



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

*“ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS TERRESTRES APLICADAS AL
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA DOCE CENTROS
DE SALUD EN EL CANTON COLTA”*

TESIS

Previa la obtención del título de:

INGENIERA EN ELECTRONICA Y COMPUTACIÓN

Presentado por:

Deysi Margoth Guanga Chunata

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

AGRADECIMIENTO

Hago extensivo un profundo agradecimiento todas aquellas personas e instituciones que de un modo u otro, han contribuido a la realización de esta tesis.

Especial mi gratitud hacia el Ing. Hugo Moreno, quien con su guía, y sabia valoración ha encaminado el presente trabajo como un instrumento tecnológico aplicado a la solución de necesidades urgentes para el sector Rural de nuestra provincia.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Romeo Rodríguez

DECANO

FACULTAD DE INFORMÁTICA

Y ELECTRÓNICA

Ing. Paúl Romero

DIRECTOR ESCUELA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ing. Hugo Moreno

DIRECTOR DE TRIBUNAL

Ing. Alberto Arellano

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Ing. Neiser Ortiz

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Ing. Carlos Rodriguez

DIRECTOR CENTRO

DOCUMENTACIÓN

NOTA

“Yo: **Deysi Margoth Guanga Chunata** soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**”

Deysi Guanga

ÍNDICE

Temas	#pag
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I	
RESEÑA DEL PROYECTO	11
1.1 ANTECEDENTES	11
1.2 JUSTIFICACION	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	14
2.1.1 POLARIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	15
2.1.1.1 Polarización Horizontal	15
2.1.1.2 Polarización Vertical	15
2.1.1.3 Polarización Circular	16
2.2. DENSIDAD DE POTENCIA E INTENSIDAD DE CAMPO	16
2.1.2 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA DEL ESPACIO LIBRE	17
2.3. PROPAGACION DE ONDAS TERRESTRES.....	20
2.4. PROPAGACIÓN DE ONDAS ESPACIALES	22
2.5. PROPIEDADES OPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO.....	23
2.5.1 Refracción.....	24
2.5.2 Reflexión.....	25
2.5.3 Difracción	25
2.5.4 Interferencia.....	26
2.6. ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN DE ONDAS.....	27
2.6.1 Atenuación por Lluvias, Niebla y Gases Atmosféricos	27
2.6.2 Atenuación por Vegetación.....	28
2.7 PERDIDAS EN LA TRAYECTORIA POR EL ESPACIO LIBRE.....	29
2.8 ZONA DE FRESNEL.....	31
2.9 POTENCIAS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN	33
2.9.1 POTENCIA IRRADIADA	33
2.9.2 POTENCIA RECIBIDA	35
2.9.3 MARGEN DE DESVANECIMIENTO	35
2.10 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE RADIO MOBILE.....	36
2.10.1. Limitaciones del Software	38
2.11 COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS.....	38
2.11.1 Espectro Electromagnético.....	38
2.11.2 Longitud de onda.....	40
2.11.3 Ancho de Banda y Capacidad de información	41
2.11.4 Modos de transmisión	41

CAPÍTULO III

3	ESTUDIO TECNICO	43
3.1	DESCRIPCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	43
3.2	ANÁLISIS TOPOGRÁFICO DEL SECTOR.....	44
3.3	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE ENLACE	46
3.4	DISEÑO ENLACE GATAZO ZAMBRANO – REPETIDOR R3.....	47
3.4.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	47
3.4.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	48
3.4.3.	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	52
3.5	DISEÑO ENLACE HOSPITAL GENERAL CAJABAMBA – REPETIDOR R3	55
3.5.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	55
3.5.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	56
3.5.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	58
3.6	DISEÑO ENLACE HOSPITAL GENERAL CAJABAMBA – OFICINA DEL PROYECTO	59
3.6.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	59
3.6.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	61
3.6.3.	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	63
3.7	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – CENTRO GUAHIJÓN	64
3.7.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	64
3.7.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	66
3.7.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	68
3.8	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – TROJE GRANDE	69
3.8.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	69
3.8.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	71
3.8.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	73
3.9	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – COLUMBE CENTRO	74
3.9.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	74
3.9.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	75
3.9.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	78
3.10	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – COLUMBE LOTE 1y 2.....	79
3.10.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	79
3.10.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	80
3.10.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	83
3.11	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – PULUCATE EMANUEL	84
3.11.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	84
3.11.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	86
3.11.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	88
3.12	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R5 – SAN GISEL BAJO	89
3.12.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	90
3.12.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	93
3.13	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R5 – SAN BERNARDO	94
3.13.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	94
3.13.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	95
3.13.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	98
3.14	DISEÑO ENLACE REPETIDOR R2 – RUMICORRAL.....	99
3.14.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE	99
3.14.2	Cálculos del ángulo de elevación y Azimut.....	101
3.14.3	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	103
3.15	DISEÑO ENLACES ENTRE REPETIDORES.....	105

3.15.1	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R1 Y R3	105
3.15.2	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R1 Y R4	105
3.15.3	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R5 Y R4	105
3.15.4	DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R5 Y R2	106
3.15.5	CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE	107
3.16	Relación potencia de recepción con la de Umbral	109
3.17	Margen de desvanecimiento neto	109
3.18	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS NECESARIOS.....	110
3.19	ENERGIZACIÓN DE LOS EQUIPOS	111
3.20	OBRA CIVIL	112

CAPÍTULO IV

ESTUDIO ECONÓMICO.....	114
4.1 INVERSIONES.....	114
4.1.1 Inversiones en activos fijos.....	114
4.1.2 Costos de adquisición de equipos	114
4.2 FINANCIAMIENTO	117
4.3 EVALUACIÓN SOCIAL.....	118

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° II.1 Conversión de Ganancia Numérica en dBi	34
Tabla N° II.2 Margen de desvanecimiento en función de la confiabilidad	36
Tabla N° II.3 Clasificación de bandas de frecuencia	40
Tabla N° III.1 Ubicación Geográfica de las estaciones.....	44
Tabla N° III.2 Datos Generales Enlace Repetidor R3 – Gatazo Zambrano	48
Tabla N° III.3 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 1	51
Tabla N° III.4 Datos Enlace Repetidor R3 – Hospital Cajabamba	56
Tabla N° III.5 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 2.....	58
Tabla N° III.6 Datos Generales Enlace Oficina del Proyecto – Hospital Cajabamba	60
Tabla N° III.7 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 3	63
Tabla N° III.8 Datos Enlace Repetidor R4 – Centro Guahijón	65
Tabla N° III.9 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 4	67
Tabla N° III.10 Datos Enlace Repetidor R4 – Troje Grande	70
Tabla N° III.11 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 5	72
Tabla N° III.12 Datos Enlace Repetidor R4 – Columbe Centro	75
Tabla N° III.14 Datos Enlace Repetidor R4 – Columbe Lote	80
Tabla N° III.15 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 7	82
Tabla N° III.16 Datos Enlace Repetidor R4 – Pulucate Emanuel.....	85
Tabla N° III.17 Datos cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 8	87
Tabla N° III.18 Datos Enlace Repetidor R5 – San Gisel Bajo.....	90
Tabla N° III.19 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 9	92
Tabla III.20 Datos Enlace Repetidor R4 – San Bernardo	95
Tabla N° III.21 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 10	97
Tabla N° III.22 Datos Enlace Repetidor R2 – Rumicorral.....	100
Tabla N° III.23 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 11	102
Tabla III.24 Datos Enlace Repetidores	107
Tabla N° III.25 Resumen Cálculo radioenlaces	109
Tabla N° IV.1 Costos de los Equipos de telecomunicaciones	115
Tabla N° IV.2 Costos Obra Civil	115
Tabla N° IV.3 Tarifa anual por asignación de frecuencia	116
Tabla N° IV.4 Inversión Total.....	117
Tabla N° IV.5 Financiamiento	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1 polarización horizontal.....	15
Figura II.2 Polarización vertical.....	16
Figura II.3 frente de onda esférico producido por una fuente isotrópica.....	19
Figura II.4 Modos normales de propagación de ondas.	20
Figura II.5 Propagación de ondas terrestres.....	21
Figura II.6 Propagación de ondas espaciales.	22
Figura II.7 Ondas espaciales y horizonte de radio.	23
Figura II.8 Refracción en una frontera plana entre dos medios.	24
Figura II.9 Reflexión.....	25
Figura II.10 Suma lineal de dos vectores con distintos ángulos de fase.....	27
Figura II.11 La zona de Fresnel libre con línea visual sin obstrucciones.	32
Figura II.12 Espectro electromagnético.....	39
Figura III.1 Mapa topográfico del cantón Colta.....	46
Figura III.2 Diseño del perfil Repetidor R3 - Gatazo Zambrano.....	47
Figura III.4 Visualización enlace R3 y Gatazo Zambrano.....	50
Figura III.5 Direccionamiento Azimut para R3 y Gatazo Zambrano.....	51
Figura III.6 Radiación Antenas del Enlace 1.....	53
Figura III.7 Diseño del perfil Repetidor R3 – Hospital General Cajabamba.....	55
Figura III.8 Angulo de elevación enlace R3- Hospital Cajabamba.....	56
Figura III.9 Visualización enlace R3 y Hospital de Cajabamba.....	57
Figura III.10 Direccionamiento Azimut para R3 y Hospital Cajabamba.....	58
Figura III.11 Diseño del perfil Hospital General de Cajabamba – Oficina del Proyecto	60
Figura III.12 Angulo de elevación enlace Hospital Cajabamba- oficina del Proyecto.....	61
Figura III.13 Visualización Hospital de Cajabamba-oficina del Proyecto.....	62
Figura III.14 Direccionamiento Azimut Oficina Proyecto- Hospital Cajabamba.....	63
Figura III.15 Diseño del perfil Repetidor R4 – Centro Guahijón.....	65
Figura III.16 Angulo de elevación enlace R4- Centro Guahijón.....	66
Figura III.17 Visualización R4- Centro Guahijón.....	67
Figura III.18 Direccionamiento Azimut R4- Centro Guahijón.....	68
Figura III.19 Diseño del perfil Repetidor R4 – Troje grande.....	70
Figura III.20 Angulo de elevación enlace R4- Troje Grande.....	71
Figura III.21 Visualización enlace R4 y la estación en Troje Grande.....	72
Figura III.22 Direccionamiento Azimut R4- Troje Grande.....	73
Figura III.23 Diseño del perfil Repetidor R4 – Columbe Centro.....	74
Figura III.24 Angulo de elevación enlace R4- Columbe Centro.....	76
Figura III.25 Visualización enlace R4 y la estación en Columbe Centro.....	77
Figura III.26 Direccionamiento Azimut R4- Columbe Centro.....	78
Figura III.27 Diseño del perfil Repetidor R4 – Columbe Lote.....	79
Figura III.28 Angulo de elevación enlace R4- Columbe Lote.....	81
Figura III.29 Visualización enlace R4 y la Columbe Lote 1 y 2.....	82

Figura III.30 Direccionamiento Azimut R4- Columbe Lote 1 y 2.....	83
Figura III.31 Diseño del perfil Repetidor R4 – Pulucate Emanuel.....	85
Figura III.32 Angulo de elevación enlace R4- Pulucate Emanuel.....	86
Figura III.33 Visualización enlace R4 y Pulucate Emanuel.....	87
Figura III.34 Direccionamiento Azimut R4- Pulucate Emanuel.....	88
Figura III.35 Diseño del perfil Repetidor R5 – San Gisel Bajo.....	89
Figura III.36 Angulo de elevación enlace R5- San Gisel Bajo.....	91
Figura III.37 Visualización enlace R5 y San Gisel Bajo.....	92
Figura III.38 Direccionamiento Azimut R5- San Gisel Bajo.....	93
Figura III.39 Diseño del perfil Repetidor R5 – San Bernardo.....	94
Figura III.40 Angulo de elevación enlace R5- San Bernardo.....	96
Figura III.41 Visualización enlace R5 y San Bernardo.....	97
Figura III.42 Direccionamiento Azimut R5- San Bernardo.....	98
Figura III.43 Diseño del perfil Repetidor R2 – Rumicorral.....	100
Figura III.44 Visualización enlace R2 y Rumicorral.....	102
Figura III.45 Direccionamiento Azimut R2- Rumicorral.....	103
Figura III.46 Diseño del perfil Repetidor R1 – R3.....	105
Figura III.47 Diseño del perfil Repetidor R1 – R4.....	105
Figura III.48 Diseño del perfil Repetidor R5 – R4.....	106
Figura III.49 Diseño del perfil Repetidor R5 – R2.....	106
Figura III.50 Energización de equipos.....	111
Figura III.51 Conexiones internas.....	112
Figura III.52 Montaje de mástil vista lateral.....	112
Figura III.54 Subsistema de telecomunicaciones estación repetidora.....	113

INTRODUCCIÓN

Las señales de radio viajan a través del espacio libre moviéndose esencialmente en línea recta. Las comunicaciones terrestres sin embargo, toman lugar a través de la atmósfera de la tierra que ocasiona que las señales casi nunca viajen en línea recta. Las señales de radio viajan más lento en un medio denso que en uno no tan denso. Por lo tanto las condiciones atmosféricas causan la refracción de las señales propiciando su curvatura con la distancia hacia la superficie de la tierra, provocando el desvanecimiento de la señal en la trayectoria debido a la atenuación en el espacio libre, las obstrucciones y las pérdidas por reflexiones.

