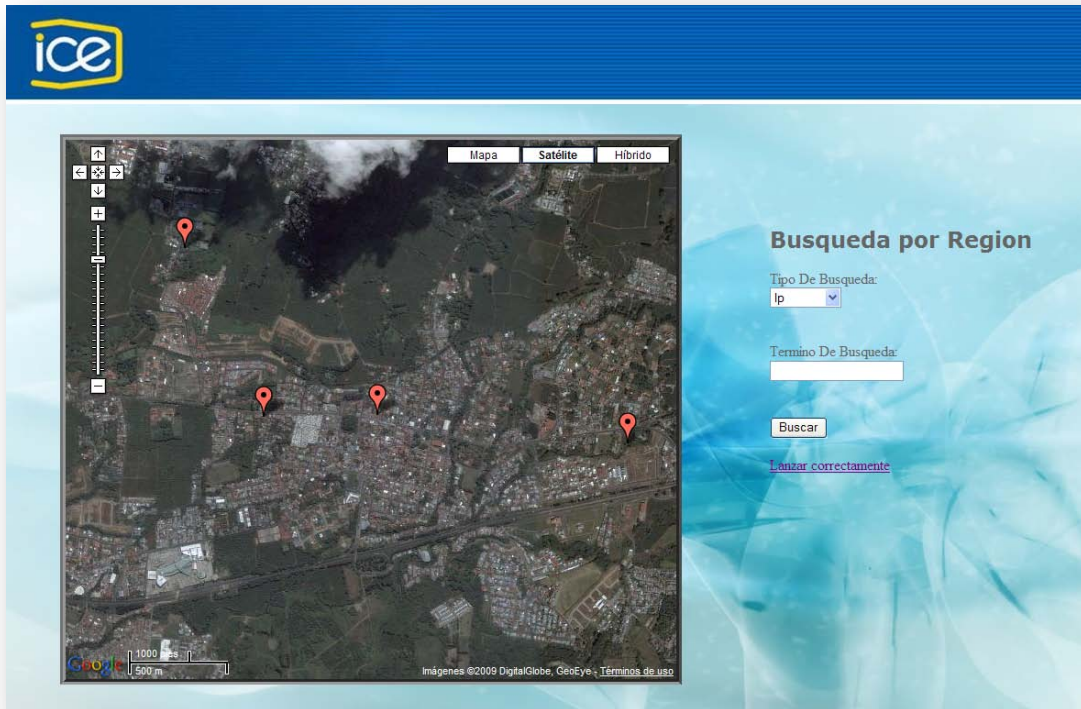
En la figura 4.22 se muestra una captura de la Página Principal.php, en la cual se puede observar la ubicación de cada uno de los sitios introducidos dentro de la base de datos.



**Figura 4.22.** Mapa de la ubicación por calles y avenidas de las radiobases celulares ingresadas en la base de datos.

**Realizado en:** Captura del sistema editado en Microsoft Paint.

En el caso de la figura 4.23 se muestra una captura de la página de Busqueda.php en la cual se observar una vista satelital de la región seleccionada por el usuario



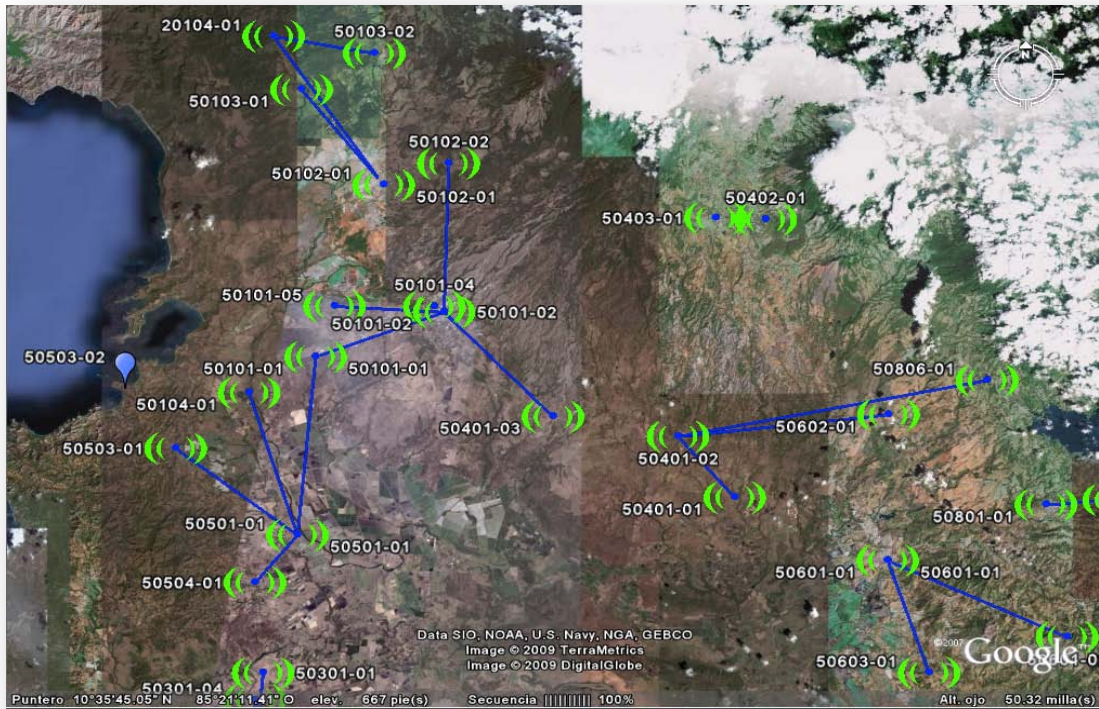
**Figura 4.23.** Vista satelital de las radiobases celulares ingresadas en la base de datos.

**Realizado en:** Captura del sistema editado en Microsoft Paint.

#### 4.10 Topología propuesta para la región de Guanacaste.

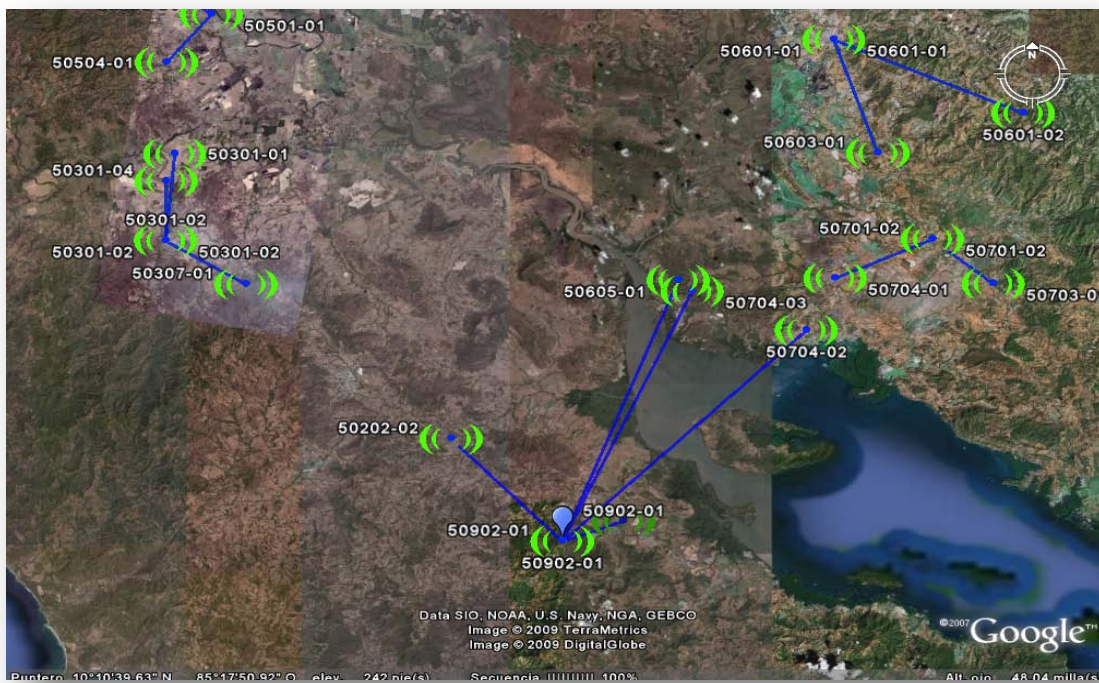
Al analizar las diferentes topologías propuestas, la distribución de las radiobases celulares así como de los puntos de acceso a la red interna, se optó por la implementación de una topología híbrida, es decir se trató de emplear los beneficios que presenta la conexión punto a multipunto junto con las ventajas de los enlaces punto a punto. En el caso del diseño de una red Mallada (Mesh) este se desestimó debido a las limitantes observadas en cuanto al manejo del ancho de banda, así como por su rango de alcance tan limitado lo cual provoca que se requiera de un número significativo de equipos que cumplirían las funciones de repetidores incrementando el costo de la red de una manera significativa.





**Figura 4.24.** Distribución de los sitios de estudio de la región de Guanacaste.

Realizado en: RadioMobile Versión 10.0.9 y GoogleEarth Pro.



**Figura 4.25.** Distribución de los sitios de estudio de la región de Guanacaste.

Realizado en: RadioMobile Versión 10.0.9 y GoogleEarth Pro.

Para la topología de las figura 4.24 y 4.25 se colocaron equipos punto a multipunto cerca del punto de presencia de la red del I.C.E esto con el fin de facilitar el establecimiento de un enlace punto a punto con la agencia telefónica o central eléctrica en la cual existe la posibilidad de acceso a la Intranet.

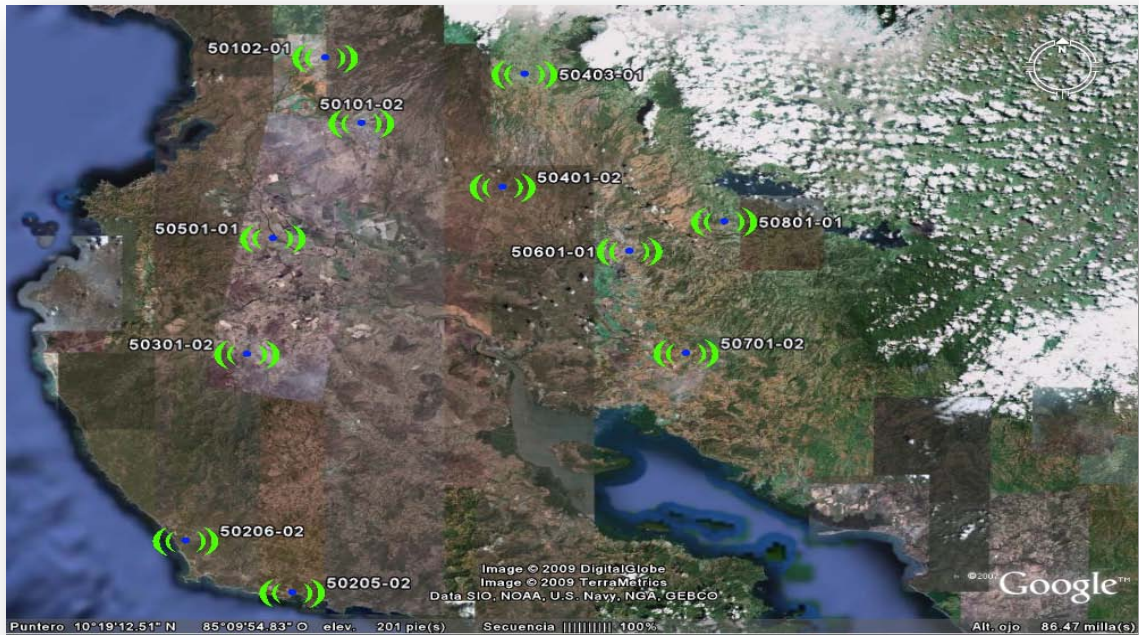
Uno de los aspectos que se observó al realizar los enlaces inalámbricos entre las diversas radiobases fue la existencia de ciertos sitios donde la conexión con el punto de presencia no era posible, por lo cual se estableció como segunda opción la utilización de los enlaces E1 de algunas de la centrales telefónicas para el envío de la información, para lo cual se necesitaría emplear equipos traductores del formato IP a G.703, de esta manera se lograría cubrir en su totalidad las radiobases de la región de Guanacaste.

En este último caso al igual que el caso anterior se pretende emplear enlaces inalámbricos punto a multipunto con el fin de concentrar la mayor cantidad de información proveniente de las radiobases en un único punto y de esta manera facilitar su envío al centro de monitoreo.