El presente trabajo determina la factibilidad técnica y económica para desarrollar un sistema de telecomunicaciones con enlaces de radiofrecuencia utilizando la propagación de ondas terrestres como fundamento para el desarrollo de los enlaces de radiofrecuencia.

El sistema provee comunicación entre doce centros de Salud distribuidos en una superficie totalmente irregular y de difícil acceso en el Cantón Colta Provincia de Chimborazo, utilizando el software Radio Mobile para generar los esquemas de implementación acoplados a las características que ofrecen los equipos Motorola, conociendo los lugares y distancias a las que deben estar ubicadas las antenas y repetidoras. Permitiendo una comunicación satisfactoria.

CAPÍTULO I

RESEÑA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

Los sistemas de telecomunicaciones son diseñados para transmitir información convirtiéndose dentro de muchos aspectos en un elemento central del proceso evolutivo de la sociedad, logrando interconexión de zonas distantes. También es gratificante ver como se extiende cada vez más el despliegue de radioenlaces en los países en vías de desarrollo tal como es el caso de Ecuador principalmente en zonas rurales, poniendo al alcance de mucha gente sistemas de comunicación.

El cantón Colta perteneciente a la provincia de Chimborazo es el lugar donde se asientan pueblos indígenas y mestizos dedicados a la agricultura, ganadería, comercio y artesanía; es

el cantón con mayor población indígena en la provincia y el país. Colta está formado por dos parroquias urbanas Cajabamba y Sicalpa que forman la cabecera cantonal y sus cinco parroquias rurales distribuidas en $840km^2$ de superficie irregular.

El Ministerio de Salud Pública del Ecuador proporciona atención médica a los habitantes de este cantón a través de 11 centros de salud y un Hospital General ubicado en Cajabamba, todos estos centros de salud encuentran totalmente incomunicados. Al existir problemas de comunicación para la oportuna atención de emergencias médicas en las zonas rurales más lejanas, considerando que la comunicación telefónica sea fija o móvil es casi inexistente o de difícil acceso debido a que la mayoría de la población de estas zonas poseen escasos recursos económicos. La Cruz Roja con sede en el cantón Colta en calidad de institución benéfica busca dar solución a este problema con el financiamiento de la Dirección de Cooperación del Gobierno de Ballears en la búsqueda del diseño de un sistema de radio comunicación.

1.2 JUSTIFICACION

Debido a la inexistencia de un sistema que provea comunicación entre 11 Centros de Salud distribuidos en el cantón Colta, el Hospital General de Cajabamba se desarrolla el estudio y diseño de un sistema de telecomunicaciones con el cual se lograra una cobertura total del cantón y la obtención de los recursos a través de la Cruz Roja para su posterior implementación.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 GENERAL

- Realizar el análisis de propagación de ondas terrestres aplicadas al diseño de un sistema de telecomunicaciones para doce centros de salud en el cantón Colta.

1.3.2 ESPECIFICOS

- Realizar análisis de propagación de ondas para el sistema de telecomunicaciones.
- Determinar los puntos de enlace para el sistema
- Diseñar los radioenlaces.
- Determinar los costos del diseño

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

En general, una onda es una perturbación de alguna propiedad del medio, que se propaga a través del espacio transportando energía.

Una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio.

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas que poseen una componente eléctrica y una componente magnética y como tales, están expuestas a ciertos fenómenos los cuales son capaces de modificar el patrón de propagación de las ondas.

2.1.1 POLARIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Una onda electromagnética contiene un campo eléctrico y uno magnético, que forman 90° entre sí. La polarización de una onda electromagnética plana no es más que la orientación del vector del campo eléctrico con respecto a la superficie de la tierra. Si la polarización permanece constante se llama polarización lineal. La polarización horizontal y la polarización vertical son ejemplos de polarización lineal.

2.1.1.1 Polarización Horizontal

Si el campo eléctrico se propaga en dirección paralela a la superficie de la tierra, se dice que la onda está polarizada horizontalmente.

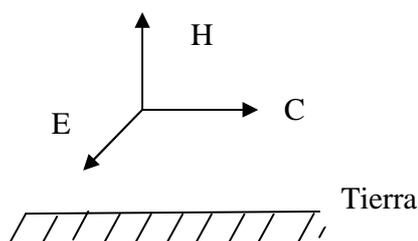


Figura II.1 polarización horizontal

2.1.1.2 Polarización Vertical

Si el campo eléctrico se propaga en dirección perpendicular a la superficie de la tierra, se dice que la onda está polarizada verticalmente.

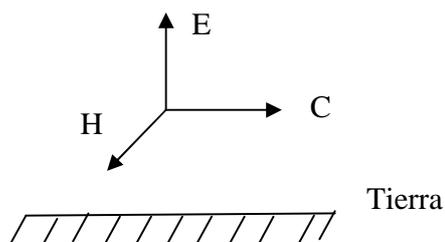


Figura II.2 Polarización vertical

2.1.1.3 Polarización Circular

Si el vector de polarización gira 360 grados a medida que la onda recorre una longitud de onda en el espacio y la intensidad es igual en todos los ángulos de polarización se dice que la onda tiene una polarización circular.

2.2. DENSIDAD DE POTENCIA E INTENSIDAD DE CAMPO

Las ondas electromagnéticas representan el flujo de energía en la dirección de propagación. La rapidez con que la energía pasa a través de la superficie dada en el espacio libre se llama densidad de potencia. Por consiguiente, la densidad de potencia es la energía por unidad de tiempo y por unidad de área, y se suele expresar en watts por metro cuadrado. La intensidad de campo es la intensidad de los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética que se propaga por el espacio libre. La intensidad de campo eléctrico se suele expresar en volts por metro (V/m), y la del campo magnético en Amperes por metro (A/m). La densidad de potencia es:

$$P = EH$$

Ecuación 2-1

Siendo:

$P =$ densidad de potencia (Watts por metro cuadrado)

$E =$ Intensidad rms de campo eléctrico (volts por metro)

$H =$ Intensidad rms de campo magnético (Amperes por metro)

2.1.2 IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA DEL ESPACIO LIBRE

Las intensidades del campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética en el espacio libre se relacionan a través de la impedancia característica (resistencia) del espacio vacío. La impedancia característica de un medio de transmisión sin pérdidas está dada por la ecuación:

$$Z_s = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$$

Ecuación 2-2

En la que:

$Z_s =$ Impedancia característica del espacio libre (ohms)

$\mu_0 =$ Permeabilidad magnética del espacio libre, 1.26×10^{-6} H/m

$\epsilon_0 =$ Permitividad eléctrica del espacio libre, 8.85×10^{-12} F/m

Al sustituir los valores en la ecuación 2-2, se obtiene

$$Z_s = \sqrt{1.26 \times 10^{-6} / 8.85 \times 10^{-12}} = 377 \Omega$$

Por consiguiente aplicando la ley de Ohm se obtienen

$$P = E^2 / 377 = 377 H^2 \quad \mathbf{W/m^2}$$

Ecuación 2-3

$$H = E/377 \quad A/m^2$$

Ecuación 2-4

2.2.2 FRENTE DE ONDA

Las ondas electromagnéticas no son visibles al ojo humano y se debe de analizar con métodos indirectos mediante esquemas. Los conceptos de rayos y frentes de onda son auxiliares para ilustrar los efectos de propagación de las ondas electromagnéticas a través del espacio libre. Un rayo se considera como una línea trazada a lo largo de la dirección de propagación de una onda electromagnética. Estos rayos son utilizados para mostrar la dirección relativa de la propagación de la onda electromagnética pero esto no indica que se refiere a la propagación de una sola onda electromagnética.

Un frente de onda representa una superficie de ondas electromagnéticas de fase constante. El frente de onda es formado cuando se unen los puntos de igual fase en rayos que se propagan desde la misma fuente.

FRENTE DE ONDA ESFÉRICO

Para generar un frente de onda esférico, se necesita un radiador isotrópico que irradie en todas direcciones, en la realidad no existen radiadores isotrópicos pero se puede aproximar al radiador de una antena omnidireccional, el cual es capaz de producir un frente de onda esférico con radio R. Todos los puntos que se encuentran a una distancia R, se encuentran en la superficie de la esfera y cuentan con la misma densidad de potencia. En cualquier otro momento, la potencia irradiada, se encuentra uniformemente distribuida sobre la superficie total de la esfera, donde se considera que el medio de transmisión no tiene pérdidas.

La potencia irradiada por la fuente puntual se encuentra distribuida en la superficie total de la esfera donde la potencia total irradiada es.

$$P = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Donde:

P_{rad} = potencia total irradiada (watts)

R = radio de la esfera

$4\pi R^2$ = área de la esfera

Igualando las ecuaciones 2-3 y 2-5 se obtiene:

$$\frac{P_{rad}}{4\pi R^2} = E^2/377$$

Por consiguiente:

$$E = \frac{\sqrt{30P_{rad}}}{R}$$

Ecuación 2-6

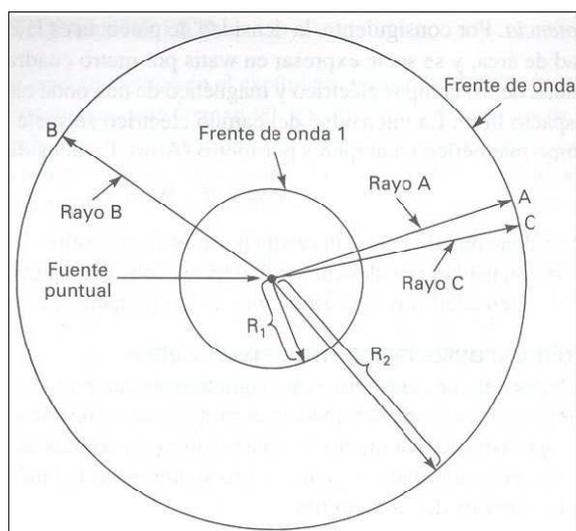


Figura II.3 frente de onda esférico producido por una fuente isotrópica

2.3. PROPAGACION DE ONDAS TERRESTRES

Las ondas terrestres son todas las ondas electromagnéticas que viajan dentro de la atmósfera terrestre, así también, las comunicaciones entre dos o más puntos de la Tierra son llamadas radiocomunicaciones. Las ondas terrestres se ven influidas por la atmósfera y por la Tierra misma.

Las radiocomunicaciones terrestres se pueden propagar de distintas formas y estas formas dependen de la clase de sistema y del ambiente, las ondas terrestres tienden a viajar en línea recta, pero tanto la Tierra como la atmósfera pueden alterar su trayectoria. Existen tres formas de propagación de ondas electromagnéticas dentro de la atmósfera que corresponden a las ondas terrestres, ondas espaciales y ondas celestes o ionosféricas. Mostradas en la figura II.4 Cuando las ondas viajan directamente del transmisor al receptor se le llama transmisión de línea de vista (*LOS-Line of Sight*).

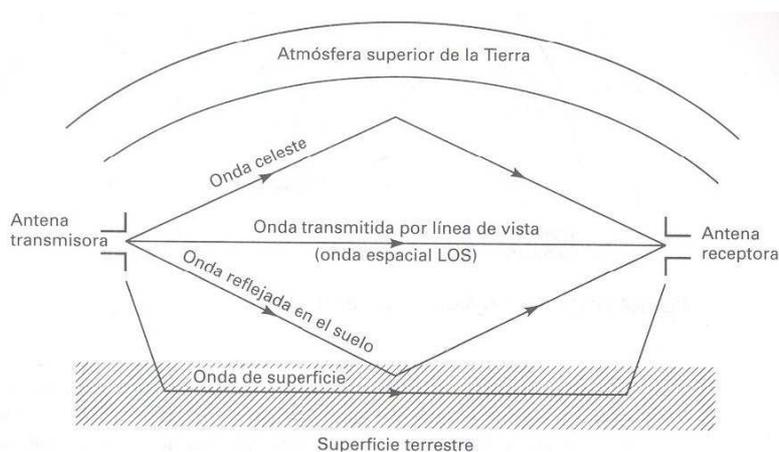


Figura II.4 Modos normales de propagación de ondas.

Las ondas terrestres son las ondas que viajan por la superficie de la tierra, éstas deben de estar polarizadas verticalmente debido a que el campo eléctrico en una onda polarizada

horizontalmente sería paralelo a la superficie de la tierra y se pondría en corto por la conductividad del suelo.