#### 4.10.1 Topología de enlaces inalámbricos.

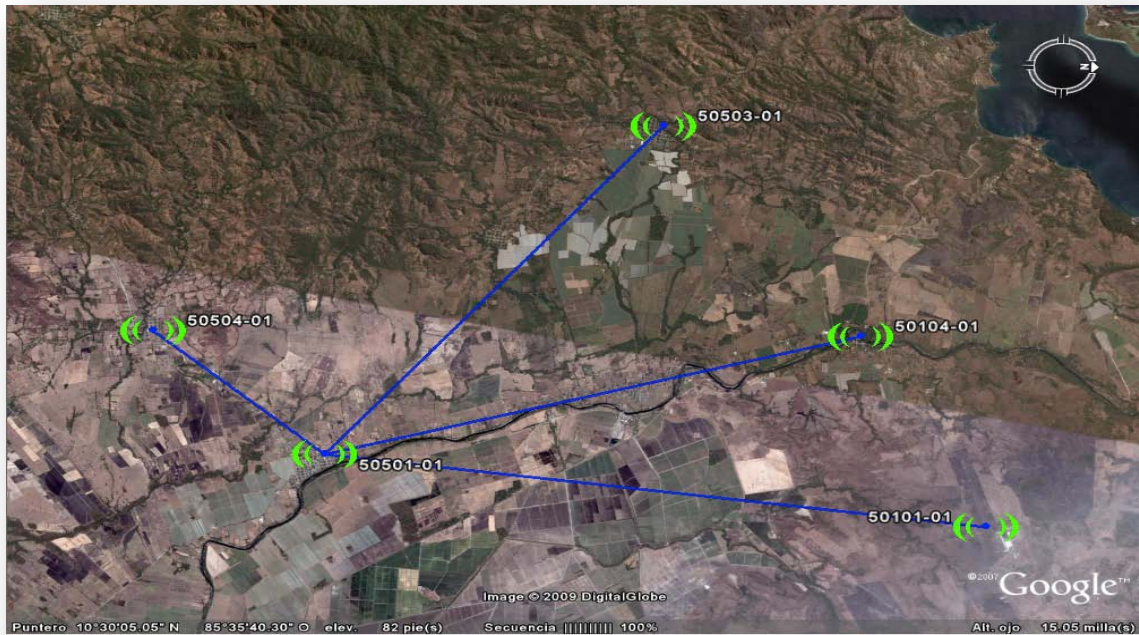
En la figura 4.26 se muestra una imagen digital de la zona de estudio la cual fue obtenida mediante el programa de GoogleEarth® en la que se observa la distribución de los diferentes sitios que funcionarán como estaciones base de los enlaces multipunto, estos sitios son los encargados de recibir la información de los diferentes dispositivos colocados en las radiobases que se encuentran en sus alrededores.

Los sitios mostrados en la figura 4.26 muestran las diferentes radiobases que se encuentran cerca o dentro de una agencia telefónica por medio de las cuales se puede tener acceso a la red institucional.



**Figura 4.26.** Ubicación de las radiobases celulares que poseen acceso a la red del I.C.E.  
**Realizado en:** GoogleEarth Pro.

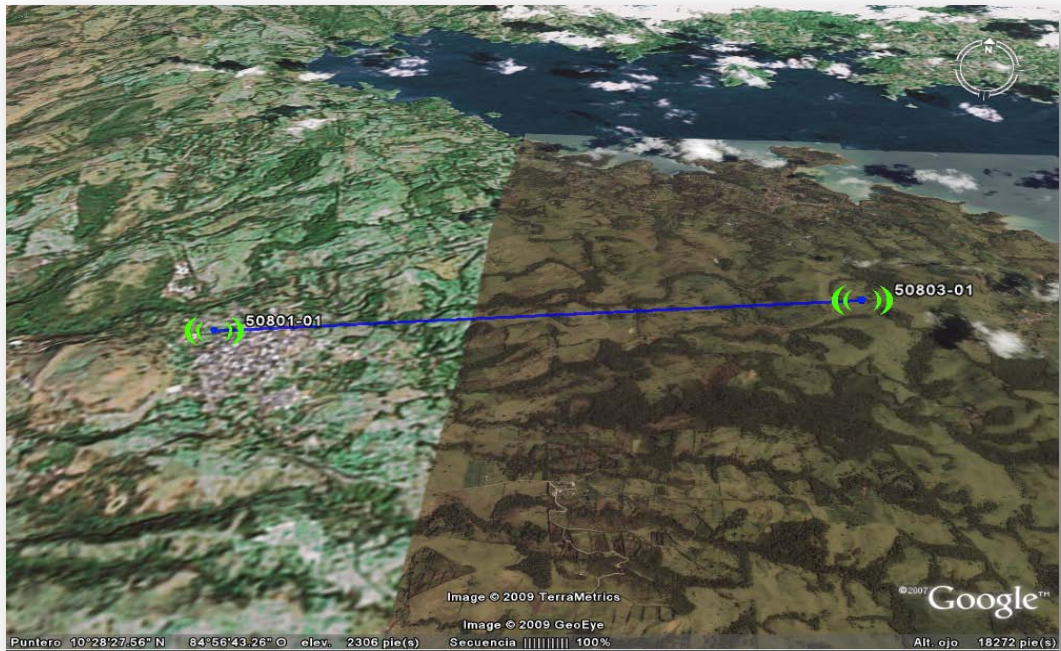
En cuanto a los enlaces multipunto estos se desarrollaron en las radiobases de Cañas Dulces, Bagaces, Cañas, Filadelfia, Santa Cruz, Liberia, etc. En las cuales se buscó la posibilidad de lograr agrupar la información de un gran número de radiobases en un solo punto. En la figura 4.27 se muestra la conexión que existe entre la central telefónica de Filadelfia 50501-01 y las radiobases que se encuentran en sus alrededores.



**Figura 4.27.** Topología propuesta para la central telefónica de Filadelfia y las radiobases de los alrededores.

**Realizado en:** GoogleEarth Pro.

Además de los enlaces inalámbricos multipunto se desarrollaron enlaces punto a punto como lo son el caso de las radiobases de las regiones de Guayabos, Tilarán, Nicoya, Nosara. Se empleó este tipo de enlace debido a que en las cercanías de estos puntos únicamente se encuentra una radiobase, por lo cual emplear equipo multipunto representa un gasto innecesario actualmente, sin embargo se debe analizar las proyecciones de crecimiento de cobertura celular en la zona con el fin de evaluar si la colocación de equipos multipunto será lo más ventajoso pensando en la escalabilidad de la red.



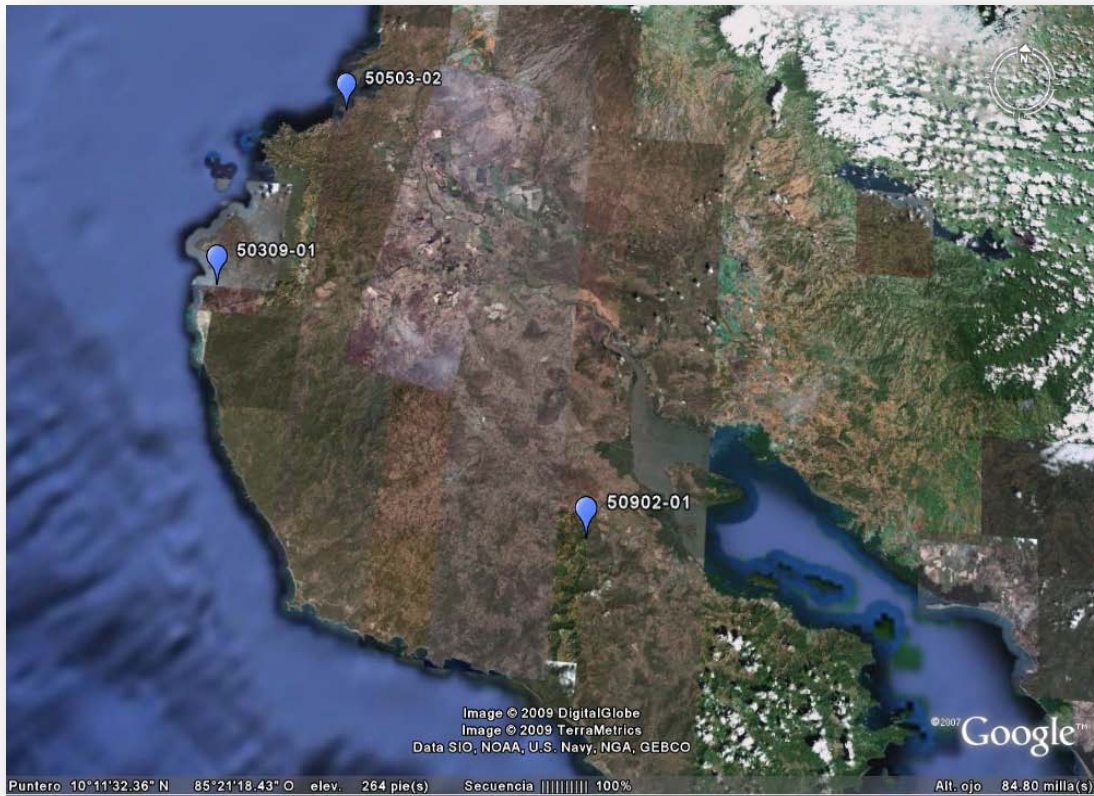
**Figura 4.28.** Topología propuesta para las radiobases de Tierras Morenas y el Silencio en la zona de Tilarán.

**Realizado en:** GoogleEarth Pro.

Al tomar en cuenta el aspecto de tratar de brindar cobertura a todas las radiobases de la región, se observó en base a los estudios de los perfiles de enlace que en ciertos puntos del territorio no existían las condiciones de línea vista entre los puntos a enlazar, por lo cual se decidió desarrollar una manera alternativa para conectar estos sitios a la red interna y no emplear enlaces inalámbricos.

#### 4.10.2 Topología de enlaces E1.

En la figura 4.29 se muestra la distribución de las centrales telefónicas que conformaran parte de los nodos de distribución de la información proveniente de las diferentes radiobases por medio del acceso a los enlaces E1. Se trató que los nodos con este tipo de interconexión fueran los mínimos posibles esto debido a que el E1 es un enlace de alto costo, además de que existen un número limitado de estos en las centrales telefónicas.

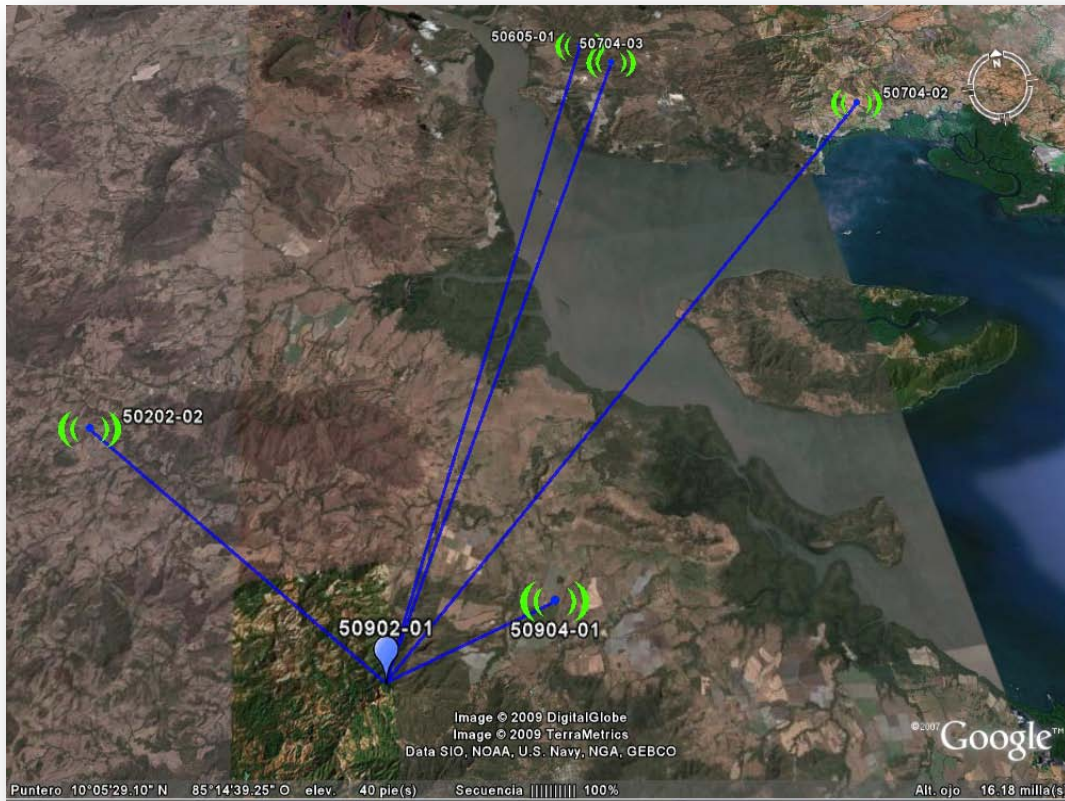


**Figura 4.29.** Ubicación de las centrales telefónicas en las que se empleara un enlace E1.

**Realizado en:** GoogleEarth Pro.

Los sitios que se seleccionaron para emplear el enlace E1 fueron las centrales telefónicas de Tamarindo, Playas del Coco así como la central telefónica del Cerro Santa Rita, esto lugares al ser centrales telefónicas permiten realizar la conexión a la red interna del I.C.E y además permiten agrupar a un gran número de radiobases que de otra manera no podrían enlazarse por medio de enlaces inalámbricos a un punto de acceso de la red.

En la figura 4.30 se muestran los enlaces realizados entre la central telefónica del Cerro Santa Rita 50902-01 y las diferentes radiobases celulares, en este caso se puede notar la importancia de emplear videograbadores debido al gran número de información que llega a la central de las 5 radiobases enlazadas provocaría que el E1 se sature lo que traería repercusiones en el desempeño de la red.



**Figura 4.30.** Enlaces establecidos en la central telefónica del Cerro Santa Rita.

**Realizado en:** GoogleEarth Pro.

Una de las principales ventajas de las topologías empleadas para la interconexión de las radiobases, radica en el hecho de que al emplearse una topología multipunto en configuración de estrella se está en capacidad de poder absorber los sitios nuevos que se encuentran en desarrollo para la tecnología 3G lo cual hace que la red no sea un diseño rígido sino que permite el escalamiento de la misma.