En las ondas terrestres el campo eléctrico variable induce voltajes en la superficie terrestre que hacen circular corrientes muy parecidas a las de una línea de transmisión.

La superficie terrestre también tiene pérdidas por resistencia y por dieléctrico. Por consiguiente, las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan haciéndolo mejor sobre una superficie buena conductora como el agua salada y son mal propagadas en superficies como desiertos. La atmósfera terrestre tiene un gradiente de densidad, es decir, la densidad disminuye en forma gradual conforme aumenta la distancia a la superficie terrestre, esto hace que el frente de onda se incline en forma progresiva hacia adelante. Así, la onda terrestre se propaga en torno a la Tierra y queda cerca de su superficie pudiéndose propagar más allá del horizonte o incluso por toda la circunferencia de la Tierra como se muestra en la figura II.5

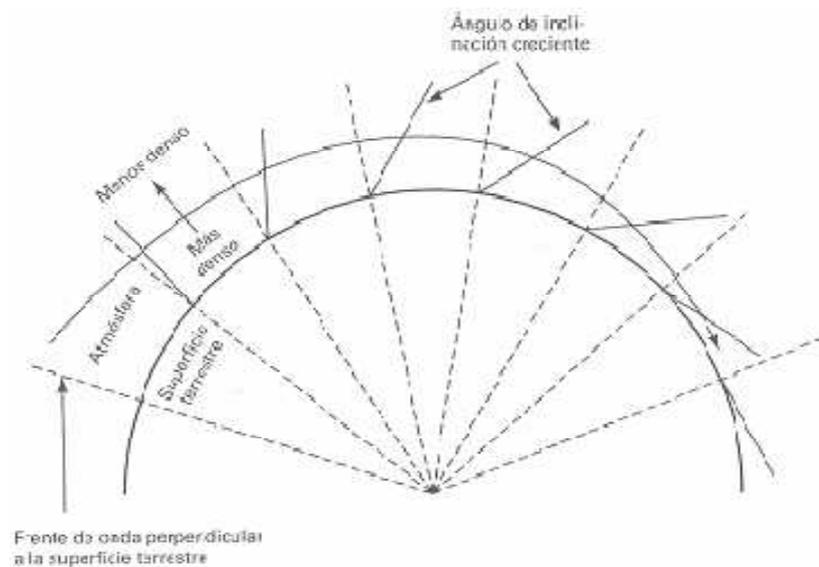


Figura II.5 Propagación de ondas terrestres.

Este tipo de propagación es posible gracias a la difracción. Las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra por la cual la señal de RF es capaz de alcanzar grandes distancias antes de que la señal sea absorbida por la tierra. Gracias al efecto de la difracción la señal puede sortear edificios y montañas.

2.4. PROPAGACIÓN DE ONDAS ESPACIALES

Esta clase de propagación corresponde a la energía irradiada que viaja en los kilómetros inferiores de la atmósfera terrestre. Las ondas espaciales son todas las ondas directas y reflejadas en el suelo como se muestra en la figura II.6



Figura II.6 Propagación de ondas espaciales.

Las ondas directas viajan esencialmente en línea recta de la antena transmisora a la receptora. Esta transmisión se le llama transmisión de línea de vista. Esta transmisión se encuentra limitada principalmente por la curvatura de la tierra. La curvatura de la Tierra

presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales, que se suele llamar el horizonte de radio. Éste horizonte se encuentra más lejano que el horizonte óptico para la atmósfera estándar común.

Aproximadamente, el horizonte de radio se encuentra a cuatro tercios del horizonte óptico mostrado en la figura II.7

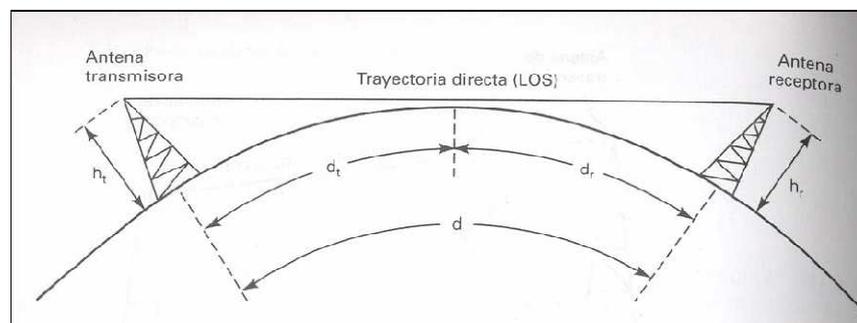


Figura II.7 Ondas espaciales y horizonte de radio.

2.5. PROPIEDADES OPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

En la atmósfera terrestre, la propagación de frentes de onda y rayos puede diferir del comportamiento en el espacio libre debido a efectos ópticos. Estos efectos ópticos son principalmente clasificados en refracción, reflexión, difracción e interferencia llamándose ópticos debido a que fueron primeramente observados en la ciencia óptica que se encarga. Debido a que las ondas luminosas son ondas electromagnéticas de alta frecuencia también se pueden aplicar los mismos conceptos a las ondas de radio. Por esto se pueden sustituir las ecuaciones de Maxwell por el trazo geométrico de rayos haciendo los cálculos mucho más sencillos.

2.5.1 Refracción.

La refracción se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por lo tanto, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro con distinta densidad como se muestra en la figura II.8

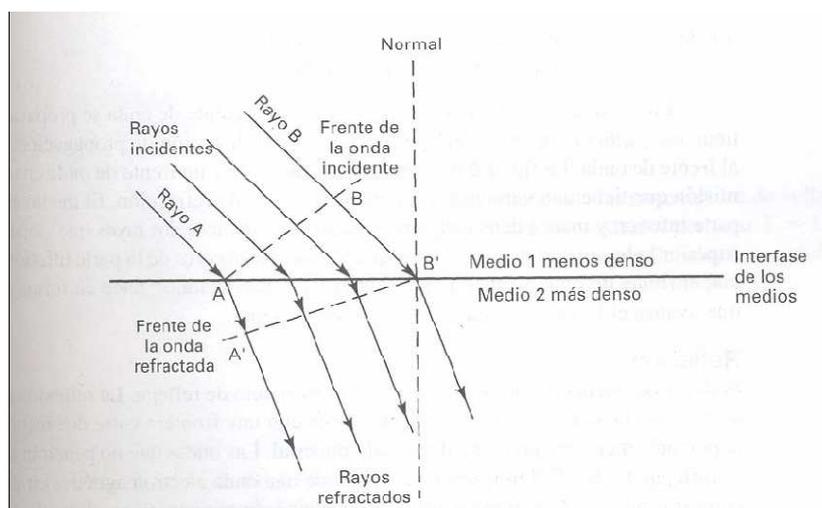


Figura II.8 Refracción en una frontera plana entre dos medios.

En la figura II.8 se muestra cómo el rayo A se propaga del medio 1 al medio 2 siendo el medio 1 menos denso que el 2. El rayo A proveniente del medio 1 con menos densidad experimenta un cambio de dirección al propagarse dentro del medio 2. El ángulo de incidencia es llamado al ángulo que forma la onda incidente y la normal y el ángulo de refracción es el formado por la onda propagada en el medio y la normal, así, el índice de refracción no es más que la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío y la velocidad de propagación de la luz en determinado material.

2.5.2 Reflexión

La reflexión refiere al choque de la onda electromagnética con la frontera entre dos medios y parte o toda la potencia de la onda no se propaga en el medio si no que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio como se muestra en la figura 2.9 en donde el frente de onda incidente choca con el medio 2 con un ángulo de incidencia θ_i . Este frente de onda es reflejado en su totalidad con un cambio de dirección llamado θ_r .

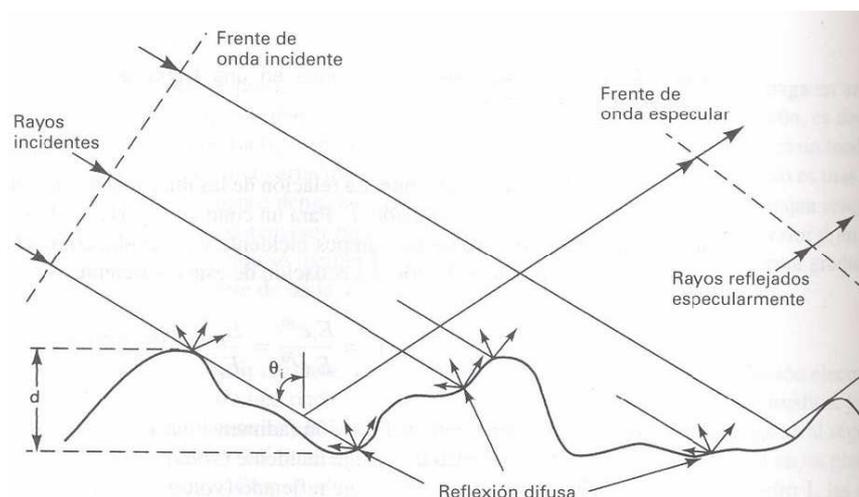


Figura II.9 Reflexión.

2.5.3 Difracción

La difracción refiere a la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a las esquinas. Cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo o discontinuidad cuyas dimensiones sean del tamaño comparable a una longitud de onda, no se puede usar el análisis geométrico como en los casos anteriores. En estos casos se debe de usar el principio de Huygens.

En los casos en el que el frente de onda es considerado plano y finito, es incompleta la anulación en direcciones aleatorias. En consecuencia, el frente de onda se reparte hacia fuera, o se dispersa a lo que en este caso se le llama difracción. Este fenómeno es comúnmente observado cuando se abre la puerta de un cuarto oscuro. Los rayos de luz se difractan en torno a la orilla de la puerta, e iluminan lo que hay detrás de ella.

2.5.4 Interferencia

La interferencia es producida siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. La interferencia está sujeta al principio de superposición lineal de las ondas electromagnéticas y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del espacio en forma simultánea. El principio de la superposición lineal establece que la intensidad total de voltaje en un punto dado en el espacio es la suma de los vectores de onda individuales.

En la figura II.10 se muestra la suma lineal de dos vectores de voltaje instantáneo, cuyos ángulos de fase difieren en el ángulo θ . Se aprecia que el voltaje total no es tan solo la suma de las dos magnitudes vectoriales, sino mas bien la suma fasorial.

En la propagación por el espacio libre, puede existir una diferencia de fases solo porque difieran las polarizaciones electromagnéticas de las dos ondas. Según los ángulos de fase de los dos vectores, puede suceder una suma o resta. Esto implica simplemente que el resultado puede ser mayor o menor que cualquiera de los dos vectores, así que las ondas electromagnéticas pueden ser anuladas o reforzadas.

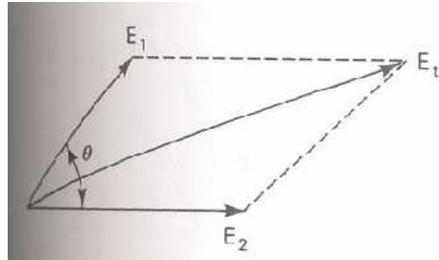


Figura II.10 Suma lineal de dos vectores con distintos ángulos de fase.

2.6. ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN DE ONDAS

La reducción de la densidad de potencia, con la distancia, equivale a una pérdida de potencia y se suele llamar atenuación de una onda.

2.6.1 Atenuación por lluvias, Niebla y Gases Atmosféricos

Cuando las ondas de radio que se propagan a través de una región de lluvia se atenúan como consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua. Adicionalmente, también se producen pérdidas sobre la onda transmitida debido a la dispersión por parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia. No obstante, la atenuación por dispersión es generalmente reducida en comparación con las pérdidas por absorción.

El estudio de los fenómenos de absorción y dispersión producidos por la lluvia se basa en el cálculo de las secciones cruzadas de absorción y dispersión de una gota de lluvia. Este cálculo es sencillo en el caso de una gota esférica de agua de radio no superior a la décima parte de la longitud de onda del campo eléctrico transmitido.

$$A_{lluvia} = aR^b \quad [dB/Km]$$

Donde:

A_{lluvia} Es la atenuación por lluvias [dB/Km]

R es la tasa de lluvia en la región [mm/h]

$$a = \begin{cases} 4.21 \times 10^{-5} f^{2.42} & 2.9 \text{GHz} \leq f \leq 54 \text{GHz} \\ 4.09 \times 10^{-2} f^{0.699} & 54 \text{GHz} \leq f \leq 180 \text{GHz} \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 1.41 f^{-0.0779} & 8.5 \text{GHz} \leq f \leq 25 \text{GHz} \\ 2.63 f^{-0.272} & 25 \text{GHz} \leq f \leq 164 \text{GHz} \end{cases}$$

Para enlaces terrestres con distancias menores a 6km, la atenuación debido a la distancia entre antenas es menor de lo que muestra esta cifra cuando la lluvia afecta solo a una parte de la trayectoria del enlace.