Finalmente existe la posibilidad de poder explotar las capacidades de la red al emplearla no solo para la seguridad de las radiobases sino que también poder brindar una cobertura de servicios de banda ancha a un gran número de hoteles y empresas.

## **Capítulo 5 Análisis de Resultados.**

Una vez que se establecieron los diferentes resultados de las investigaciones realizadas para el desarrollo del proyecto, se puede proceder al análisis de los resultados obtenidos y que contribuyeron con la selección de la solución planteada.

Con el estudio de los diferentes aspectos legales que se mencionaron y desarrollaron en la sección 4.2, se observó que existen grandes dificultades para optar por el uso de una frecuencia licenciada debido a que la asignación de estas, se encuentran a cargo de la Rectoría de Telecomunicaciones del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) y de acuerdo al protocolo existente, la asignación de estas se hace mediante una concesión por periodos de cinco años según consta en el artículo 26 de la ley general de telecomunicaciones.

Por estos motivos se decidió emplear las frecuencias de uso libre, debido a que estas no requieren de permisos para su utilización aunque si se establecen una serie de requerimientos mínimos en los equipos a emplear por lo cual cómo se mencionó en la sección 4.2 se analizó el Adendum VII del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, en el que se establece que para el rango de frecuencias escogidas de 5GHz la potencia máxima de los equipos a emplear será de 350mW, lo cual se utilizó como una limitante a la hora de escoger los equipos.

Para la topología de interconexión entre los diferentes sitios de estudio se tomaron una serie de aspectos en consideración como ancho de banda y perfiles de los enlaces. Dado que la red que se implementará utiliza el aire como principal medio de propagación, se tiene como detrimento un ancho de banda limitado, por lo cual se pretendió garantizar que los equipos a instalar requieran del menor ancho de banda posible.



Tomando este aspecto como base se estableció un estudio del ancho de banda cuyos resultados se muestran en la sección 4.1 en el cual se analizaron los diversos algoritmos de compresión que actualmente emplean las cámaras de seguridad utilizadas por la sección de seguridad electrónica, dentro de esto se consideraron las posibles resoluciones a emplear así como la velocidad de los cuadros que se debe emplear en las cámaras con el fin de hacer un uso eficiente de ancho de banda.

Al realizar una comparación de las diferentes graficas de la sección 4.1 se puede notar como el empleo de diferentes resoluciones en las imágenes así como la cantidad de cuadros por segundo tiene un impacto significativo en el ancho de banda consumido. Los datos de la tabla 3 muestran el tamaño aproximado de las imágenes así como del ancho de banda en función de la resolución y los cuadros por segundo tomados por la cámara, en los cuales se puede notar como al no utilizar un protocolo de compresión de imágenes y el máximo de cámaras, se obtienen consumos de anchos de banda del rango de 4.73Mbps con la menor calidad de la imagen y de hasta 48,66Mbps cuando se planea emplear una resolución de 704x576 pixeles con un byte de resolución por pixel y 15 cuadros por segundo. Es por esto que como medida correctiva se estableció la necesidad de que las cámaras incorporen algún tipo de algoritmo o protocolo de compresión de imágenes, con el fin de que el ancho de banda requerido sea el menor posible.

Cuando se analizaron los diferentes protocolos de compresión y su desempeño se puede notar que las figuras 4.2 y 4.3 como los algoritmos de compresión H.264 y MPEG4 son los que generan los menores anchos de banda en ambas resoluciones produciendo un aumento en el requerimiento del ancho de banda de aproximadamente un 80% para el H.264, mientras que para el MPEG4 es de un 76.92%. Sin embargo aunque el incremento en el algoritmo H.264 es elevado, este es el que requiere del menor ancho de banda de la red ya que consume un aproximado de 1Mbps para una resolución de 704x576 pixeles a siete cuadros por segundo.

Dado de que se trata de una red de seguridad se trató de obtener la mejor resolución de imagen posible con el menor ancho de banda, por lo cual se buscó mejorar la cantidad de cuadros por segundo con el fin de que la imagen del video transmitido sea lo más fluida posible, en las tablas 6 y 7 se observa como al aumentar la cantidad de cuadros por segundo el tamaño de la imagen se mantiene constante pero el ancho de banda aumenta, esto se debe a que el tamaño de la imagen únicamente se ve influenciado por la resolución de la misma, mientras que el ancho de banda se ve afectado por la cantidad de información que transita por el medio, por lo cual al aumentar el envío de imágenes se requiere de mayor ancho de banda en el caso de las figuras 4.4 y 4.5 se observa como los algoritmos de compresión H.264 así como el MPEG4 son los que requieren menor ancho de banda, al igual que en el caso anterior el menor requerimiento lo da el H.264 el cual requiere de 1.875Mbps para el envío de imágenes a 704x576 pixeles de resolución y 15 cuadros por segundo, lo que permite que los enlaces diseñados no requieran de anchos de banda muy grandes logrando que las distancias de enlace sean mayores.

Al examinar los requerimientos del ancho de banda para la red desarrollada se procedió a establecer un estudio del perfil de los diferentes enlaces como se muestra en la sección 4.5, dentro de la cual se encuentra el cálculo de las diferentes atenuaciones que afectan a los enlaces desarrollados como es el caso de las pérdidas por espacio libre así como la atenuación de la señal debido a la lluvia. Estos cálculos son de suma importancia debido a que por medio de ellos se logra dimensionar los requerimientos mínimos de potencia que debe brindar el transmisor con el fin de poder superar las pérdidas de potencia debido a estos efectos, en la tabla 11 y 17 se muestran los diferentes valores de atenuación de la señal debido a la propagación en el espacio libre, con los resultados obtenidos se observa como los valores de atenuación aumentan conforme se incrementa la distancia de separación entre el transmisor y el receptor siendo la atenuación máxima de 136.41dB para el enlace entre la central telefónica del Cerro Santa Rita (50902-01) a la central telefónica de Colorado de Abangares (50704-02).

Dado que en Costa Rica existen dos estaciones climáticas la estación seca y la lluviosa se realizó el cálculo de la atenuación de la señal debido a la lluvia con el fin de garantizar un enlace robusto ante los efectos de la lluvia y de esta manera prever que este no salga de funcionamiento durante la estación lluviosa. En las tablas 12 y 18 se muestra la atenuación provocada por la lluvia en los diferentes enlaces inalámbricos desarrollados al igual que en el caso de las pérdidas de propagación en el espacio libre el nivel de atenuación de la señal también se encuentra en función de la distancia ya que como se muestra en los valores de atenuación de la tablas 12 y 18 entre mayor sea la distancia del enlace mayor serán las pérdidas por atenuación debido a la lluvia.

En el caso de la tabla 14 se muestran los resultados de las alturas óptimas para los equipos que por el análisis del perfil de enlace podían presentar dificultades a la hora de garantizar la liberación del 60% de la primera zona de Fresnel, en este caso los valores que se muestran con resultados positivos corresponden a un aumento de la altura de los equipos, en el caso del resultado obtenido de -0.70m hace referencia a la necesidad de la disminución de la altura del equipo en aproximadamente 70 centímetros.

Con base al análisis y estudio de las distribuciones de los sitios a enlazar y la valoración de las diferentes variables que pueden influir en el desempeño de los enlaces, se estableció como se muestra en la sección 4.6 la topología que se empleará para brindar acceso a la red institucional a la mayor cantidad de radiobases posibles.

Dentro de la solución brindada se optó por emplear una topología multipunto con el fin de poder agrupar a un alto número de sitios en un solo lugar dado que los puntos de conexión a la red interna son pocos tal y como se puede constatar en la figura 4.27, en este caso corresponden a las radiobases más cercanas a las diferentes agencias telefónicas que se encuentran en la región de Guanacaste. En la figura 4.26 se muestra el caso particular de la topología empleada para poder brindar acceso a la red a las diferentes radiobases cercanas a la agencia telefónica de Filadelfia, en la cual se puede observar como todas las radiobases envían la información a una estación central lo cual

permite que los equipos suscriptores no requieran poseer la capacidad de manejar grandes anchos de banda ya que únicamente deben ser capaces de poseer un ancho de banda mínimo que les permita enviar la información de todos los equipos instalados localmente hacia la estación central.

Además de los sitios con conexión al punto de presencia de manera inalámbrica en la figura 4.29 se muestran los sitios que funcionarán como punto de presencia hacia la red institucional por medio de los enlaces E1, en cuyo caso al igual que los sitios anteriores se realizaron enlaces punto a multipunto con el fin de cubrir la mayor cantidad de sitios posibles, en la figura 4.30 se muestra la conexión realizada entre la central telefónica del Cerro de Santa Rita 50902-01 y los sitios aledaños a esta en este caso se obtuvieron las distancias de enlace mayores ya que se establecieron enlaces del rango de los 27Km.

En cuanto a las especificaciones de los equipos a emplear se basaron en las necesidades y expectativas que la sección de seguridad electrónica tiene establecidas para la red inalámbrica así como los aspectos inherentes del diseño.

Dentro de los diferentes aspectos de la sección 4.6 y que se tomaron en cuenta para el establecimiento de las futuras bases para una licitación para la compra de los equipos se encuentran: los requerimientos eléctricos, físicos, red así como de seguridad. Estos requerimientos son importantes ya que por medio de los mismos se permite garantizar que los equipos se acoplarán de la mejor manera a la infraestructura actual que posee el I.C.E en las radiobases, así como también al clima del país y a las distancias de enlace.

En la sección 6 del capítulo 4, se muestra de manera detallada las especificaciones técnicas de los equipos a instalar, dentro de estas se encuentran cubiertas tanto las necesidades de la sección de seguridad electrónica como es el caso de la posibilidad de establecer VLAN, Upload y Download ajustables, encriptación de la información así como también los

criterios de diseño en cuanto a la ganancias de las antenas y potencias de transmisión requeridas.

En la sección 4.6 también se explican los aspectos que se tomaron en cuenta para la escogencia de los equipos encargados de realizar la conversión del protocolo IP al G.703, al igual que el caso anterior se analizaron aspectos eléctricos, físicos y de red de los equipos, en el caso del aspecto eléctrico haciendo mayor referencia al tipo de interfaces que se requieren así como a los conectores y protocolos que debe ser capaz de manejar el equipo.

Al realizar la comparación en las tablas 8 y 9 entre los diferentes equipos que se pueden emplear para el proyecto, se puede observar que en el mercado actualmente existen un gran número de equipos para el establecimiento de enlaces inalámbricos, sin embargo los requerimientos del diseño así como el desempeño y costo de los equipos influirá en la elección del equipo que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

Es por este motivo que cuando se realizó un análisis a profundidad de los desempeños (ventajas y deficiencias) de cada uno de los equipos, se observó que por ejemplo aunque los equipos Motorola son los que presentan el mejor desempeño en cuanto a distancia de enlace y ancho de banda, no representan una opción viable para el proyecto debido al hecho que las distancias entre las diferentes radiobases no alcanzan distancias mayores a los 50Km por lo cual se estaría pagando un gran precio por un equipo subutilizado, en el caso de los equipos Ubiquiti estos presentan una mejor opción en cuanto a precio y además tienen la capacidad de establecer enlaces de hasta 50Km sin embargo los requerimientos de desempeño que se requieren por parte del proyecto como es el caso de VLAN no son soportadas por este lo cual provoca que no pueda emplearse como una solución.

En base a este análisis es que se decidió emplear los equipos Alvarion tanto para los enlaces punto a punto así como para los enlaces punto a multipunto. Se decidió el emplear los equipos Alvarion BreezeAccess en el caso de los enlaces punto a multipunto, debido a la escalabilidad de los mismos así como

por las capacidades de este equipo en cuanto al manejo de la red, en el caso de los equipos NetKrom aunque su desempeño es superior al de la empresa Alvarion uno de los aspectos a tomar en cuenta radica en el hecho que actualmente no existe ningún proveedor autorizado en el país para este tipo de equipo, por lo cual el I.C.E tendría que realizar una compra en el exterior para poder adquirir los equipos provocando que se dé un atraso significativo en el proyecto.

Dentro del análisis de los equipos multipunto también se estableció un estudio de los equipos suscriptores o CPE debido a que estos son los encargados de realizar la conexión con la estación base lo que genera que las limitaciones que presente tanto la estación base así como los equipos suscriptores afectara el desempeño de todo el sistema en sí. En el caso de los equipos punto a punto se pretende emplear los BreezeNetB 300 los cuales garantizan anchos de banda de aproximadamente 70Mbps estos se emplearían como enlace entre la estación base y la agencia telefónica, se buscó que estos equipos tuvieran un gran ancho de banda con el fin de que estuvieran en la capacidad de enviar todo el tráfico de la estación base a la red interna ya que la encontrarse en estos sitios un gran número de información proveniente de otras radiobases se requiere que el ancho de banda requerido para el transporte de la información sea muy grande, sin embargo estos equipos serían empleados únicamente si no se colocan videograbadores en las estaciones base.

En el caso de la interconexión de los equipos como se mostró en la sección 4.8, la solución planteada requiere de diferentes equipos así como de diversas conexiones entre ellos, ya que como se puede observar en la figura 4.7 se muestra la interconexión que se debe de realizar entre la estación base y el enlace E1, en la cual se observa que para poder comunicar a la estación base con la red del ICE se empleará un switch el cual recibirá la información proveniente de las cámaras locales y de la estación base y la envía al equipo convertidor el cual a su vez se encarga de re-encapsular la información en un formato apto para ser enviada por medio del enlace E1. En la figura 4.8 se muestra la manera en la que se integra el equipo convertidor a la red con el fin de que pueda enviar el tráfico del switch a través del enlace E1.

En la figura 4.9 y 4.10 se muestra la manera en la que se interconectarán los equipos para las secciones que poseen acceso al punto de presencia de la red a través del enlace inalámbrico como se puede observar en la figura 4.9 la estación base debe poseer acceso al router o el switch del punto de presencia con el fin de que el tráfico pueda ser redirigido de manera correcta por la red interna.

Por último en el caso de las rutinas de programación, desarrolladas en la sección 4.9 se describen las diferentes paginas que conforman parte de la base de datos de las bases celulares, en esta sección se mostraron cada uno de los diferentes diagramas de flujo empleados como base para la programación de las rutinas que deben desempeñar las diferentes páginas.

Cabe resaltar que para la puesta en marcha de la base de datos con los mapas digitales de GoogleMap, se requiere obtener la autorización de esta empresa este permiso no posee costo alguno, siempre y cuando las páginas sean consultadas de manera local, ya que para casos comerciales existe un límite de visitas a partir de las cuales se requiere del pago por los mapas.

Para este caso como se mencionó en la sección 4.9 se emplearon diversos lenguajes de programación tanto del lado del servidor así como para las páginas web, esto se realizó con el fin de que la base de datos y las páginas puedan almacenarse dentro del servidor y de esta forma puedan ser consultadas por cualquier usuario a través de la red interna.

Dado que al ser información importante la que se almacenara dentro de la base de datos se decidió emplear como se muestra en la figura 4.14, un sistema de validación de usuarios con el fin de que únicamente aquellos con autorización puedan acceder a la información.

En la figura 4.18 se muestra el diagrama de las variables que se almacenarán en la base de datos dentro de las cuales se encuentran la posición geográfica por latitud y longitud, dirección IP así como la función que desempeña el equipo dentro de la red.

Cuando se realiza una búsqueda en la base de datos de las radiobases, la búsqueda puede realizarse en base a la longitud, latitud, dirección IP o función que desempeña lo cual permite hacer tanto búsquedas precisas como generales dentro de la base de datos.

En el caso de la visualización de los equipos se realizó por medio de los APIS de google lo que permitió poder localizar los equipos a través de vistas aéreas de las zonas cercanas a la que se encuentra además del empleo de mapas políticos con el fin de poder realizar la localización de los sitios por medio de calles y avenidas tal y como se puede observar en las imágenes de las figuras 4.22 y 4.23.



## Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones.

- La topología propuesta para la interconexión de las diferentes radiobases celulares de la zona de Guanacaste por medio de enlaces inalámbricas y enlaces E1 permite brindar acceso a la red institucional al 100% de los sitios analizados.
- Los equipos que mejor se adaptan a los diversos requerimientos tanto de diseño (distancia de enlace, potencia de transmisión, sensibilidad del equipo) así como los establecidos por la sección de Seguridad Electrónica (VLAN, QoS) fueron los de la marca Alvarion en el caso específico de los enlaces multipunto el modelo BreezeAccess VL, mientras que en los enlaces punto a punto los modelos BreezeNet B los cuales permiten realizar enlaces de hasta 54Km con diversidad de anchos de banda desde 10Mbps hasta los 70Mbps.
- La interconexión propuesta de los diversos sitios permite que la red sea escalable a futuro ya que al emplear una topología en estrella, se logra que los equipos que actualmente funcionan como equipos suscriptores puedan convertirse en estaciones base con nuevos sitios enlazados a estos.
- La solución propuesta recurre a la red de transporte SDH del I.C.E para enlazar aquellas radiobases donde no existe línea vista con el punto de acceso a la red, esto permite que no se construyan antenas repetidoras para enlazar estos sitios.

- El empleo de videograbadores en las zonas de confluencia de los enlaces inalámbricos, logra descongestionar el uso de la red de las diferentes agencias telefónicas y centrales eléctricas ya que esta se emplea únicamente cuando se necesite hacer alguna consulta en las imágenes almacenadas en estos.
- Por medio de los diferentes cálculos matemáticos realizados así como por intermedio de las simulaciones de software efectuadas, se logró demostrar la factibilidad del desarrollo de una red inalámbrica que permita comunicar las radiobases celulares a la red institucional del I.C.E en la región de Guanacaste.
- El software desarrollado para la localización de las radiobases permite ingresar y consultar información relevante de cada una, como es el caso de direcciones IP, coordenadas geográficas, así como la función que desempeña cada una dentro de la red.
- Dentro de las limitaciones del diseño se encuentra que con los estudios de los perfiles del enlace realizados no se puede constatar la existencia de edificaciones y vegetación que pueda afectar el desempeño de los mismos.

## 6.2 Recomendaciones

- Para la verificación de las alturas en la que se colocaran los equipos se recomienda realizar visitas a los sitios con el fin de constatar que la altura propuesta en el monopolo de la radiobase se encuentra libre de equipos.
- En el caso de los enlaces con las agencias telefónicas se recomienda que estos se encuentren en una frecuencia de operación diferente a la de los equipos multipunto con el fin de evitar interferencia entre ambos equipos.
- Realizar mediciones de ruido con ayuda de analizadores de espectros con el fin de garantizar que no existen redes contiguas transmitiendo a la misma frecuencia así como para descartar la existencia de interferencia con las demás equipos instalados.
- Emplear supresores de descargas con interface RJ-45 con el fin de garantizar que los equipos conectados a la antena como switch, estación base, cámaras, etc., no sufrirán daños.
- Se deben colocar en los sitios cámaras IP que operen con el algoritmo de compresión H.264 con el fin de poder hacer un uso eficiente del ancho de banda disponible por enlace.
- Colocar videograbadores en cada una de las radiobases que funcionen como una estación central para los enlaces inalámbricos.
- Emplear la polarización vertical en las antenas con el fin de que se pueda disminuir al máximo, el efecto de las lluvias en el desempeño de la red.

## Bibliografía y Referencias.

[1] Buettrich, Sebastian. **Unidad 8: Antenas y Cables**. Editado por: Pascual Escudero, Alberto. Versión Final, Octubre 2007. [En Línea].<[http://www.wilac.net/index\\_pdf.html](http://www.wilac.net/index_pdf.html)>[Consultada: 22 de Agosto].

[2] **Atenuación vs Frecuencia Cable Coaxial**. [En Línea].<[http://www.procom.dk/esl/Page\\_menu/Procomlab/Datos\\_utiles/Antenas\\_de\\_base\\_y\\_antenas\\_marinas/Datos\\_utiles/Attenuation\\_vs\\_Frequency](http://www.procom.dk/esl/Page_menu/Procomlab/Datos_utiles/Antenas_de_base_y_antenas_marinas/Datos_utiles/Attenuation_vs_Frequency)> [Consultada: 25 de Agosto].

[3] UIT-R P.525 (1994). **Cálculo de la atenuación en el espacio libre**.

[4] UIT-R P.838-3 (2005). **Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción**.

[5] UIT-R P.530-12 (2007). **Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa**.

[6] UIT-R F.1093-2 (2006). **Efectos de la propagación multi-trayecto en el diseño y funcionamiento de los sistemas inalámbricos fijos digitales con visibilidad directa**.

[7] Heiskala, Juha, Terry, John. **OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide**. S.I, SAMS, 2001 (Telecomunicaciones).

[8] Flickenger Rob et al. **Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo**, 2 ed, S.I , Creative Commons, 2007.

[9] Hewitt, Paul G. **Física Conceptual**. 10 ed. México: Prentice Hall, 2007, (Física).

[10] Pietrosemoli, Ermanno. **Diseño de Radioenlaces. Redes inalámbricas para la transmisión de datos**. Escuela Latinoamericana de Redes, Venezuela.<<http://www.zero13wireless.net/foro/showthread.php?t=3239>> [Consultada: 28 de Agosto].

[11] Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. **Propagación y campo recibido**. [En Línea].<<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Antenas%20y%20Propagacion/1513.pdf>> [Consultada: 9 de Setiembre]

[12] **Zona de Fresnel**. [En Línea].<[http://cetitdh.tripod.com/los\\_espejos\\_de\\_fresnel.htm](http://cetitdh.tripod.com/los_espejos_de_fresnel.htm)> [Consultada: 25 de Agosto].

[13] Hayt, William, Buck, Jr. **Teoría Electromagnética**, 7 ed, México, 2001 (Electromagnetismo).

- [14] Buettrich, Sebastian. **Unidad 4: Topología e Infraestructura Básica de Redes Inalámbricas**. Editado por: Pascual Escudero, Alberto. Versión Final, Octubre 2007. [En Línea].<[http://www.wilac.net/index\\_pdf.html](http://www.wilac.net/index_pdf.html)>[Consultada: 22 de Agosto].
- [15] **Antena**. [En Línea].<<http://es.wikipedia.org/wiki/Antena> > [Consultada: 25 de Agosto].
- [16] **Tema 3:Radioenlaces Terrenales**. [En Línea].<<http://www.grp.tsc.uvigo.es/rtvs/docs/tema3.pdf> > [Consultada: 25 de Agosto].
- [17] **Plan Nacional de Atribuciones**. Gaceta No.114. 14 Junio del 2002.
- [18] **Ley General de Telecomunicaciones**. Gaceta No.125. 30 Junio del 2008.
- [19] **Software para el diseño de Circuitos Cerrados de Televisión CCTV**. [En Línea].<<http://www.jvsg.com/>> [Consultada: 23 de Setiembre].
- [20] **Atlas Climatológico**. [En Línea].<[http://www.imn.ac.cr/mapa\\_clima/altas\\_clima/atlas%20clima.html](http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/altas_clima/atlas%20clima.html)> [Consultada: 23 de Setiembre].
- [21] UIT-R P.453-9 (2003). **Índice de refracción radioeléctrica: su formula y datos sobre la refractividad**.
- [22] **Tutorial Instalación de PHP, My SQL y apache para Windows XP**. [En Línea]. < <http://www.webtutoriales.com/tutoriales/mantenimiento/instalar-apache.31.html> > [Consultada: 7 de Setiembre].
- [23] Purvis Michael; Sambells Jeffrey; Turner Cameron. **Beginning Google Maps Applications with PHP and Ajax: From Novice to Professional**, 1 ed, Estados Unidos de America, Apress, 2006.
- [24] **PHP Y MySQL Para Dummies**,2 ed,
- [25] Welling Luke, Thomson Laura. **Desarrollo Web con PHP y MySQL**,1 ed, España, ANAYA Multimedia, 2005.
- [26] Gilfillan Ian, **LA BIBLIA MySQL**, 1ed, S.I, ANAYA Multimedia,
- [27] **Radio Mobile 10.2.0**. [En Línea].<[www.g3tvu.co.uk](http://www.g3tvu.co.uk)> [Consultada: 10 de Noviembre].
- [28] **Introducción a Radio Mobile**. [En Línea].< <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/utilidades/RadioMobile>> [Consultada: 3 de Agosto].
- [29] **Using Radio Mobile for Windows**. [En Línea].< <http://www.pizon.org/radio-mobile-tutorial/index.html>> [Consultada: 10 de Setiembre].

[30] Wheat Jeffrey; Hiser Randy; Tucker Jackie; Neely Alicia, **Designing a Wireless Network**, 1 ed, Estados Unidos de America, Syngress Publishing, 2001.

[31] Biblioteca Universitaria de Vigo, España. **Recomendaciones UIT-R**. [En Línea]. <<http://webs.uvigo.es/servicios/biblioteca/uit/>> [Consultada: 8 de Setiembre].

[32] U.S Department of Commerce NTIA/ITS, **Institute for Telecommunication Sciences. Irregular Terrain Model ITM**. [EnLínea]. <<http://flattop.its.bldrdoc.gov/itm.html> > [Consultada: 3 de Diciembre].

[33] Jet Propulsion Laboratory. **Shuttle Radar Topography Model SRTM**. [En Línea]. <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>> [Consultada: 3 de Diciembre].

[34] **Airaya**. [En Línea].<<https://secure.airaya.com/proddetail.asp?prod=AI108-4958-OSU>>[Consultada: 3 de Diciembre].

[35] **Motorola**. [En Línea]. <<http://www.motorola.com/Business/US-EN/Business+Product+and+Services/Wireless+Broadband+Networks/Point-to-Point+Bridges>> [Consultada: 3 de Diciembre].

[36]**Alvarion**. [EnLínea].<<http://www.alvarion.com/index.php/en/products/breezaaccess/breezeaccessr-v>> [Consultada: 3 de Diciembre].

[37]**Gigabeam**. [EnLínea].<<http://www.gigabeam.com/Products/GiLINX46GHz.aspx>> [Consultada: 3 de Diciembre].