Por lo tanto es necesario aplicar un factor de reducción para la distancia efectiva del enlace, el cual está dado como:

$$r = \frac{90}{90 + 4d}$$

Ecuación 2-7

Donde:

r es el factor de reducción

d es la distancia real entre las antenas Tx y Rx [km]

por lo tanto la ecuación más exacta para el cálculo de la atenuación por lluvia es:

$$A_{lluvia} = (a)(R^b) (d)(r) \quad [dB]$$

Ecuación 2-8

2.6.2 Atenuación por Vegetación

Un factor importante de degradación en sistemas que operan a frecuencias milimétricas, lo constituye la vegetación existente en las inmediaciones de los radioenlaces.

Estos sistemas se caracterizan por visión directa entre las antenas, pero en ciertas ocasiones puede verse accidentalmente obstruido por árboles o incluso por techos de edificios en entornos urbanos, en esta situación, el campo electromagnético presente en la antena receptora puede modelarse como la suma de la onda proveniente directamente del transmisor, y multitud de pequeñas ondas dispersadas por los edificios adyacentes y por las hojas de los árboles cercanos.

El modelo expresado en la siguiente ecuación se aplica para el rango de frecuencias de 200MHz a 95 GHz.

$$A_{veg} = 0.2f^{0.3}d_p^{0.6} \quad [dB]$$

Ecuación 2-9

Donde

A_{veg} = atenuación por vegetación [dB]

f = frecuencia de propagación [GHz]

d_p = altura de la vegetación [m]

Estas pérdidas pueden ser despreciadas cuando la altura de la torre o el mástil donde se ubicará la antena es considerable en comparación con la altura de los obstáculos existentes en los alrededores, o también al utilizar equipos con características NLOS, es decir que funcionan sin línea de vista.

2.7 PERDIDAS EN LA TRAYECTORIA POR EL ESPACIO LIBRE

La pérdida en la trayectoria por el espacio libre se suele definir como la pérdida sufrida por

una onda electromagnética al propagarse en línea recta por un vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos. La pérdida en la trayectoria por el espacio libre es una cantidad técnica artificial que se originó debido a la manipulación de las ecuaciones de presupuesto de un enlace de comunicaciones, que debe tener determinado formato en el que se incluye la ganancia de la antena transmisora, la pérdida por trayectoria en el espacio libre y el área efectiva de la antena receptora. En realidad no se pierde energía alguna sino se reparte al propagarse alejándose de la fuente y se produce una menor densidad de potencia en determinado punto a una determinada distancia de la fuente. La ecuación para calcular esta pérdida, cuando la frecuencia se expresa en GHz y la distancia en Km es:

$$L_p[dB] = 92.4 + 20 \log f + 20 \log D$$

Ecuación 2-10

Donde:

$L_p[dB]$ = pérdida en la trayectoria por el espacio libre

D = distancia [Km]

f = frecuencia [Hz]

La atenuación total de todo el sistema, es la suma total de las atenuaciones producidas por: el espacio libre, por líneas de transmisión, por lluvia y vegetación.

La ecuación para calcular la atenuación total del sistema es:

$$AT = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$$

Ecuación 2-11

2.8 ZONA DE FRESNEL

El análisis de la zona de Fresnel se basa en el principio de Huygens, por cada punto de un frente de onda comienzan nuevas ondas circulares. Las ondas de una frecuencia pueden interferir unas con otras. La teoría de zona de Fresnel simplemente examina a la línea desde A hasta B y luego el espacio alrededor de esa línea que contribuye a lo que está llegando al punto B. Algunas ondas viajan directamente desde A hasta B, mientras que otras lo hacen en trayectorias indirectas. Consecuentemente, su camino es más largo, introduciendo un desplazamiento de fase entre los rayos directos e indirectos.

Siempre que el desplazamiento de fase es de una longitud de onda completa, se obtiene una interferencia constructiva: las señales se suman óptimamente.

Tomando este enfoque, y haciendo los cálculos, se determinan zonas anulares alrededor de la línea directa de A a B que contribuyen a la señal a llegar al punto B.

Teniendo en cuenta que existen muchas zonas de Fresnel, siendo la más interesante la zona 1. Si esta fuera bloqueada por un obstáculo, como un árbol o un edificio, la señal que llegue al destino lejano será atenuada.

Entonces, al momento de plantear enlaces inalámbricos, debe asegurarse que esta zona va a estar libre de obstáculos. En la práctica, para redes inalámbricas es suficiente al menos el 60% de la primera zona de Fresnel libre.

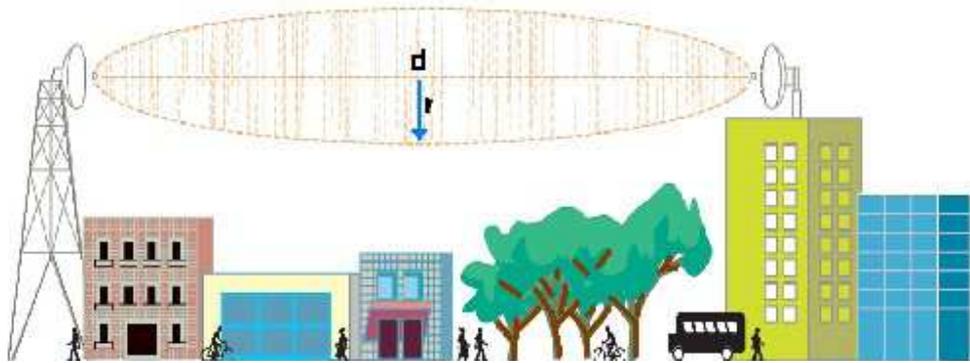


Figura II.11 La zona de Fresnel libre con línea visual sin obstrucciones.

Conociendo la ubicación exacta y las coordenadas geográficas de cada punto del radio enlace se calcula la distancia de separación D_{AB} [Km] entre las antenas, empleando los datos de: latitud promedio $latp$, diferencia de longitudes $\Delta long$ y diferencia de latitudes Δlat con la siguiente formula:

$$d = \sqrt{p^2 + \Delta lat^2}$$

Donde:

$$p = \Delta long \cos lm$$

$$\Delta long = long A - long B$$

$$lm = \frac{latitud\ de\ A + latitud\ de\ B}{2}$$

$$\Delta lat = Lat A - Lat B$$

Utilizando el software Radio Mobile y sustituyendo las coordenadas geográficas en sus respectivas ecuaciones obtenemos las distancias entre las estaciones.

Después de determinar la distancia de separación entre antenas y de tener la frecuencia de operación es necesario estimar cual será el nivel de atenuación que sufrirá la señal debido a

obstrucciones de la línea de vista dentro de la trayectoria de propagación es decir se requiere estimar cual será el libramiento de la señal sobre los obstáculos que encontrará en el camino para alcanzar el extremo del punto receptor. Por ello se obtiene el libramiento del obstáculo más elevado denominado primera zona de Fresnel.

Para el cálculo de la primera Zona de Fresnel se utiliza la siguiente expresión:

$$f = 17.325 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{FD}}$$

Donde

F = frecuencia de operación del radioenlace.

d_1 = distancia de separación de extremo del radioenlace al obstáculo más elevado.

d_2 = distancia de separación de otro extremo del radioenlace al obstáculo más elevado.

D = distancia de separación entre ambos extremos del radioenlace.

Para estimar el libramiento de la primera zona de Fresnel se utilizó el software Radio Mobile diseñado para este propósito el cual considera que la altura del obstáculo mas alto, la distancia del obstáculo mas alto medida desde el transmisor, la distancia entre los puntos del enlace es de y la frecuencia de operación.

2.9 POTENCIAS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN

2.9.1 POTENCIA IRRADIADA

La ganancia de la antena se proporciona habitualmente en dB isotrópicos (dBi), es decir, la ganancia de potencia con respecto a un modelo teórico de antena isotrópica que irradia la misma energía en todas las direcciones del espacio. En algunos casos, la ganancia se

expresa en dBd con respecto a una antena tipo dipolo.

En este caso, se tiene la siguiente fórmula de conversión:

$$G(dBi) = G(dBd) + 2.14$$

Ecuación 2-12

La ganancia G_t se expresa en forma de ganancia numérica, por tanto si ella viene dada en términos logarítmicos es decir en dB, debe realizarse la conversión para ser empleada la ecuación anterior.

Una tabla para convertir la ganancia en dBi a ganancia adimensional se muestra a continuación:

Tabla N° II.1
Conversión de Ganancia Numérica en dBi

Ganancia (dBi)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ganancia Numérica	1.3	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	7.9	10
Ganancia (dBi)	11		12	13	14	15	16	18	20	
Ganancia Numérica	13		16	20	25	32	40	63	100	

La potencia irradiada por la antena de la estación transmisora (Tx), como indica la ecuación 2-13 no es más que la potencia de salida de radio transmisor, multiplicada por la ganancia de la antena transmisora.

$$P_{rad} = P_t * G_t$$

Ecuación 2-13

Sustituyendo la ecuación 2.13 en la ecuación 2.6, la intensidad de campo eléctrico en valores rms sería:

$$E = \frac{\sqrt{30P_t * G_t}}{R} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

Ecuación 2-14

Donde:

E = Intensidad de campo eléctrico en valore RMS

P_t= Potencia transmitida [W]

G_t= Ganancia máxima de la antena transmisora (numérica)

R= Distancia del centro de radiación de la antena al punto de interés

2.9.2 POTENCIA RECIBIDA

La potencia del receptor es el valor de dBm que se obtenga en el otro extremo del enlace, es decir la diferencia entre la potencia de transmisión y la atenuación total.

La potencia de recepción no debe sobrepasar el valor de la potencia del umbral especificada por el fabricante para que el equipo capte la señal recibida (ecuación 2-15).

$$P_{Rx}[dBm] = P_t[dBm] - A_T[dB]$$

Ecuación 2-15

$$P_{Rx} \geq P_{UMB}$$

Ecuación 2-16**2.9.3 MARGEN DE DESVANECIMIENTO**

El margen de desvanecimiento es un parámetro de diseño que se elige en función de la confiabilidad que se quiere lograr en el enlace, se denomina margen de desvanecimiento nominal, cuyos parámetros están especificados y normalizados por el UIT-R.

La tabla N° II.2 muestra los valores típicos del margen de desvanecimiento en función del

margen de desvanecimiento en función del porcentaje de confiabilidad del sistema.

Tabla N° II.2
Margen de desvanecimiento en función de la confiabilidad

Porcentaje de Confiabilidad (%)	Margen de desvanecimiento (dB)
90	10
99	20
99.9	30
99.99	40

El margen de desvanecimiento real del enlace (ecuación 2.16), es la reserva de potencia que dispone el receptor para contrarrestar los efectos de desvanecimientos atmosféricos cualquiera que sea su origen, es decir es la diferencia en dB entre el nivel de potencia recibida P_{Rx} y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER (denominada potencia umbral del receptor P_{UMB})

$$FM_{neto}[dB] = P_{Rx} - P_{UMB} \quad \text{Ecuación 2-17}$$

2.10 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE RADIO MOBILE

RadioMobile es un software de libre distribución para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas (espacio libre como del sistema), etc.) que quieren simularse.

"Radio Mobile" es un excelente programa que utiliza datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transceptores, sirven para

alimentar un modelo de propagación de las ondas de radio que permite determinar el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones que trabaje en una frecuencia comprendida entre los 20 y los 20.000 MHz.

RadioMobile utiliza para la evaluación de los enlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Hay tres tipos de mapas disponibles: los SRTM, los GTOPO30 y los DTED.

Permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

En la página de RadioMobile, <http://www.cplus.org/rmw/>, existe un enlace directo a la página de descargas de Internet, donde se puede bajar un paquete de archivos para instalar el software y sus facilidades.

El *software* Radio Mobile tiene las siguientes características:

- Distribución libre para usos no comerciales relacionados con la radio afición y la asistencia humanitaria.
- Funciona bajo los sistemas operativos Windows 95, 98, Me, 2000, NT, XP y Vista
- Generación gráfica de modelos de terreno a partir de datos de DEM.
- Utilización del algoritmo Longle-Rice para cálculos de propagación con frecuencias de trabajo comprendidas entre 20 MHz y 40 GHz.
- Generación de vistas 3D, estereoscópicas y animaciones.
- Fusionado de imágenes, posibilitando la visualización de distintas capas con datos geográficos sobre el terreno.

2.10.1. Limitaciones del Software

- El software al utilizar el modelo de Longley-Rice no incluye la ionosfera. Por lo tanto no funciona para enlaces entre estaciones terrenas y satelitales (Opera entre 20 KHz a 200 GHz).
- Al hallar el área de cobertura para un enlace se le debe suministrar el radio máximo de alcance de la antena transmisora, para esto se aplica la ecuación de alcance máximo
- Algunas veces se generan problemas de alturas en los mapas por lo tanto éstas deben ser verificadas con estudios de campo.

2.11 COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS

El objetivo fundamental de un sistema de comunicaciones es transferir información de un lugar a otro. Por consiguiente se puede decir que las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información en dos o más lugares mediante circuitos electrónicos. La fuente original de información puede estar en forma analógica (continua) como ejemplo la voz humana o la música, o en forma digital (discreta) como por ejemplo los números codificados binariamente. Sin embargo, todas las formas de información se deben convertir en energía electromagnética antes de ser propagadas por un sistema de electrónico de comunicaciones.

2.11.1 Espectro Electromagnético

El objetivo de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información entre dos

o más lugares, cuyo nombre común es estaciones. Esto se logra convirtiendo la información original en energía electromagnética, para transmitirla a continuación a una o más estaciones receptoras, donde se reconvierten a su forma original.

La energía electromagnética se distribuye en un intervalo casi infinito de frecuencias.

La frecuencia es la cantidad de veces que sucede un movimiento periódico de una onda electromagnética durante determinado período.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio figura II.12

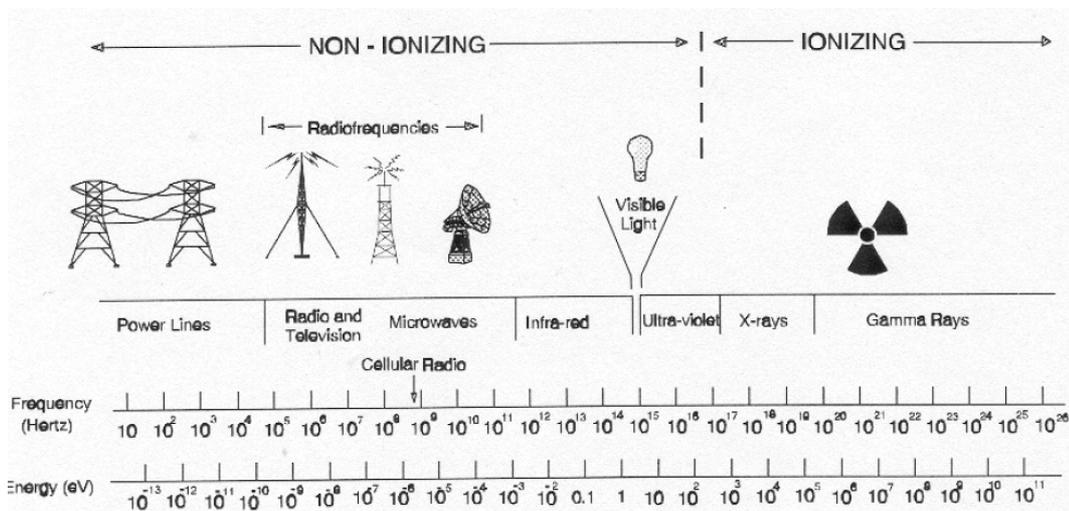


Figura II.12 Espectro electromagnético

El espectro total útil de radio frecuencias (RF) se divide en bandas de frecuencias más angostas a las que se les dan nombres y números descriptivos. Estas frecuencias se resumen en la tabla II.3

Tabla N° II.3
Clasificación de bandas de frecuencia

	BANDA	DENOMINACION	FREC. MINIMA	FREC. MAXIMA	λ MINIMA	λ MAXIMA
Bandas Marinas y Aeronauticas	ELF	Extremely Low Frequency	-	3 kHz	-	100 km
	VLF	Very Low Frequency	3 kHz	30kHz	100 km	10 km
	LF	Low Frequency	30 kHz	300 kHz	10 km	1 km
Radio Onda Media	MF	Medium Frequency	300 kHz	3 MHz	1 km	100 m
Radio Onda Corta	HF	High Frequency	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m
TV y FM	VHF	Very High Frequency	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
Microondas	UHF	Ultra High Frequency	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm
	SHF	Super High Frequency	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm
	EHF	Extremely High Frequency	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm

2.11.2 Longitud de onda

Cuando se manejan ondas de radio se acostumbra usar unidades de longitud de onda y no de frecuencia. La longitud de onda es la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y directamente proporcional a su velocidad de propagación, cuya relación se expresa matemáticamente en la ecuación 2-18

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Siendo:

f Frecuencia de la señal

c Velocidad de la luz 300.000 Km/Seg

λ Longitud de onda de la señal

2.11.3 Ancho de Banda y Capacidad de información

Las dos limitaciones más importantes en el funcionamiento de un sistema de comunicaciones son el ruido y el ancho de banda. El ancho de banda de una señal de información no es más que la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima contenidas en la información y el ancho de banda de un canal de comunicaciones es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que pueden pasar por el canal. El ancho de banda de un canal de comunicaciones debe ser suficientemente grande para pasar todas las frecuencias importantes de la información. Por ejemplo las frecuencias de voz contienen señales de 300 a 3000 Hz, por consiguiente un canal para frecuencias de voz debe tener una amplitud igual o mayor a 2700 Hz.

La capacidad de información es la medida de cuanta información se puede transferir a través de un sistema de comunicaciones en determinado tiempo.

2.11.4 Modos de transmisión

Los sistemas electrónicos de comunicaciones se pueden diseñar para manejar la transmisión solo en una dirección, en ambas direcciones, solo en una a la vez o en ambas direcciones al mismo tiempo. A esto se le llama modos de transmisión. Hay cuatro modos de transmisión posibles: simplex, semidúplex, dúplex y dúplex/dúplex.

Simplex (SX)

Con el funcionamiento simplex, las transmisiones se hacen sólo en una dirección, a veces a los sistemas simplex se los llama sólo en un sentido, solo recibir o solo transmitir. Una estación solo puede ser un transmisor o receptor pero no ambos a la vez.

Semidúplex (HDX)

En el funcionamiento semidúplex las transmisiones se pueden hacer en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A veces a los sistemas semidúplex se los llama alternar en ambos sentidos. Una estación puede ser transmisora o receptora pero no al mismo tiempo.

Dúplex (FDX)

Puede haber transmisiones en ambas direcciones al mismo tiempo, se los llama también simultáneos de dos direcciones. Una estación puede transmitir y recibir en forma simultánea siempre y cuando la estación a la que transmite sea de la que recibe.

Dúplex/Dúplex (F/FDX)

Es posible transmitir y recibir de forma simultánea pero no necesariamente entre las mismas dos estaciones, utilizada exclusivamente en circuitos de comunicaciones de datos.

CAPÍTULO III

3 ESTUDIO TECNICO

Para la realización de un óptimo estudio técnico se plasmará en la presente un estudio topográfico de la zona que cubre y rodea el sistema de telecomunicaciones, con el respectivo, diseño de enlaces, cálculo de potencias y atenuaciones.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Los enlaces de radiofrecuencia para la transmisión de voz a diseñar servirán para que el Hospital General de Cajabamba mantenga comunicación permanente con once centros de Salud distribuidos en el cantón Colta, utilizando la frecuencia 182.5 MHZ asignada por el CONATEL para la Cruz Roja en Chimborazo.

La Central ubicada en el Hospital General de Cajabamba será la encargada del monitoreo

total del sistema sobre las estaciones esclavas ubicadas en Gatazo Zambrano, Oficina del Proyecto, Columbe Centro, Columbe Lote1, Columbe Lote2, Centro Guahijón, Troje Grande, Pulucate Emanuel, San Gisel Bajo, San Bernardo y Rumicorral

3.2 ANALISIS TOPOGRÁFICO DEL SECTOR

Con la ayuda de los datos de campo obtenidos a través de un GPS se obtienen los datos georeferenciales de cada estación a implementar así como las alturas en metros a nivel del mar como se muestra en la tabla III.1.

También se han incorporado datos de estaciones repetidoras necesarias para establecer la comunicación entre todas las estaciones.

Tabla N° III.1
Ubicación Geográfica de las estaciones

Nombre	Latitud (S)	Longitud (O)	Altura (msnm)
Gatazo Zambrano	1°39'54''	78°45'09''	3170
Hospital de Cajabamba	1°42'36''	78°46'06''	3206
Oficina del proyecto	1°42'36''	78°45'46''	3269
Centro Guahijón	1°50'10''	78°45'51''	3554
Troje grande	1°51'5''	78°43'11''	3208
Rumicorral	1°49'55''	78°48'11''	3597
Columbe Centro	1°52'58''	78°43'30'	3157
Columbe Lote 1 y2	1°53'53''	78°44'19''	3415
Pulucate Emanuel	1°52'15''	78°42'43''	3198

San Gisel Bajo	1°51'5''	78°46'19''	3382
San Bernardo	1°51'43''	78°45'46''	3300
Repetidora 1	1°46'55''	78°46'14''	3749
Repetidora 2	1°51'26''	78°47'47''	3821
Repetidora 3	1°42'6''	78°45'2''	3416
Repetidora 4	1°51'51''	78°44'27''	3528
Repetidora 5	1°50'50''	78°45'37''	3512

Razón por la cual el diseño de red obliga a utilizar repetidores de frecuencia para poder tener un dominio Completo de la Zona.

Las repetidoras han sido ubicadas de manera estratégica para cubrir las estaciones de manera que el repetidor R4 cubre la zona de Centro Guahijón, Troje Grande, Columbe Centro, Columbe Lote 1 y 2 y Pulucate Emanuel.

La repetidora R3 cubre la Zona de Gatazo Zambrano, Hospital de Cajabamba y la Oficina del Proyecto.

La repetidora R2 Cubre la Zona de Rumicorral

La repetidora R5 Cubre la Zona de San Gissel Bajo y San Bernardo.

Y el repetidor R1 sirve de enlace al repetidor R3 y su respectiva cobertura con el resto del sistema enfocándose directamente el repetidor R1 con el repetidor R4.

El repetidor R4 tiene línea de vista con R5 y R2 , logrando de esta manera una cobertura total del área en la que se requiere comunicación.

Para realizar el diseño de perfil de cada uno de los enlaces se subdividirán en perfiles de estación a estación incluyendo las repetidoras con el fin de garantizar la cobertura total de las doce estaciones médicas; se obtiene el relieve o perfil topográfico de los enlaces que serán analizados en esta sección con la ayuda del software Radio Mobile ejecutable del pack comprimido que se obtiene de la página del RadioMobile denominado rmpath.exe que para el análisis incluye la curvatura de la tierra así como para las gráficas y cálculos necesarios.

3.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE ENLACE

En la figura III.1 se observa el mapa topográfico de Colta donde se trazó la ubicación de las estaciones y las trayectorias en línea recta de los enlaces.

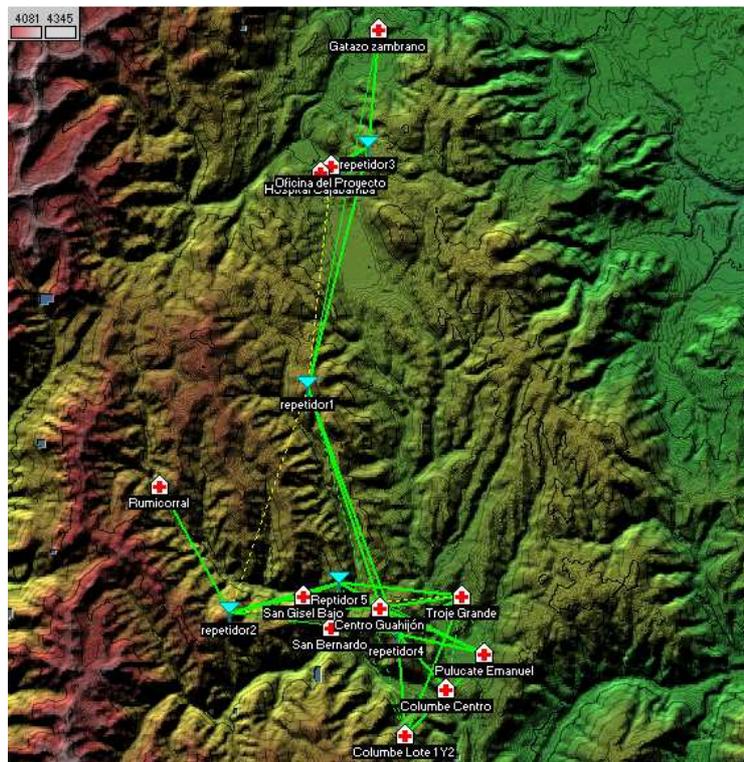


Figura III.1 Mapa topográfico del cantón Colta

Para un minucioso estudio se han diseñado 15 enlaces tomando datos individualmente para determinar la existencia de línea de vista (LOS).