[38]Leal Murillo, Allan André. **Proyecto de Graduación Estudio de radioenlaces para red celular de Ericsson**. 2005

[39]Gutiérrez Camacho, Edgar. **Proyecto de Graduación Estudio de factibilidad técnica de la implementación de la red inalámbrica hacia Guanacaste para ampliar la cobertura de servicios de Continex inalámbricas**. 2008

## Apéndice

### Glosario

**Enlace E1:** conexión punto a punto, empleando para la unión de troncales entre centrales telefónicas, la trama E1 se encuentra modulada por PCM con 32 canales de 64kbps lo cual le permite un ancho de banda aproximado de 2048kbps.

**Ancho de Banda:** en las redes de conexión, el ancho de banda hace referencia a la cantidad de información que se puede enviar durante un periodo dado de tiempo, usualmente se mide en kilobits por segundo (Kbps) o megabits por segundo (Mbps).

**QoS:** *Quality of Service*, estándar para el monitoreo y mantenimiento a nivel del desempeño de transmisión y servicio.

**POP:** *Point of Presence*, conexión física entre una red privada y la compañía proveedora de los servicios de internet ISP.

**Radiobase celular:** sitio donde se encuentran alojados los equipos y antenas de transmisión empleados para brindar el servicio de telefonía celular.

**Central Telefónica:** lugar utilizado por una empresa operadora de telefonía donde se albergan los equipos de conmutación y los demás equipos necesarios para la operación de llamadas telefónicas en el sentido de hacer conexiones y retransmisiones de información. En estos lugares también se encuentran los enlaces con otras centrales además de los circuitos interurbanos.

**Frecuencia Libre:** rango de frecuencias cuyo uso puede ser compartido debido a que no se requiere de permiso para la transmisión de información.

**Nodo:** sitio donde se posee una estación base de la red.

**Free Space Loss:** ver pérdidas de propagación en el espacio libre.

**QAM:** *Quadrature Amplitude Modulation* modulación de amplitud en cuadratura corresponde a una de las diferentes técnicas de modulación digital para la transmisión de datos.

**PSK:** *Phase Shift Keying*, modulación digital que emplea el desplazamiento de fase para la transmisión de datos.

**OFDM:** ver modulación OFDM.

**Espectro radioeléctrico:** es un bien de dominio público, el cual se emplea como un medio de transmisión de ondas electromagnéticas que permiten las telecomunicaciones.

**Monopolo:** en este caso se refiere a la estructura metálica en forma cilíndrica en la cual se colocan las antenas para la transmisión de la información.

**WLAN:** red inalámbrica de área local.

**WMAN:** red inalámbrica de área metropolitana.

**Ptmp:** siglas empleadas para denotar una topología punto a multipunto.

**Ptp:** siglas empleadas para denotar una topología punto a punto.

**CPE:** *Customer premises equipment*, se refiere a los equipos terminales (antenas) empleados en los sitios que se desean enlazar.

**Atenuación:** disminución de la intensidad o potencia de la señal transmitida.

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones. Es un organismo de las Naciones Unidas, encargado de regular las Telecomunicaciones a nivel mundial.

**UIT-R:** son una serie de recomendaciones en el sector de las radiocomunicaciones por parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**Torre:** estructura metálica en la cual se colocan las antenas de transmisión de la información.

**Switch:** dispositivo de red que filtra, envía e inunda de tramas basado en la dirección de cada trama. Este dispositivo trabaja en la capa de datos de la capa OSI.

**Router:** dispositivo de red que puede utilizar diversas métricas para el cálculo de la ruta óptima por la cual debe ser enviado el tráfico. El router envía tráfico de una red a otra basado en la capa de red.

**WISP:** *Wireless service provider*, proveedor de servicios inalámbricos se refiere a la compañía encargada de brindar servicios de internet.

**Rack:** gabinete metálico que posee guías troqueladas a ambos lados a distancias constantes. Este sistema permite que los equipos sean atornillados minimizando el espacio ocupado.

**VLAN:** *Virtual Local Area Network*, es una subred definida por software, esta es considerada como un dominio de broadcast el cual puede estar en el mismo medio físico o en lugares separados.

**nLOS:** near Line of Sight, se refiere a la existencia parcial de la línea vista entre ambos puntos del enlace.



**NLOS:** Non Line of Sight, hace referencia a la inexistencia de la línea de vista entre los puntos a enlazar.

**CIR:** Committed Information Rate, consiste en la tasa de información mínima que se debe garantizar, el resto del ancho de banda está sujeto a la disponibilidad de la red.

**IP:** Internet Protocol, protocolo de internet que emplea series de cuatro octetos separados por punto decimal.

**G.703:** interfaz de conexión tanto para cable coaxial de  $75\Omega$  o empleando un par simétrico de  $120\Omega$ .

**HDB3:** protocolo de envío de información para líneas bipolares de alta densidad de tercer orden.

**H.264:** formato de codificación digital para videos de alta calidad, este formato utiliza la técnica de estimación de movimiento, este surge como predecesor del formato MPEG4.

**MPEG4:** formato que emplea algoritmos de compresión que codifica datos, audio y video, optimizando su almacenamiento, codificación y distribución en la red.

**STRM:** Shuttle Radar Topography Mission, mapa digital que permite realizar un análisis del relieve de la tierra por medio de imágenes de aproximadamente 3 arco-segundos.

## A.1 Cálculo de enlaces con acceso directo a la red institucional

### A.1.1 Central Telefónica de Bagases 50401-02

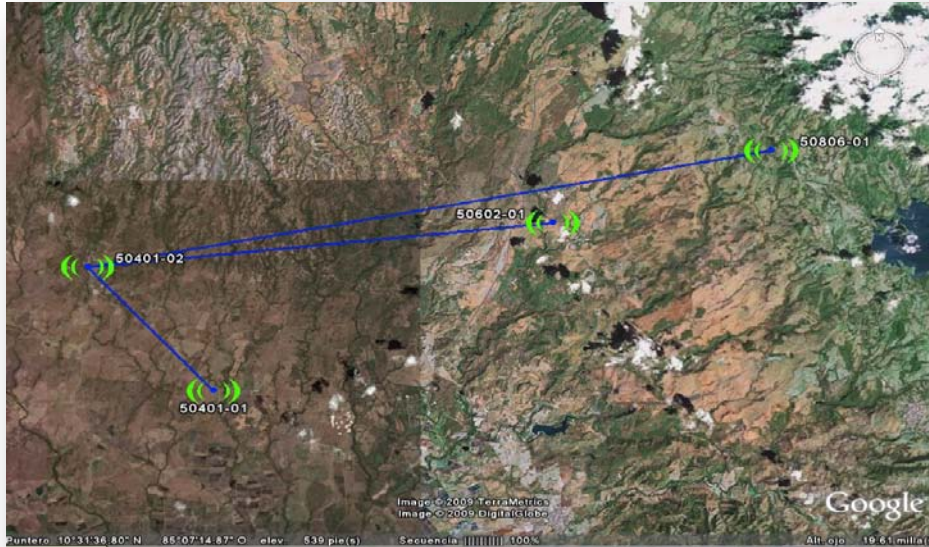


Figura A.1.1 Imagen de la Topología empleada para el POP de Bagases.

Realizado en: [GoogleEarth](https://www.google.com/earth/).

#### A.1.1.1 Pérdidas de propagación en el espacio libre.

Al emplear la ecuación 2.7 se obtuvieron los siguientes valores de atenuación:

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(d \text{ Km}) + 20\text{Log}(5,8\text{GHz})$$

#### **Central Telefónica Montenegro 50401-01**

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(7,41\text{Km}) + 20\text{Log}(5,8\text{GHz})$$

$$L_{Espacio} = 125,0649\text{dB}$$

#### **Radiobase Palmira 50602-01**

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(18,03\text{Km}) + 20\text{Log}(5,8\text{GHz})$$

$$L_{Espacio} = 132,7884\text{dB}$$

#### **Radiobase Tierras Morenas 50806-01**

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(26,62\text{Km}) + 20\text{Log}(5,8\text{GHz})$$

$$L_{Espacio} = 136,1727\text{dB}$$

### **A.1.1.2 Atenuación debido a la lluvia.**

Empleando los valores de las constantes  $K_h$  y  $\alpha_h$  que se calcularon en el apéndice A.3 se emplearon las ecuaciones 2.9 y 2.14 por medio de la cual se obtuvo:

$$\gamma_R = 1,9042 \text{ dB/Km}$$

$$d_o = 3,976 \text{ Km}$$

A continuación se muestran los cálculos para cada una de los enlaces establecidos:

#### **Central Telefónica Montenegro 50401-01**

Para el cálculo del factor de reducción se empleó la ecuación 2.13

$$r = \frac{1}{1 + 7.41/3.976}$$
$$r = 0.3492 \text{ Km}$$

La distancia efectiva del enlace de acuerdo con la ecuación 2.12 se obtiene:

$$d_{eff} = 7,41 \cdot 0,3492$$

$$d_{eff} = 2,5875 \text{ Km}$$

Por último el cálculo de la atenuación total debido a la lluvia viene dado por la ecuación 2.8 de la siguiente manera:

$$A_{Total} = 1,9042 \cdot 2,5875$$

$$A_{Total} = 4,9276 \text{ dB}$$

### **Radiobase Palmira 50602-01**

Para el cálculo del factor de reducción se empleó la ecuación 2.13

$$r = \frac{1}{1 + \frac{18,03}{3,976}}$$
$$r = 0,1806Km$$

La distancia efectiva del enlace de acuerdo con la ecuación 2.12 se obtiene:

$$d_{eff} = 18,03 \cdot 0,1806$$
$$d_{eff} = 3,2562 Km$$

Por último el cálculo de la atenuación total debido a la lluvia viene dado por la ecuación 2.8 de la siguiente manera:

$$A_{Total} = 1,9042 \cdot 3,2562$$
$$A_{Total} = 6,2036 dB$$

### **Radiobase Tierras Morenas 50806-01**

Para el cálculo del factor de reducción se empleó la ecuación 2.13

$$r = \frac{1}{1 + \frac{26,62}{3,976}}$$
$$r = 0,1299Km$$

La distancia efectiva del enlace de acuerdo con la ecuación 2.12 se obtiene:

$$d_{eff} = 26,62 \cdot 0,1299$$
$$d_{eff} = 3,4579Km$$

Por último el cálculo de la atenuación total debido a la lluvia viene dado por la ecuación 2.8 de la siguiente manera:

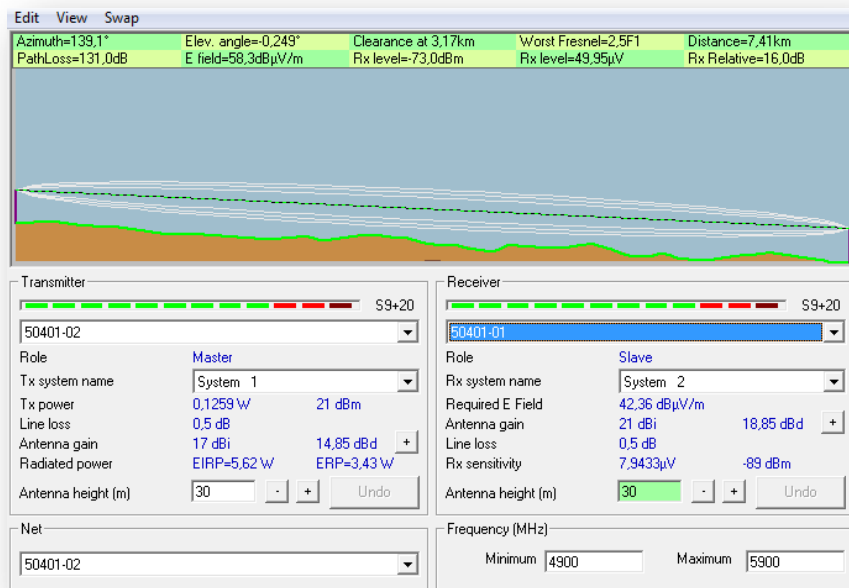
$$A_{Total} = 1,9042 \cdot 3,4579$$

$$A_{Total} = 6,5877 \text{ dB}$$

### A.1.1.3 Cálculo de la zona de Fresnel.

Para el cálculo de la zona de Fresnel se empleó la ecuación 2.16 así como el análisis de perfil de cada uno de los enlaces establecidos por medio del cual se obtuvo el siguiente resultado.