3.4 DISEÑO ENLACE GATAZO ZAMBRANO – REPETIDOR R3

En la figura III.2 se detalla la distancia y altura entre la estación Gatazo Zambrano y el repetidor R3 así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.4.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

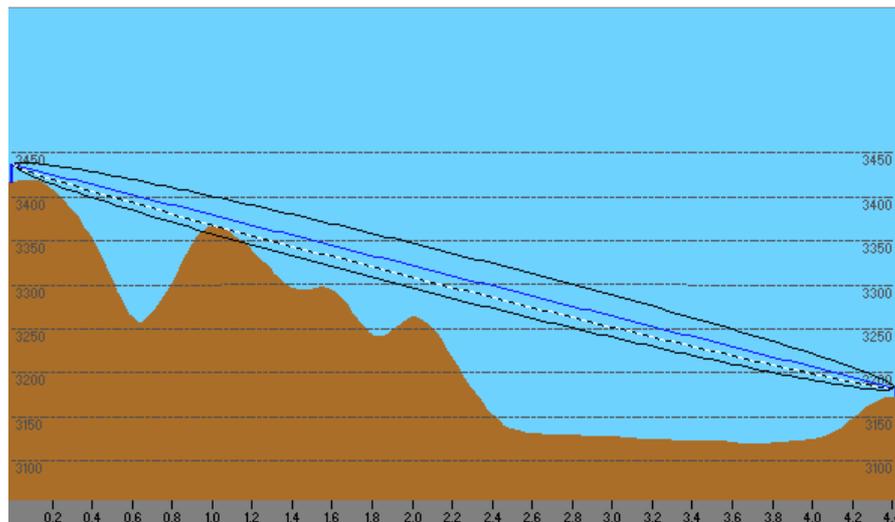


Figura III.2 Diseño del perfil Repetidor R3 - Gatazo Zambrano

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la figura III.2 Se grafica la topografía del terreno que va en línea recta desde el repetidor R3 hasta la estación Gatazo Zambrano con una distancia entre estos de 4.4 Km aproximadamente. Así también se grafica la zona de Fresnel ingresando el valor de la frecuencia a la que funcionará el radio enlace.

En la tabla III.2 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo teniendo como resultado el gráfico de la topografía del terreno

y la zona de Fresnel.

Tabla N° III.2
Datos Generales Enlace Repetidor R3 – Gatazo Zambrano

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R3
Estación B:	Gatazo Zambrano
Altura A:	3416 m.s.n.m.
Altura B:	3170 m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	4.4Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3436 m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3180 m.s.n.m.

3.4.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

El ángulo de elevación por definición es el ángulo formado entre la línea de viaje de la onda radiada desde la antena y el plano horizontal.

En la Figura III.3 se muestra al repetidor R3 representado por el punto A y el edificio que corresponde al Centro de Salud ubicado en Gatazo Zambrano representado por el punto B.

A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

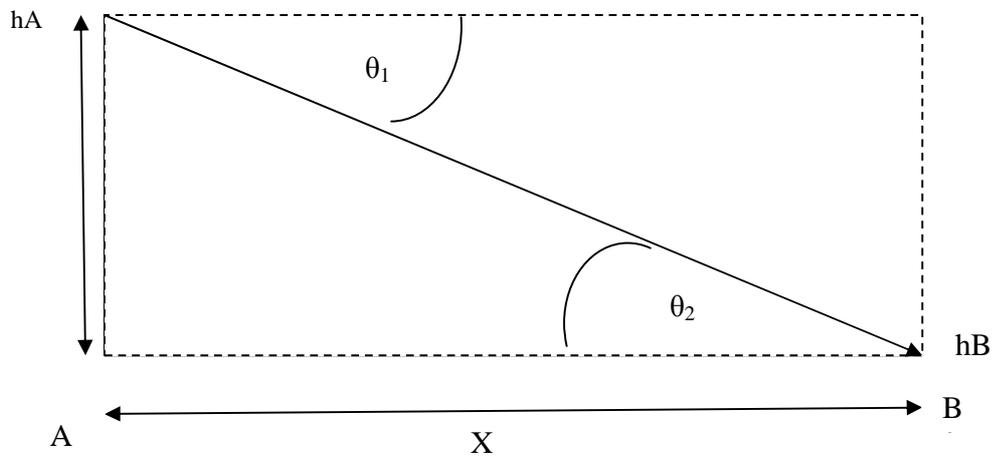


Figura III.3 Angulo de elevación enlace R3- Gatazo Zambrano

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB$$

$$Y = 3416m - 3170m$$

$$Y = 246m$$

$$X = 4400m$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{246}{4400}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(0.0559)$$

$$\theta_2 = 3.2^\circ$$

Realizando el cálculo obtenemos que el ángulo de elevación para la antena receptora

ubicada en el Centro de Salud Gatazo Zambrano es de 3.2° .

Por ángulos complementarios sabemos que $\theta_1 = \theta_2$ de tal manera que $\theta_1 = 3.2^\circ$ entonces el ángulo de elevación para la antena transmisora del repetidor R3 es de 3.2° pero con pendiente contraria a θ_2 .

Cálculos del ángulo de Azimut

El ángulo de azimut es el ángulo horizontal al que hay que girar la antena desde el polo Norte terrestre hasta encontrar la otra antena. Es el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Tomando como referencia el norte como 0° , continuando girando en sentido horario hacia el Este, se ubica en los 90° de Azimut. Hacia el sur se obtienen 180° de Azimut, hacia el Oeste los 270° y por ultimo llegar al punto inicial donde los 360° coincide con los 0° del Norte.

Para establecer el ángulo de Azimut se utiliza el software Radio Mobile que se utilizó para definir los perfiles topográficos obteniendo el azimut correspondiente a cada antena.

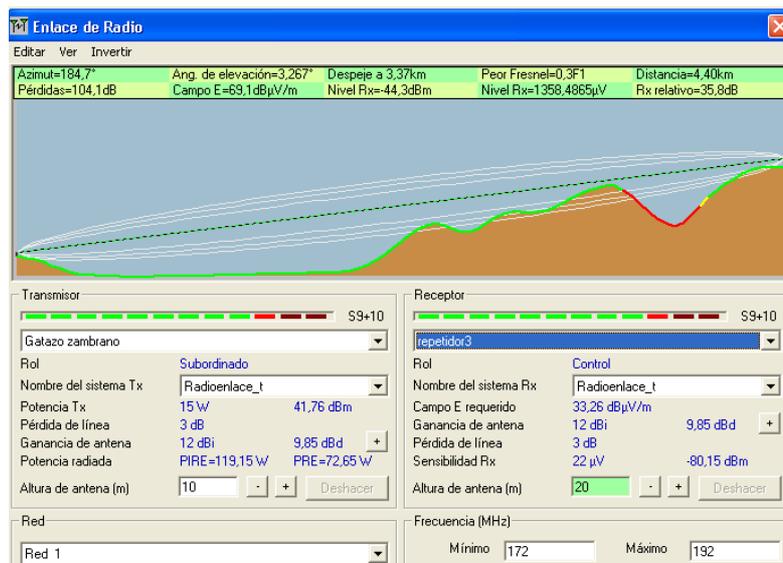


Figura III.4 Visualización enlace R3 y Gatizo Zambrano

Tabla N° III.3
 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 1

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R3	1°42'6''	78°45'2''	184.7°
Gatazo Zambrano	1°39'54''	78°45'09''	4.7°

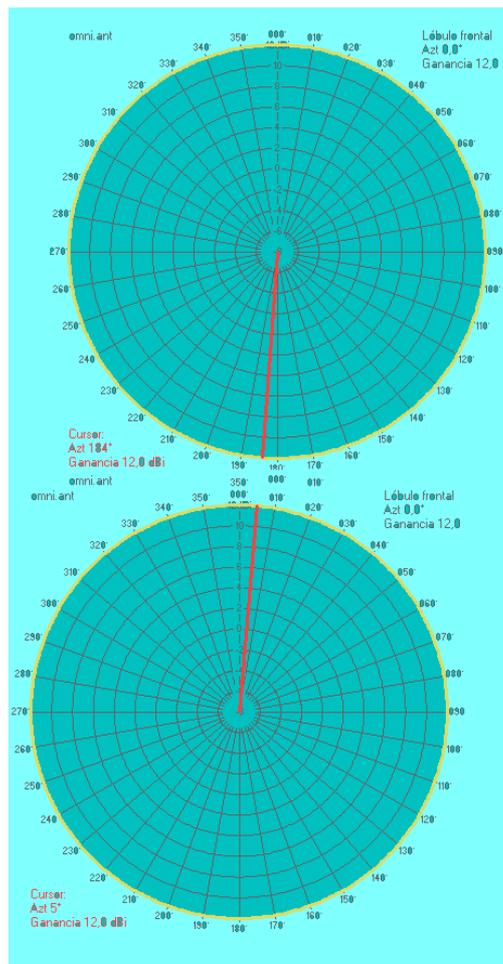


Figura III.5 Direccinamiento Azimut para R3 y Gatazo Zambrano

3.4.3. CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

El cálculo de potencias es el procedimiento que se utiliza para estimar de manera rápida si un enlace es factible o funcionará correctamente. No obstante debe tenerse en cuenta que se trata de un cálculo teórico y que por tanto está sujeto a variaciones debido a múltiples factores: apuntamiento de las antenas, reflexiones, interferencias no deseadas, características propias del tipo del equipo utilizado etc.

El resultado final de los cálculos es el margen resultante o margen de desvanecimiento neto (Fading Margen) cuyo valor proporciona información acerca del correcto funcionamiento del sistema desde el punto de vista teórico

Potencia transmitida

La potencia que se requiere para establecer comunicación dentro de este enlace es de 45W (potencia estándar que brindan los equipos existentes en el mercado) por tanto:

$$P_{TX} = 47dBm$$

Ganancia de las antenas

La ganancia de las antenas Tx y Rx es proporcionada por el fabricante y viene expresada habitualmente en dB isotrópicos (dBi), es decir la ganancia de potencia con respecto a un modelo teórico de antena isotrópica que radia la misma cantidad de energía en todas las direcciones del espacio.

En este caso las antenas transmisora y receptora están incorporadas en sus respectivos equipos, con una ganancia de:

$$G(dBi) = 10$$

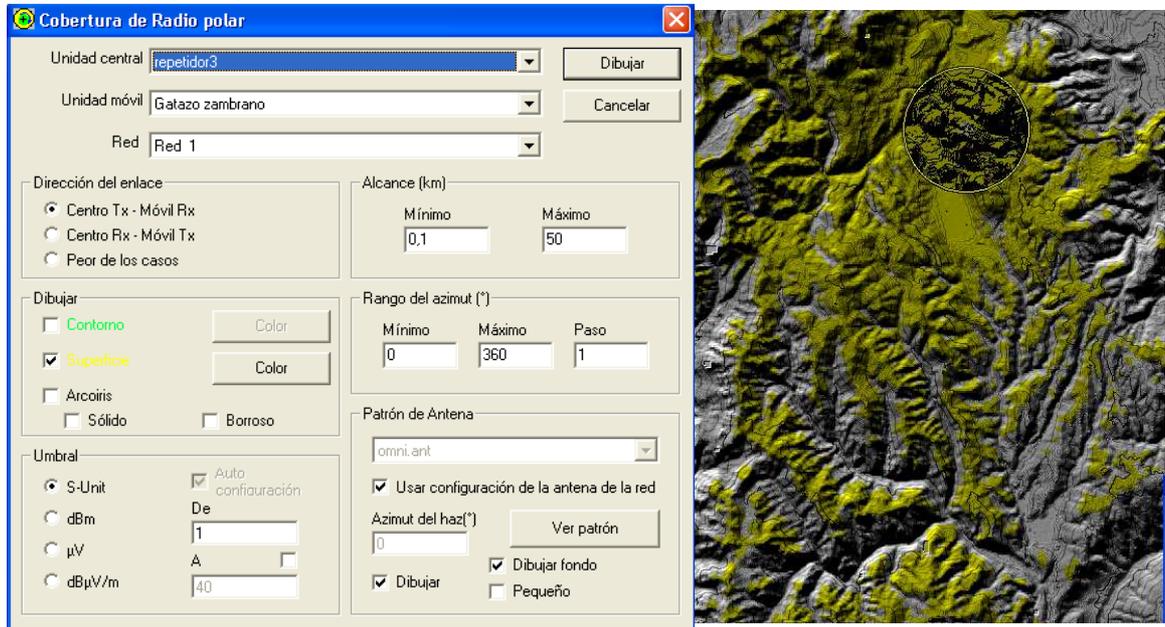


Figura III.6 Radiación Antenas del Enlace 1

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Se trata de las pérdidas de propagación que sufre la señal radioeléctrica al propagarse por el vacío, en condiciones de espacio libre.

Con la frecuencia expresada en GHz y la distancia en Km se aplica la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

D_1 Distancia repetidor 3 a Gatazo Zambrano = 4.40Km

$L_{p1}(dB) = 100$

Pérdidas adicionales de propagación

La atenuación causada por la lluvia y gases atmosféricas pueden ser casi despreciables para frecuencias por debajo de 5 GHz y 3 Km de distancia entre las antenas transmisoras y receptoras, además la atenuación causada por follaje de árboles de 30m de altura serán

superados por las características propias de los equipos Motorola PRO5100 y MTR2000 que pueden trabajar incluso sin línea de vista.

A_{lluvia} = Atenuación por lluvia = 0.01dB

A_{veg} = Atenuación por vegetación = 1.5dB

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

Es la suma de todas las atenuaciones presentes en el sistema, dada por la ecuación 2-11:

$$A_T = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$$

A_{T1} = 103.01dB del Repetidor R3 a Gatazo Zambrano

Sensibilidad del receptor

El equipo receptor necesita un mínimo nivel de señal para conseguir un funcionamiento admisible (nivel de calidad), Lo que se conoce habitualmente como sensibilidad. En nuestro caso la sensibilidad del receptor proporcionada por el fabricante es:

$$S(dBm) = -80.02 dBm$$

Potencia de recepción

La potencia de recepción es aquella que llega al receptor después de haber sufrido atenuaciones debido a pérdidas básicas de propagación en el espacio libre y pérdidas adicionales de propagación; es decir es la diferencia entre la potencia de transmisión + las ganancias de las antenas y la atenuación total del enlace.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

P_{TX} = Potencia de Transmisión

P_{TX} = +47 dBm

G_{TX} = Ganancia Antena interna Tx

G_{TX} = 10 dBi

G_{RX} = Ganancia Antena interna Rx

G_{RX} = 10 dBi

A_T = Atenuación Total

Entonces:

$P_{RX1} = 47\text{dBm} + 10\text{dBi} + 10\text{dBi} - 103.01\text{dB} = -36.01\text{dB}$

3.5 DISEÑO ENLACE HOSPITAL GENERAL CAJABAMBA – REPETIDOR R3

3.5.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

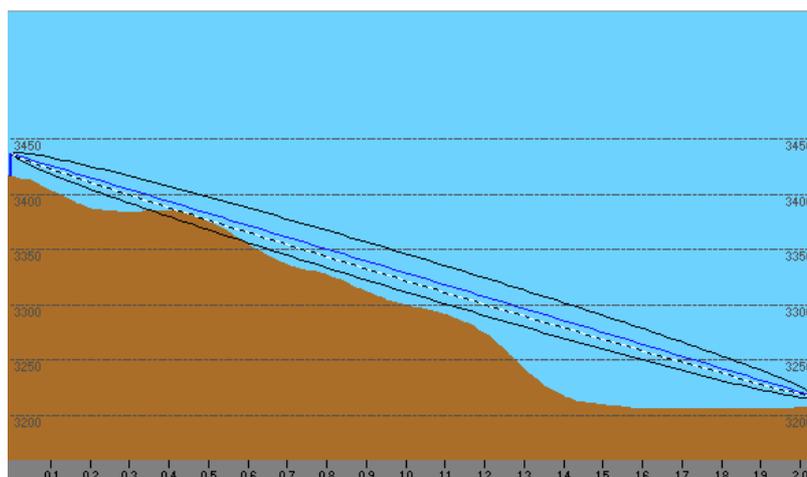


Figura III.7 Diseño del perfil Repetidor R3 – Hospital General Cajabamba

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.4 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo teniendo como resultado el gráfico de la topografía del terreno y la zona de Fresnel.

Tabla N° III.4
 Datos Enlace Repetidor R3 – Hospital Cajabamba

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R3
Estación B:	Hospital Cajabamba
Altura A:	3416 m.s.n.m.
Altura B:	3206 m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	2.02Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3436 m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3216 m.s.n.m.

3.5.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

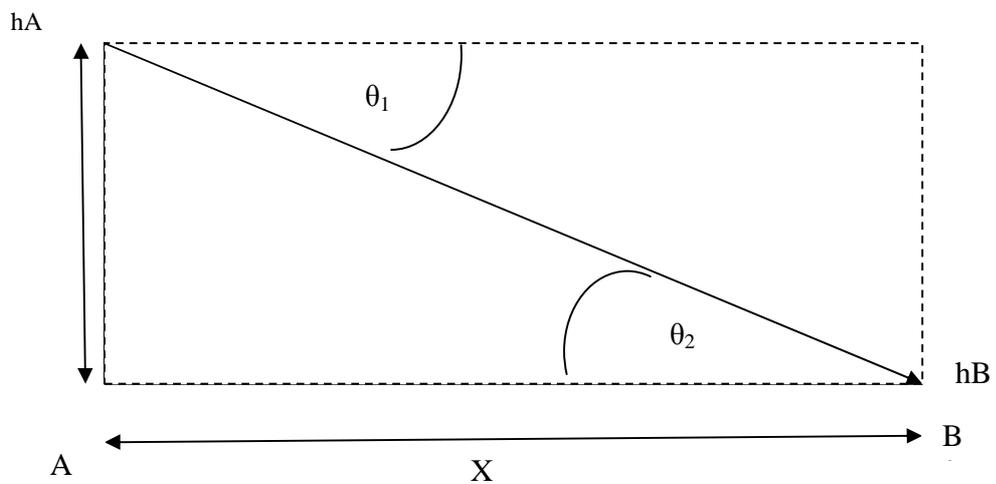


Figura III.8 Ángulo de elevación enlace R3- Hospital Cajabamba

En la Figura III.8 se muestra al repetidor R3 representado por el punto A y el edificio que corresponde al Hospital General de Cajabamba representado por el punto B.

Tenemos:

$$Y = hA - hB$$

$$Y = 200m$$

$$X = 2020m$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = 5.65^\circ$$

Realizando el cálculo obtenemos que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en el Hospital General de Cajabamba es de 5.65° .

Cálculos del ángulo de Azimut

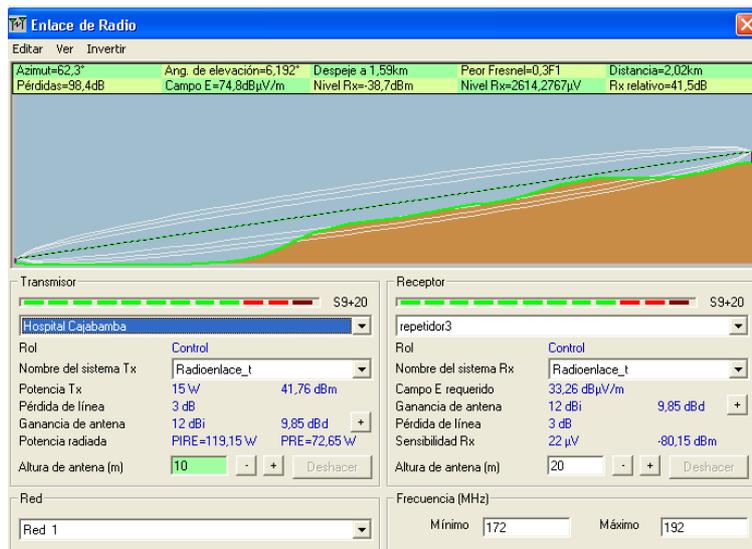


Figura III.9 Visualización enlace R3 y Hospital de Cajabamba

Tabla N° III.5
 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 2

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R3	1°42'6''	78°45'2''	242.3°
Gatazo Zambrano	1°42'36''	78°46'06''	62.3°

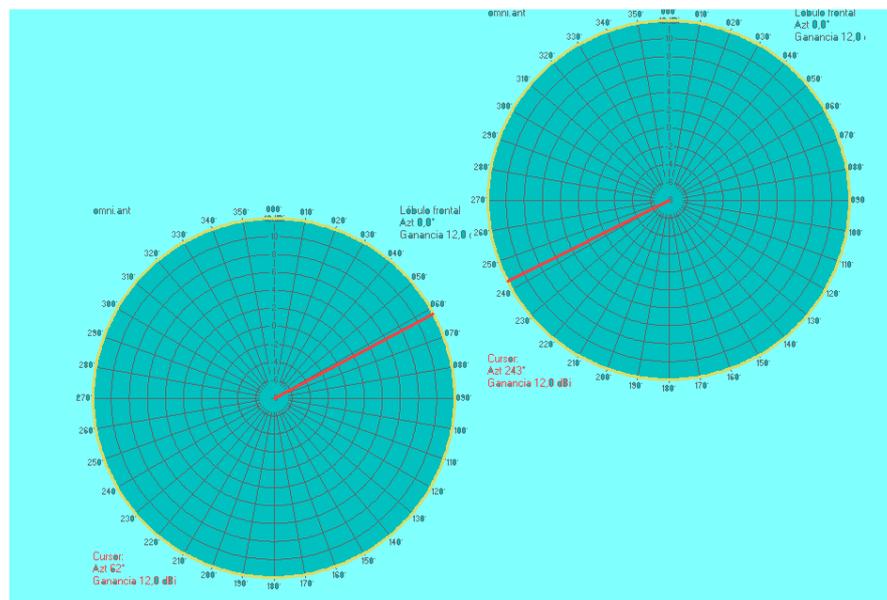


Figura III.10 Direccionamiento Azimut para R3 y Hospital Cajabamba

3.5.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47dBm$

Ganancia de las antenas $G(dBi) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

D_2 Distancia repetidor 3 al Hospital Cajabamba = 2.02Km

$$L_{p2}(\text{dB}) = 84 \text{ dB}$$

Pérdidas adicionales de propagación

A_{lluvia} = Atenuación por lluvia = 0.01dB

A_{veg} = Atenuación por vegetación = 1.5dB

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_T = L_p + L_f + A_{\text{lluvia}} + A_{\text{veg}}$

$$A_{T2} = 87.01 \text{ dB}$$

Sensibilidad del receptor $S(\text{dBm}) = -80.02 \text{ dBm}$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 87.01$$

$$P_{RX} = -20.01$$

3.6 DISEÑO ENLACE HOSPITAL GENERAL CAJABAMBA – OFICINA DEL PROYECTO

3.6.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

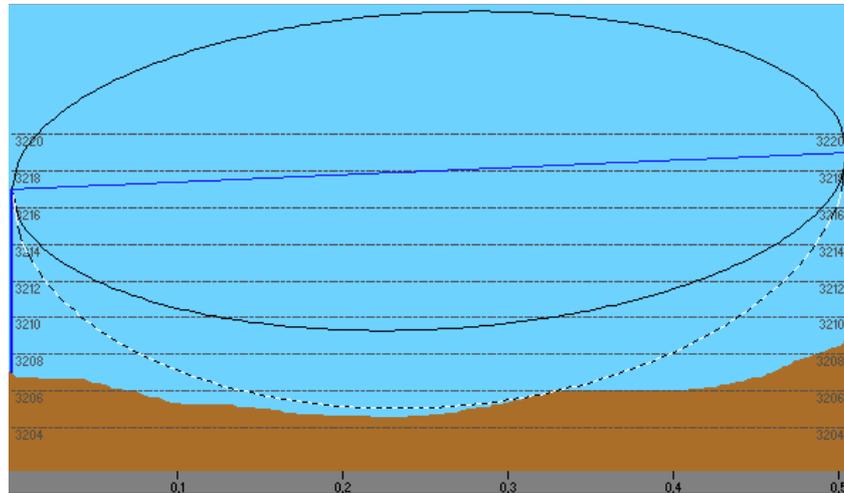


Figura III.11 Diseño del perfil Hospital General de Cajabamba – Oficina del Proyecto
(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la figura III.11 se grafica la topografía del terreno que va en línea recta desde el Hospital de Cajabamba hasta la oficina del Proyecto con una distancia entre estos de 500m aproximadamente. Así también se grafica la zona de Fresnel ingresando el valor de la frecuencia a la que funcionará el radio enlace.

En la tabla III.6 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa.

Tabla N° III.6
Datos Generales Enlace Oficina del Proyecto – Hospital Cajabamba

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Hospital Cajabamba
Estación B:	Oficina del Proyecto
Altura A:	3206 m.s.n.m.
Altura B:	3269 m.s.n.m.

Altura torre A:	10m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	500m
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3216m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3279 m.s.n.m.

3.6.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.12 se muestra al Hospital General de Cajabamba representado por el punto A y el edificio que corresponde a la Oficina del Proyecto representado por el punto B.

A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

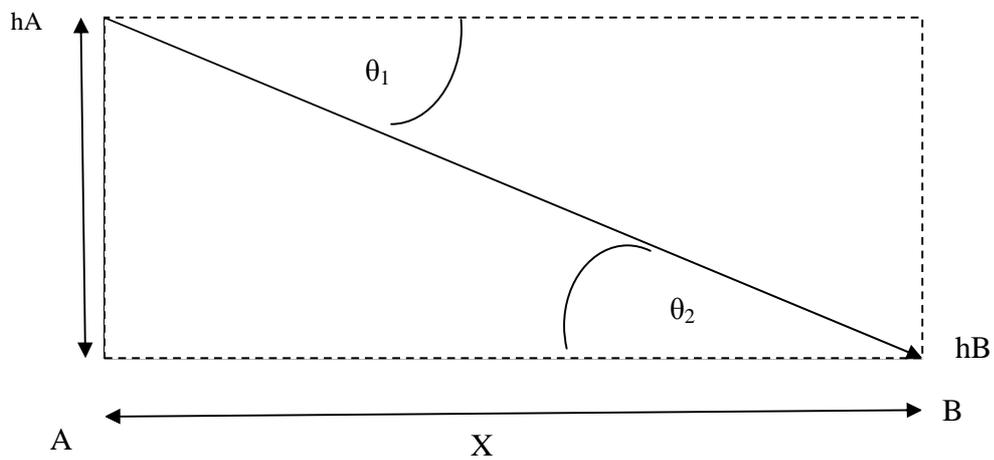


Figura III.12 Angulo de elevación enlace Hospital Cajabamba- oficina del Proyecto

Tenemos:
$$Y = hA - hB$$

$$Y = 173m$$

$$X = 500m$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = 15.32^\circ$$

Realizando el cálculo obtenemos que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en la Oficina del proyecto es de 15.32° .