#### Central Telefónica Montenegro 50401-01



**Figura A.1.2** Perfil de enlace entre la central telefónica de Bagases y la central telefónica de Montenegro.

Realizado en: RadioMobile 10.0.9

De acuerdo a la ecuación 2.16 el radio de la zona de Fresnel para el enlace establecido se calcula de la siguiente manera:

$$D_1 = 3,42Km$$

$$D_2 = 3,99Km$$

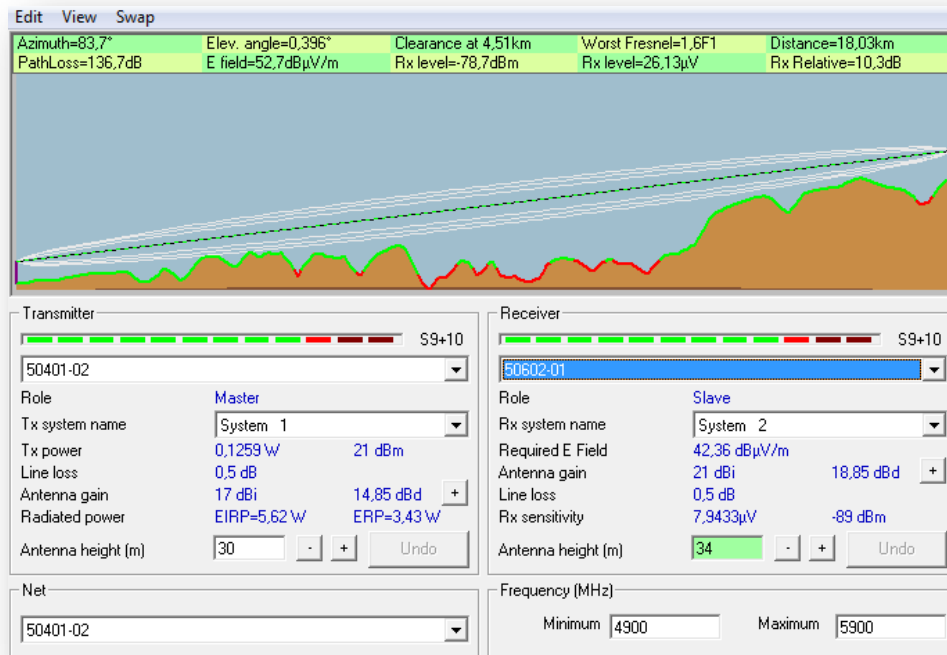
$$D = 7,41Km$$

$$f = 5,8GHz$$

$$R_{Fresnel} = 17.5 \sqrt{\frac{3,42 \cdot 3,99}{5,8 \cdot 7,41}}$$

$$R_{Fresnel} = 9,8608m$$

## Radiobase Palmira 50602-01



**Figura A.1.3** Perfil de enlace entre la central telefónica de Bagases y la radiobase de Palmira.

**Realizado en:** RadioMobile 10.0.9

De acuerdo a la ecuación 2.16 así como la imagen de la figura A 1.3 el radio de la zona de Fresnel para el enlace establecido se calcula de la siguiente manera:

$$D_1 = 3,81Km$$

$$D_2 = 14,22Km$$

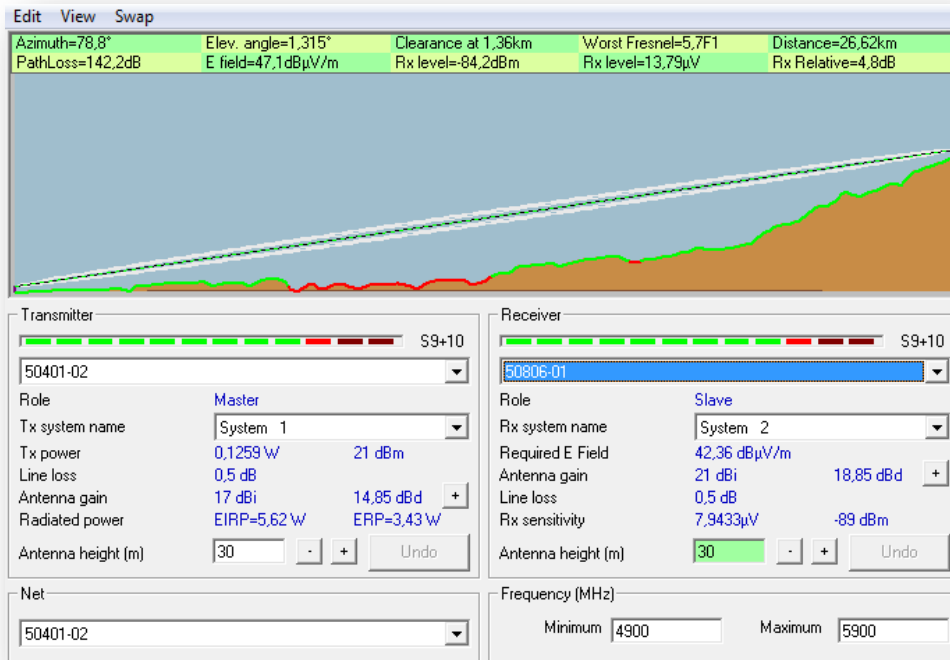
$$D = 18,03Km$$

$$f = 5,8GHz$$

$$R_{Fresne} = 17,5 \sqrt{\frac{3,81 \cdot 14,22}{5,8 \cdot 18,03}}$$

$$R_{Fresnel} = 12,5961m$$

## Radiobase Tierras Morenas 50806-01



**Figura A.1.4** Perfil de enlace entre la central telefónica de Bagases y la radiobase de Tierras Morenas.

Realizado en: RadioMobile 10.0.9

De acuerdo a la ecuación 2.16 el radio de la zona de Fresnel para el enlace establecido se calcula de la siguiente manera:

$$D_1 = 13,31Km$$

$$D_2 = 13,31Km$$

$$D = 26,62Km$$

$$f = 5,8GHz$$

$$R_{Fresne} = 17.5 \sqrt{\frac{13,31 \cdot 13,31}{5,8 \cdot 26,62}}$$

$$R_{Fresnel} = 18,7455m$$



#### **A.1.1.4 Presupuesto de enlace.**

Para el cálculo del presupuesto de enlace se utilizó la ecuación 2.1 de la sección del marco teórico de la siguiente manera:

$$Presupuesto = P_{TX} + G_{Ant\_TX} - FSL + G_{Ant\_RX} - Per_{Lluvia}$$

##### **Central Telefónica Montenegro 50401-01**

Los diferentes valores de las ganancias de las antenas empleadas así como de la potencia de transmisión para el cálculo del presupuesto de enlace son tomados de la tabla 15

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 125,0649dB + 21dBi - 4,9276dB$$

$$Presupuesto = -69,9633dB$$

##### **Radiobase Palmira 50602-01**

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 132,7884dB + 21dBi - 6,2036dB$$

$$Presupuesto = -78,716dB$$

##### **Radiobase Tierras Morenas 50806-01**

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 136,1727dB + 21dBi - 6,5877dB$$

$$Presupuesto = -83,3763dB$$

#### **A.1.1.5 Presupuesto de enlace.**

Para el cálculo del presupuesto de enlace se utilizó la ecuación 2.1 de la sección del marco teórico de la siguiente manera:

$$Presupuesto = P_{TX} + G_{Ant\_TX} - FSL + G_{Ant\_RX} - Per_{Lluvia}$$

##### **Radiobase Sámará 51101-02**

Los diferentes valores de las ganancias de las antenas empleadas así como de la potencia de transmisión para el cálculo del presupuesto de enlace son tomados de la tabla 15

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 121,52dB + 21dBi - 4,1913dB$$

$$Presupuesto = -65,84dB$$

##### **Radiobase Puerto Carrillo 50205-01**

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 117,52dB + 21dBi - 3,3231dB$$

$$Presupuesto = -64,59dB$$

##### **Radiobase Potal 50906-02**

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 131,83dB + 21dB - 6,0758dB$$

$$Presupuesto = -75,65dB$$

## A.2 Cálculo de enlaces con acceso a la red institucional por medio de un enlace E1

### A.2.2 Central Telefónica Punta Cacique 50503-02

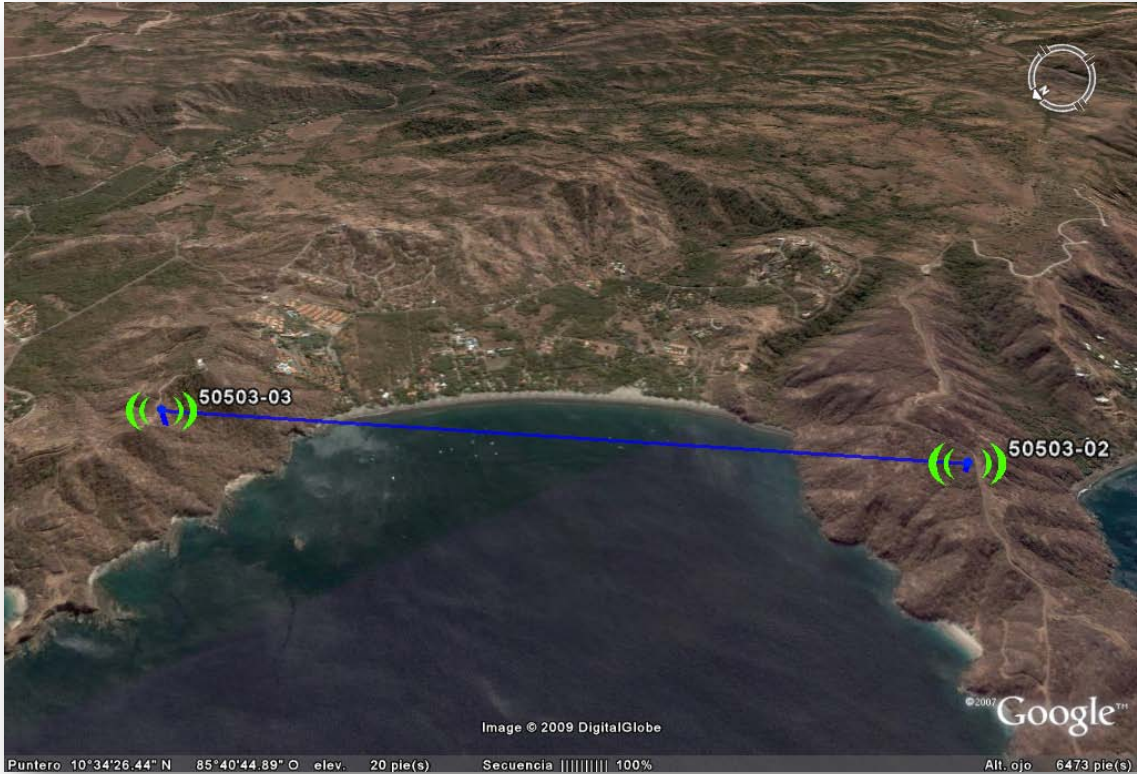


Figura A.2.5 Imagen de la Topología empleada para el POP de Punta Cacique.

Realizado en: [GoogleEarth](https://www.google.com/earth/).

#### A.2.2.1 Pérdidas de propagación en el espacio libre.

Al emplear la ecuación 2.7 se obtuvieron los siguientes valores de atenuación:

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(d \text{ Km}) + 20\text{Log}(5,8\text{GHz})$$

#### Radiobase de Playa Panamá 50503-03

$$L_{Espacio} = 92,4 + 20\text{Log}(2,37\text{Km}) + 20\text{Log}(5,8\text{GHz})$$

$$L_{Espacio} = 115,1635\text{dB}$$

### **A.2.2.2 Atenuación debido a la lluvia.**

Empleando los valores de las constantes  $K_h$  y  $\alpha_h$  que se calcularon en el apéndice A.3 se emplearon las ecuaciones 2.9 y 2.14 por medio de la cual se obtuvo:

$$\gamma_R = 1,9042 \text{ dB/Km}$$

$$d_o = 3,976 \text{ Km}$$

A continuación se muestran los cálculos para cada una de los enlaces establecidos:

#### **Radiobase de Playa Panamá 50503-03**

Para el cálculo del factor de reducción se empleó la ecuación 2.1

$$r = \frac{1}{1 + 2.37/3.976}$$
$$r = 0.6265 \text{ Km}$$

La distancia efectiva del enlace de acuerdo con la ecuación 2.12 se obtiene:

$$d_{eff} = 2,37 \cdot 0,6265$$

$$d_{eff} = 1,4848 \text{ Km}$$

Por último el cálculo de la atenuación total debido a la lluvia viene dado por la ecuación 2.8 de la siguiente manera:

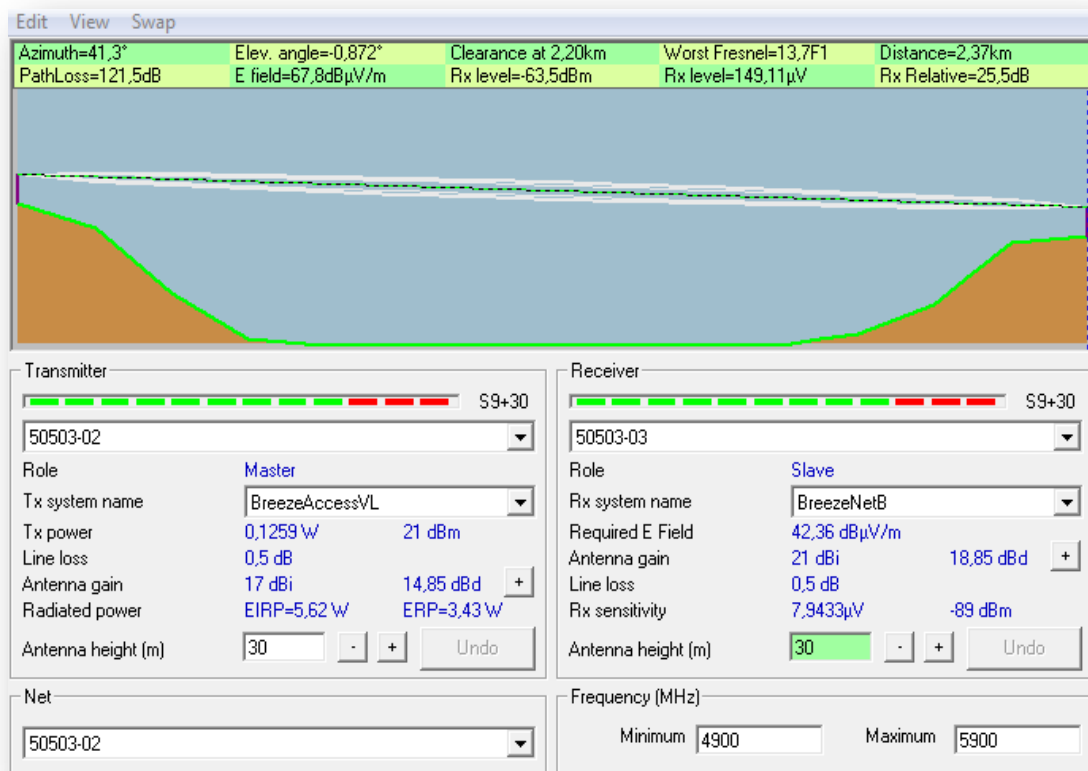
$$A_{Total} = 1,9042 \cdot 1,4848$$

$$A_{Total} = 2,8276 \text{ dB}$$

### A.2.2.3 Cálculo de la zona de Fresnel.

Como se muestra en la figura A.2.2 las posibilidades de una obstrucción a causa del relieve de la zona de la primera zona de Fresnel es muy baja no se realizó el cálculo de la misma, debido a que se considero innecesario.

### **Radiobase de Playa Panamá 50503-03**



**Figura A.2.6** Perfil de enlace entre la central telefónica de Punta Cacique y la radiobase de Playa Panamá.

**Realizado en:** RadioMobile 10.0.9

#### **A.2.2.4 Presupuesto de enlace.**

Para el cálculo del presupuesto de enlace se utilizó la ecuación 2.1 de la sección del marco teórico de la siguiente manera:

$$Presupuesto = P_{TX} + G_{Ant\_TX} - FSL + G_{Ant\_RX} - Per_{Lluvia}$$

#### **Radiobase de Playa Panamá 50503-03**

Los diferentes valores de las ganancias de las antenas empleadas así como de la potencia de transmisión para el cálculo del presupuesto de enlace son tomados de la tabla 15

$$Presupuesto = 21dBm + 17dBi - 115,1635dB + 21dBi - 2,8276dB$$

$$Presupuesto = -61,98dB$$

### A.3 Gráfica de Interpolación para el cálculo de $K_h$ y $\alpha_h$ .

#### A.3.1 Cálculo de la constante $K_h$

Para la creación de la curva de interpolación de los valores de la constante  $K_h$  se emplearon únicamente los valores que se encontraban dentro del rango de 1GHz hasta los 10GHz, esto debido a que al emplear la totalidad de los valores de las constantes se dificulta el poder encontrar una función matemática que permita simular el comportamiento observado en los datos, es por esto que se decidió el emplear una interpolación de los datos por trozos es decir se emplearía únicamente una interpolación de un rango de frecuencias dentro de las cuales se encuentre la frecuencia de estudio.

En la figura A.3.1 se muestra el comportamiento de los valores de  $K_h$  para el rango de 1GHz hasta los 10GHz, dentro del cual se muestra la función de interpolación esta presenta un comportamiento muy semejante al que presentan los datos brindados por la ITU, lo cual permite emplearla para poder calcular los valores de  $K_h$  que no se encuentran presentes en la tabla 22 del Anexo 1.

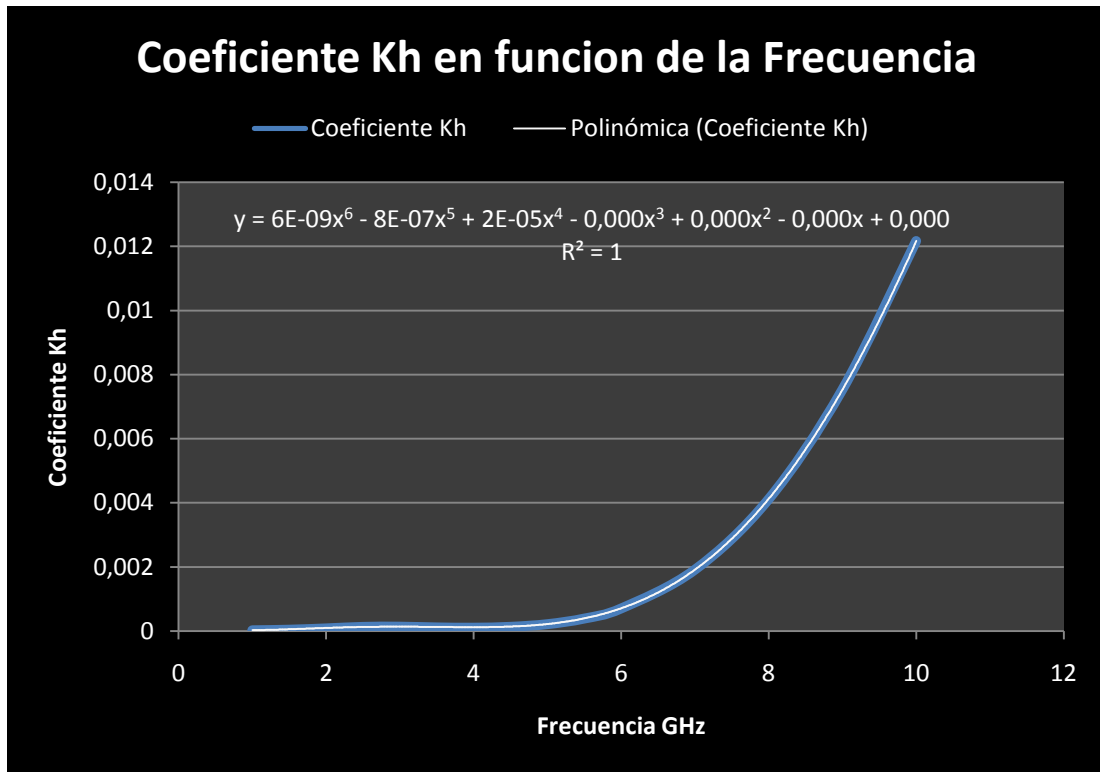
La función de interpolación que se consiguió con los datos empleados y bajo el rango de frecuencias establecidos anteriormente es la siguiente:

$$K_h(f) = 6x10^{-9} \cdot f^6 - 8x10^{-7} \cdot f^5 + 2x10^{-5} \cdot f^4 - 0,0001 \cdot f^3 + 0,0004 \cdot f^2 - 0,0005 \cdot f + 0,0002$$

Donde:

$K_h(f)$  = *valor de la constante de  $K_h$  por interpolación*

$f$  = *Frecuencia de cálculo*



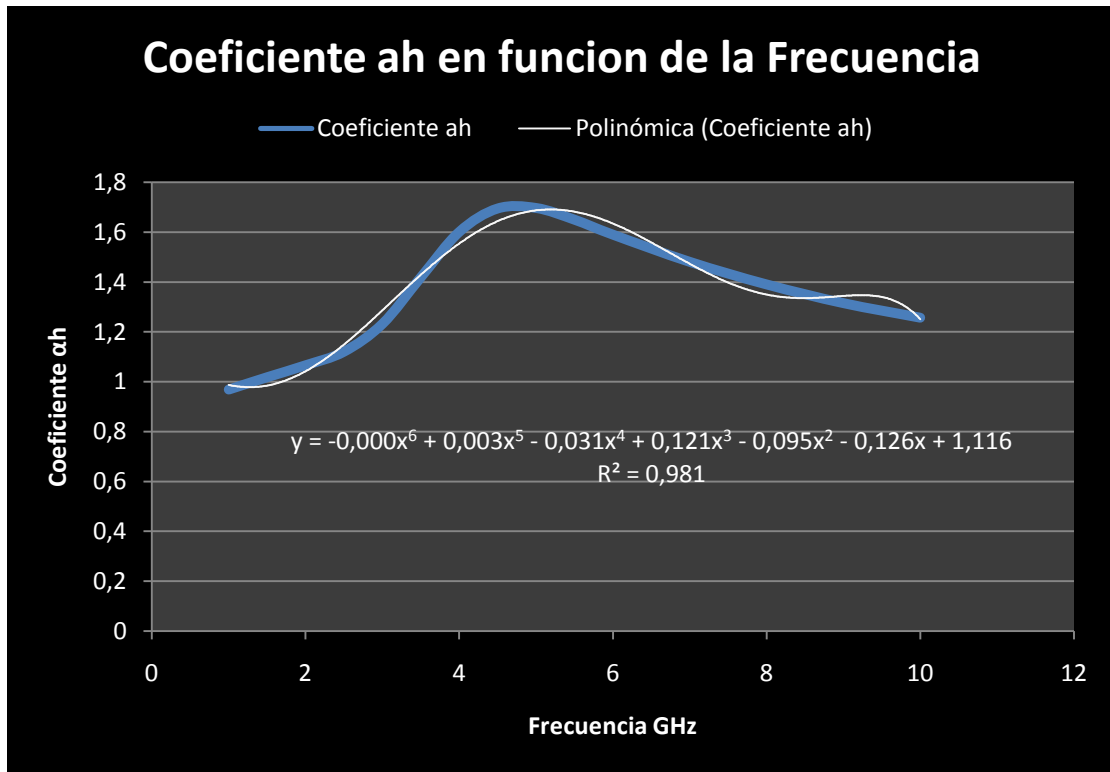
**Figura A.3.7** Polinomio de interpolación para el cálculo del coeficiente Kh.

Realizado en: Microsoft Excel 2007.

### A.3.2 Cálculo de la constante $\alpha_h$

se realizó una interpolación del valor del coeficiente  $\alpha_h$  bajo el mismo criterio que en el caso anterior se empleó el rango de frecuencias de 1GHz hasta 10GHz, sin embargo como se puede observar en la figura A.3.2 la ecuación de interpolación no es capaz de ajustarse al comportamiento que presentan los datos brindados por la UIT.

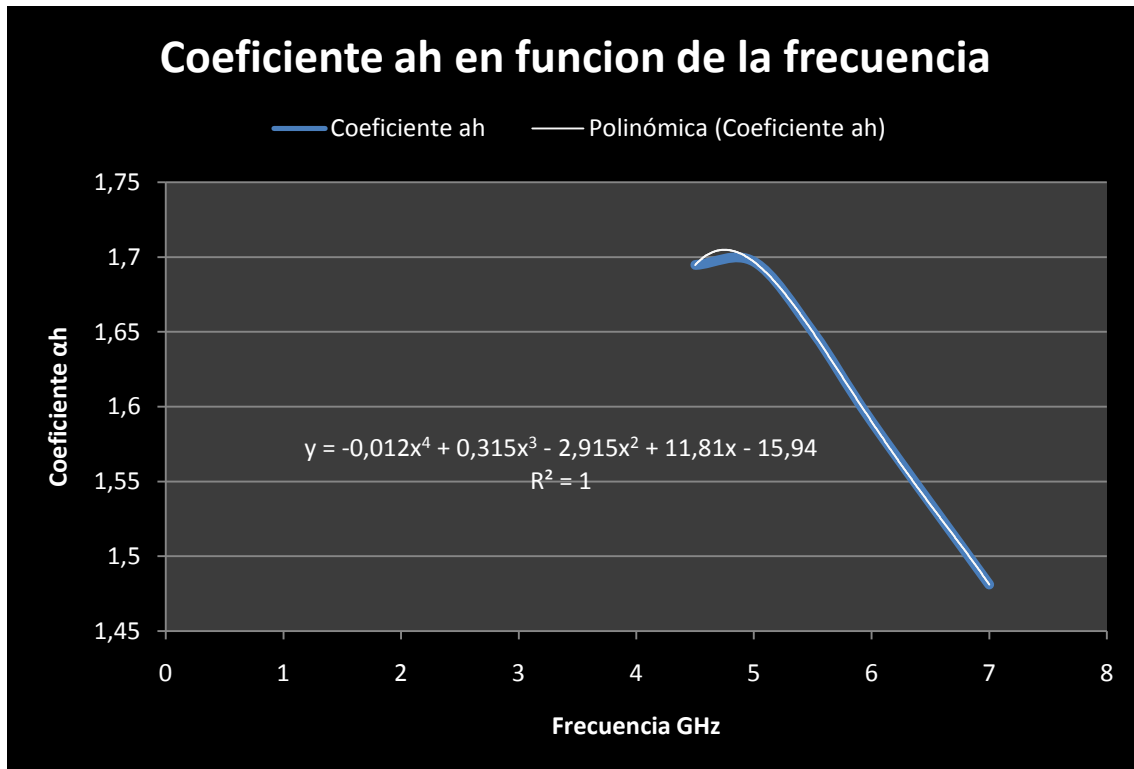




**Figura A.3.8** Polinomio de interpolación para el cálculo del coeficiente ah.

Realizado en: Microsoft Excel 2007.

Debido a que la ecuación de interpolación de la Figura A.3.2 no representa de manera confiable el comportamiento de los datos, se decidió realizar una nueva interpolación en este caso empleando un rango de frecuencias más cercanas a la que se desea estudiar, es por esto que se empleó el rango de frecuencias que va desde 4,5GHz hasta los 7GHz para la cual se obtuvo una ecuación que representa de manera más fehaciente el comportamiento de los datos tal y como se observa en la figura A.3.3.



**Figura A.3.9** Polinomio de interpolación para el cálculo del coeficiente ah para las frecuencias de 4.5GHz a 7GHz.

**Realizado en:** Microsoft Excel 2007.

La función de interpolación que se consiguió con los datos empleados y bajo el rango de frecuencias establecidos anteriormente es la siguiente:

$$\alpha_h(f) = -0,0127 \cdot f^4 + 0,3151 \cdot f^3 - 2,9156 \cdot f^2 + 11,816 \cdot f - 15,941$$

Donde:

$\alpha_h(f)$  = *valor de la constante de ah por interpolación*

$f$  = *Frecuencia de cálculo*

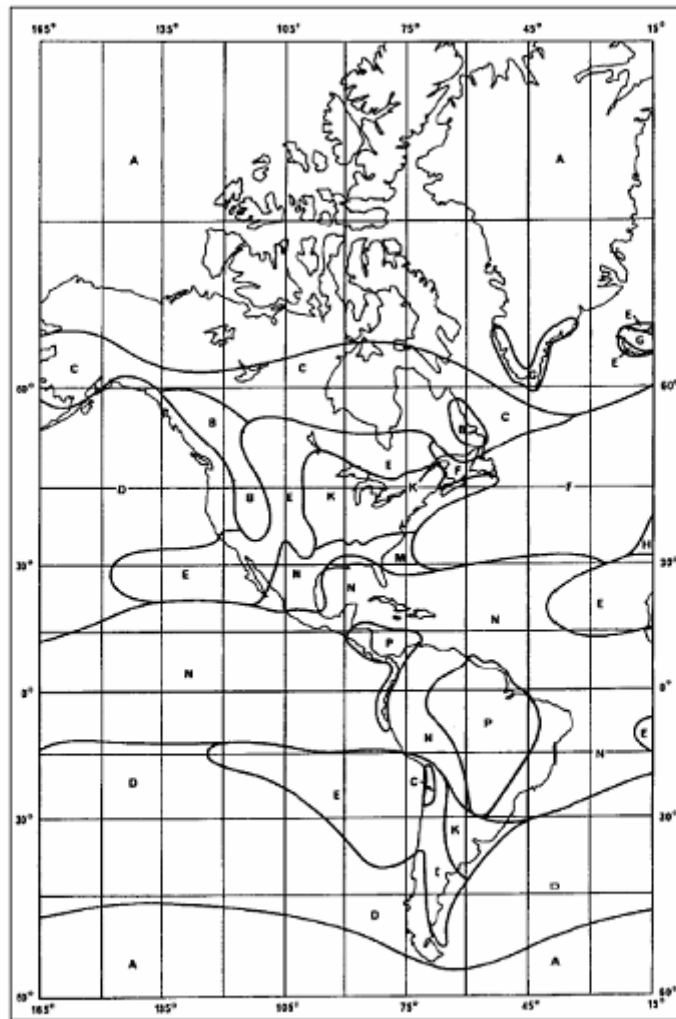
## Anexos.

### Anexo 1. Constantes de polarización horizontal y vertical presentes en la recomendación UIT-R P.838-3.

**Tabla 22.** Constantes de polarización horizontal y vertical obtenidas de la recomendación UIT-R P.838-3.

Frecuencia GHz	$K_H$	$\alpha_H$	$K_V$	$\alpha_V$
1	0,0000259	0,9691	0,0000308	0,8592
1,5	0,0000443	1,0185	0,0000574	0,8957
2	0,0000847	1,0664	0,0000998	0,949
2,5	0,0001321	1,1209	0,0001464	1,0085
3	0,000139	1,2322	0,0001942	1,0688
3,5	0,0001155	1,4189	0,0002346	1,1387
4	0,0001071	1,6009	0,0002461	1,2476
4,5	0,000134	1,6948	0,0002347	1,3987
5	0,0002162	1,6969	0,0002428	1,5317
5,5	0,0003909	1,6499	0,0003115	1,5882
6	0,0007056	1,59	0,0004878	1,5728
7	0,001915	1,481	0,001425	1,4745
8	0,004115	1,3905	0,00345	1,3797
9	0,007535	1,3155	0,006691	1,2895
10	0,01217	1,2571	0,01129	1,2156
15	0,04481	1,1233	0,05008	1,044
20	0,09164	1,0568	0,09611	0,9847
25	0,1571	0,9991	0,1533	0,9491
30	0,2403	0,9485	0,2291	0,9129
35	0,3374	0,9047	0,3224	0,8761

**Anexo 2. Mapa de la intensidad de lluvia (mm/h), presente en la recomendación UIT-R P.837-1.**



% de tiempo	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115

**Anexo 3. Anchos de banda disponibles en las agencias telefónicas y centrales eléctricas.**

	Sitio	Ancho de Banda
CENTRALES TELEFONICAS	Agencia Telefónica Bagaces	2 Mbps
	Agencia Telefónica Cañas	2 Mbps
	Agencia Telefónica Coyote	128 kbps
	Agencia Telefónica Filadelfia	2 Mbps
	Agencia Telefónica Guayabo	2 Mbps
	Agencia Telefónica Huacas	2 Mbps
	Agencia Telefónica Las Juntas Abangares	2 Mbps
	Agencia Telefónica Liberia	10 Mbps
	CAIC Liberia	10 Mbps
	Agencia Telefónica Nicoya	2 Mbps
	Agencia Telefónica Nosara	2 Mbps
	Agencia Telefónica Samara	2 Mbps
	Agencia Telefónica Santa Elena	2 Mbps
	Agencia Telefónica Santa Cruz	2 Mbps
	Agencia Telefónica Tilarán	2 Mbps
Microagencia Maxibodega Liberia	2 Mbps	
CENTRALES ELECTRICAS	Central de Liberia	10 Mbps
	Agencia Eléctrica Nuevo Arenal	56 Kbps
	Agencia Eléctrica San Francisco Coyote	56 kbps
	Agencia Eléctrica Santa Rita	320 Kbps
	Plantel Miravalles	100 Mbps
	Sandillal	100 Mbps
	Corobici	100 Mbps
	Cañas UENPROD	100 Mbps
	Plantel Arenal y ARCOSA	8 Mbps
	Tejona	2 Mbps
	Agencia Eléctrica. Liberia	100 Mbps
	Clor Liberia	100 Mbps
	Proyecto Pailas	10 Mbps
	Agencia Eléctrica. La Cruz	2 Mbps
	Agencia Eléctrica. Guayabo	8 Mbps
	Central de Samara	2 Mbps
	Central de Nosara	2 Mbps
	Agencia Eléctrica. Bagaces	2 Mbps
	Central de Nicoya	2 Mbps
	Agencia Eléctrica. Cañas	2 Mbps
	Agencia Eléctrica. Cobano	2 Mbps
	Agencia Eléctrica. Las Juntas Abangares	2 Mbps
	Nandayure	2 Mbps
OSIVAN	2 Mbps	
Agencia Eléctrica. Tilarán	2 Mbps	
Agencia Eléctrica. Nosara	2 Mbps	
Agencia Eléctrica. Samara	2 Mbps	

**Anexo 4. Ubicación geográfica y función desempeñada por cada uno de las radiobases analizadas.**

<i>Nombre del Sitio</i>	<i>Código</i>	<i>Función</i>	<i>Cantón</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>					
					<i>Latitud N</i>			<i>Longitud W</i>		
					°	'	“	°	'	“
Santa Rosa	20104-01	RadioBase	Liberia	Nacascolo	10	51	29,93	85	34	21,57
Potreros	50103-01	RadioBase	Liberia	Mayorga	10	48	52,8	85	33	3,5
Pijje	50401-03	Central Telefónica	Bagaces	Bagaces	10	32	43,13	85	21	15,37
Earth de Liberia	50101-05	RadioBase	Liberia	Liberia	10	38	10,29	85	31	30,1
Liberia 2, Agencia (Liberia Mall)	50101-04	RadioBase	Liberia	Liberia	10	38	9,03	85	26	49,07
Llano Grande, Aeropuerto Liberia	50101-01	Central Telefónica	Liberia	Liberia	10	35	40,2	85	32	23,1
Cañas Dulces	50102-02	RadioBase	Liberia	Cañas Dulces	10	45	9,69	85	26	7,5
Guardia	50104-01	Central Telefónica	Liberia	Nacascolo	10	33	53,53	85	35	31,27
Sardinal	50503-01	Central Telefónica	Carrillo	Sardinal	10	31	7,93	85	38	57,47
Belén Carrillo	50504-01	Central Telefónica	Carrillo	Belén	10	24	29,93	85	35	14,27
Tierras Morenas	50806-01	RadioBase	Tilarán	Tierras Morenas	10	34	30,73	85	1	4,07
Palmira	50602-01	RadioBase	Cañas	Palmira	10	32	48,43	85	5	33,77
Montenegro	50401-01	Central Telefónica	Bagaces	Bagaces	10	28	42,93	85	12	44,47
Miravalles (Proyecto Geotérmico)	50402-01	RadioBase	Bagaces	Fortuna	10	42	24,2	85	11	21,8
Rio Cañas	50301-01	RadioBase	Santa Cruz	Santa Cruz	10	20	1,1	85	34	51,9
Bernabella	50301-04	RadioBase	Santa Cruz	Santa Cruz	10	18	40,89	85	35	14,6
Diría	50307-01	RadioBase	Santa Cruz	Diría	10	13	38,03	85	31	39,07
Silencio	50803-01	RadioBase	Tilarán	Tronadora	10	28	38,8	84	55	11,6
Cerro San José	50601-02	RadioBase	Cañas	Cañas	10	21	53,9	84	57	20,8
San Miguel Cañas, (Gotera)	50603-01	RadioBase	Cañas	San Miguel	10	20	2,33	85	3	37,77
San Joaquín	50704-01	RadioBase	Abangares	Colorado	10	13	55,73	85	5	31,57
Las Juntas	50703-01	RadioBase	Abangares	San Juan	10	13	39,23	84	58	30,67
Obispo	50202-03	RadioBase	Nicoya	Mansión	10	7	19,69	85	23	16,76

<i>Nombre del Sitio</i>	<i>Código</i>	<i>Función</i>	<i>Cantón</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>					
					<i>Latitud N</i>			<i>Longitud W</i>		
					°	'	“	°	'	“
Hacienda Pinilla	50309-02	RadioBase	Santa Cruz	Tamarindo	10	15	45,29	85	50	9,49
Porosal, (Pueblo Nuevo Juntas)	50605-01	RadioBase	Cañas	Porosal	10	13	49,63	85	12	30,07
Níspero	50704-03	RadioBase	Abangares	Colorado	10	13	17,1	85	11	52,9
Colorado de Abangares	50704-02	Central Telefónica	Abangares	Colorado	10	11	23,03	85	6	48,27
Santa Rita	50904-01	Central Telefónica	Nandayure	San Pablo	10	2	3,73	85	14	56,17
Mansión	50202-02	Central Telefónica	Nicoya	Mansión	10	6	5,43	85	22	33,77
Cañas Dulces 2	50102-01	RadioBase	Liberia	Cañas Dulces	10	44	10,03	85	29	11,67
Liberia	50101-02	Central Telefónica	Liberia	Liberia	10	37	52,63	85	26	21,67
Filadelfia	50501-01	Central Telefónica	Carrillo	Filadelfia	10	26	51,33	85	33	14,77
Bagaces	50401-02	Central Telefónica	Bagaces	Bagaces	10	31	44,23	85	15	24,17
Guayabo Bagaces, Miravalles	50403-01	Central Telefónica	Bagaces	Mogote	10	42	29,23	85	13	40,57
Santa Cruz	50301-02	Central Telefónica	Santa Cruz	Santa Cruz	10	15	45,93	85	35	15,17
Tilarán	50801-01	Central Telefónica	Tilarán	Tilarán	10	28	22,63	84	58	15,47
Cañas	50601-01	Central Telefónica	Cañas	Cañas	10	25	35,53	85	5	34,27
Limal	50701-02	Central Telefónica	Abangares	Las Juntas	10	15	49,83	85	1	12,37
Nicoya	50201-01	Central Telefónica	Nicoya	Nicoya	10	8	45,13	85	27	18,17
Nosara	50206-02	Central Telefónica	Nicoya	Nosara	9	57	51,13	85	40	3,57
Sámara	50205-02	RadioBase	Nicoya	Samara	9	52	53,4	85	31	46,92
Punta Cacique	50503-02	Central Telefónica	Carrillo	Sardinal	10	34	7,93	85	41	21,87
Tamarindo	50309-01	Central Telefónica	Santa Cruz	Tamarindo	10	18	13,53	85	49	57,07
Cerro Santa Rita	50902-01	Central Telefónica	Nandayure	Santa Rita	10	1	9,5	85	17	38,5
Marbella	50306-01	RadioBase	Santa Cruz	Cuajiniquil	10	1	29,43	85	42	56,77
Sámara	51101-02	RadioBase	Hojancha	Hojancha	9	52	57,73	85	29	4,67



<i>Nombre del Sitio</i>	<i>Código</i>	<i>Función</i>	<i>Cantón</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>					
					<i>Latitud N</i>			<i>Longitud W</i>		
					°	'	“	°	'	“
Sámara (Puerto Carrillo)	50205-01	RadioBase	Nicoya	Sámara	9	52	8,19	85	30	15,5
Potal	50906-02	Central Telefónica	Nandayure	Bejuco	9	53	4,0	85	22	55,2
Playa Panamá de Carrillo, Papagayo	50503-03	RadioBase	Carrillo	Sardinal	10	35	5,63	85	40	30,37
Tempate	50304-01	RadioBase	Santa Cruz	Tempate	10	24	14,03	85	46	1,57