Cálculos del ángulo de Azimut

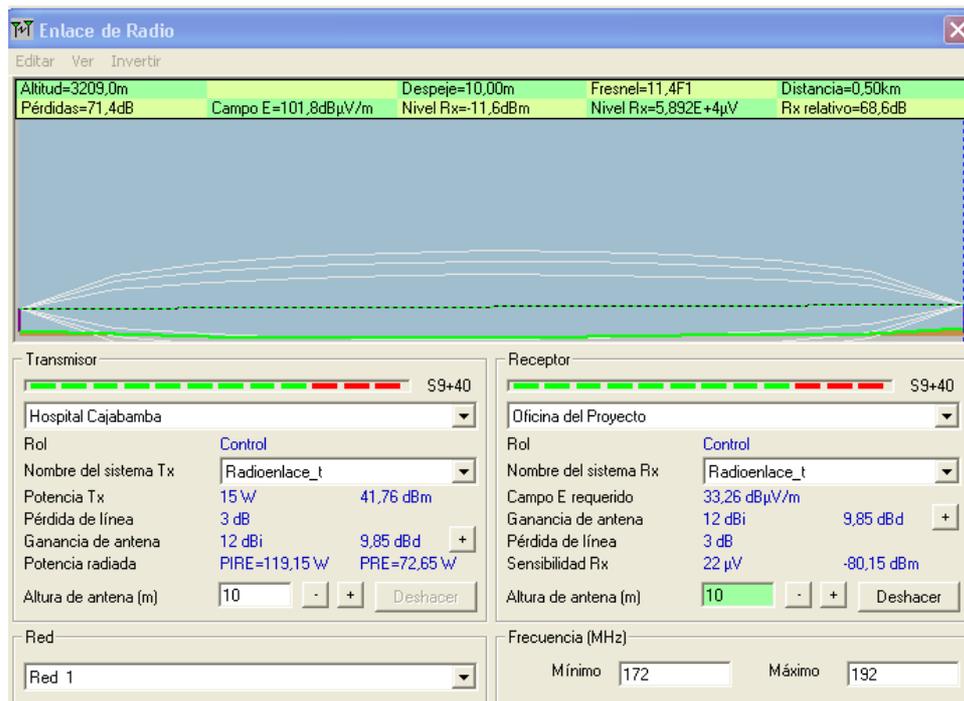


Figura III.13 Visualización Hospital de Cajabamba-oficina del Proyecto

Tabla N° III.7
 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 3

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Hospital de Cajabamba	1°42'36''	78°46'06''	56.3°
Oficina del Proyecto	1°42'36''	78°45'46''	236.3°

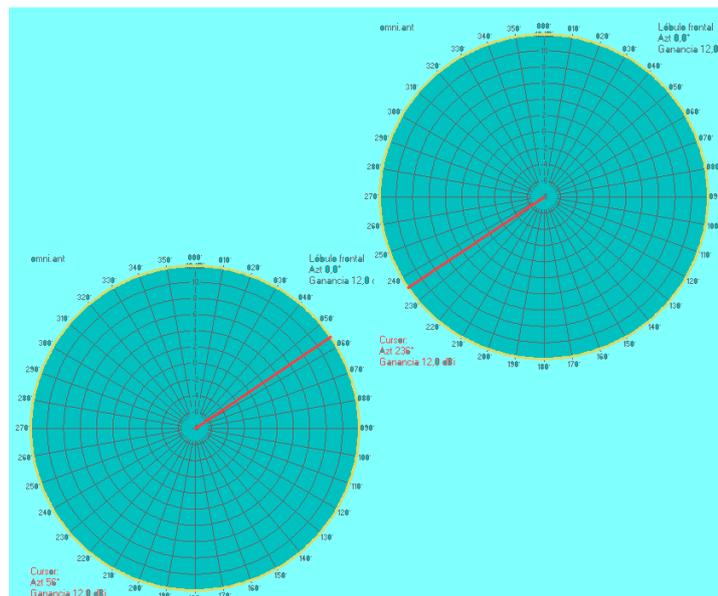


Figura III.14 Direccionamiento Azimut Oficina Proyecto- Hospital Cajabamba

3.6.3. CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47dBm$

Ganancia de las antenas $G(dBi) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

D_2 Distancia repetidor 3 al Hospital Cajabamba = 0.5Km

$L_{p2}(\text{dB}) = 71.6$ dB

Pérdidas adicionales de propagación

A_{lluvia} = Atenuación por lluvia = 0.01dB

A_{veg} = Atenuación por vegetación = 1.5dB

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_{T2} = 74.6$ dB

Sensibilidad del receptor $S(\text{dBm}) = -80.02 \text{ dBm}$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 74.6$$

$$P_{RX} = -7.6$$

3.7 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – CENTRO GUAHIJÓN

En la figura III.15 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R4 y Centro Guahijón así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.7.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

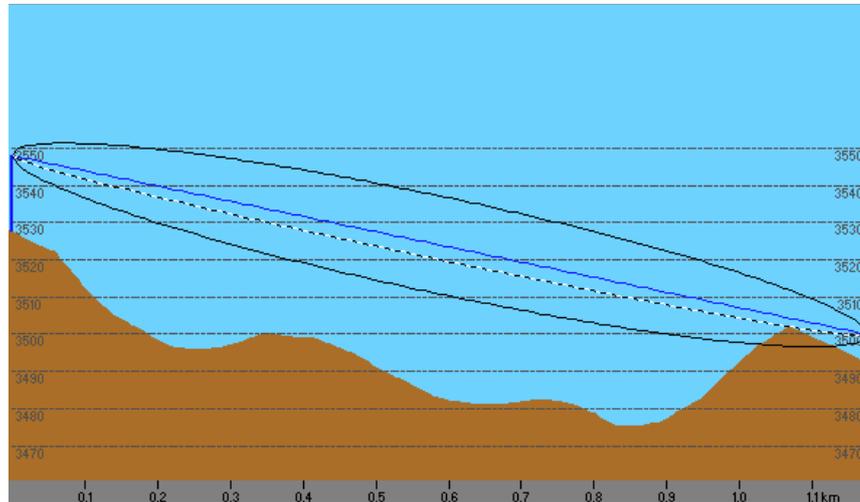


Figura III.15 Diseño del perfil Repetidor R4 – Centro Guahijón

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.8 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

Tabla N° III.8
Datos Enlace Repetidor R4 – Centro Guahijón

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R4
Estación B:	Centro Guahijón
Altura A:	3528 m.s.n.m.
Altura B:	3554 m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	1.17 Km
Frecuencia:	182.5 MHz

Altura +Antena A:	3548m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3564 m.s.n.m.

3.7.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.16 se muestra la repetidora R4 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en centro Guahijón representado por el punto B. A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

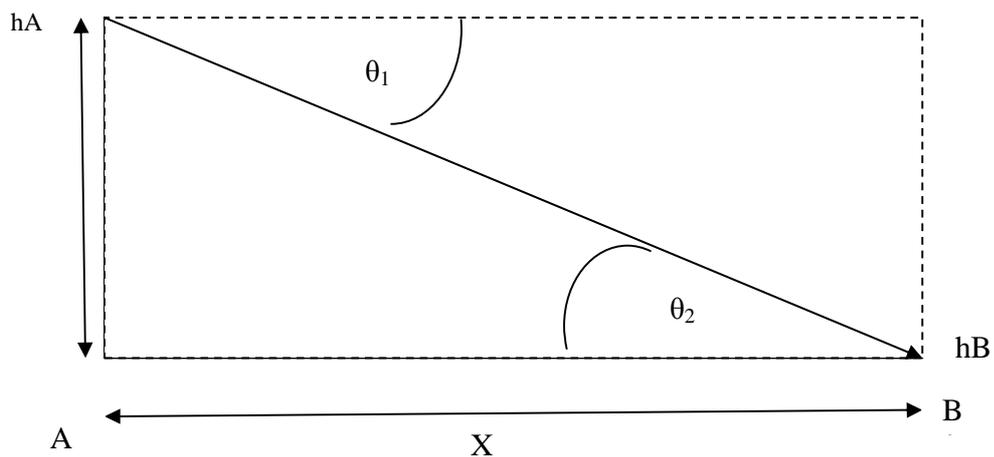


Figura III.16 Angulo de elevación enlace R4- Centro Guahijón

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = h_A - h_B = 16m$$

$$X = 1170m$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{16}{1170}\right)$$

$$\theta_2 = 0.78^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en Centro Guahijón es de 0.78° .

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

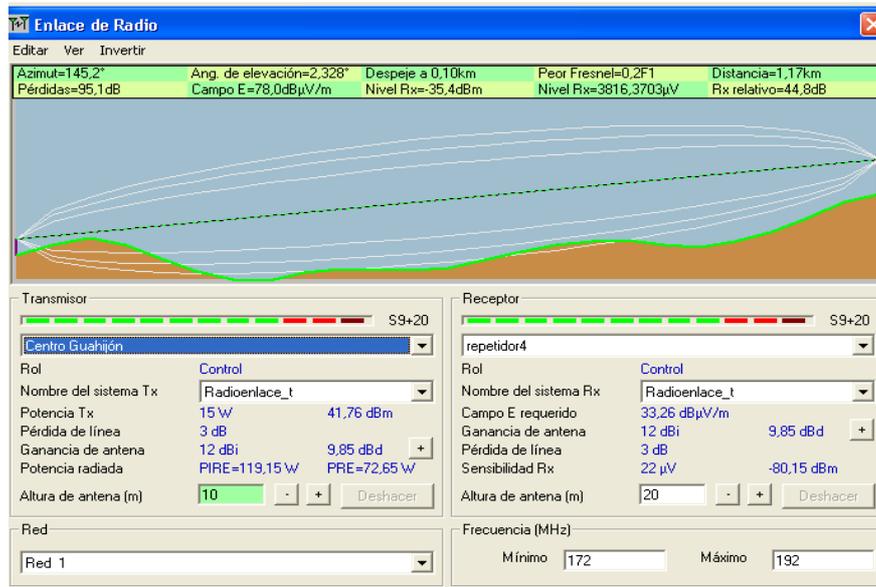


Figura III.17 Visualización R4- Centro Guahijón

Tabla N° III.9
Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 4

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R4	1°51'51''	78°44'27''	325.2°
Centro Guahijón	1°50'10''	78°45'51''	145.2°

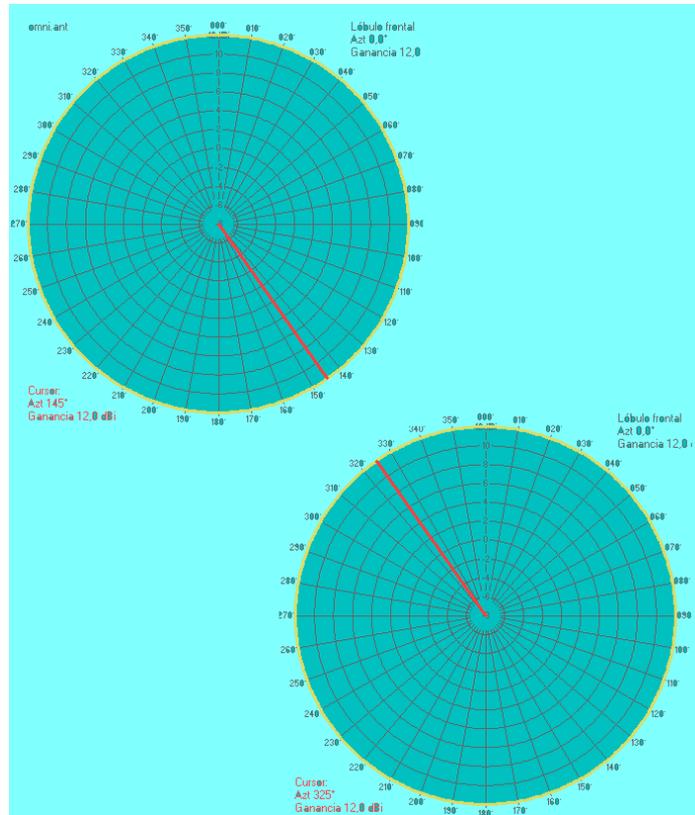


Figura III.18 Direccionamiento Azimut R4- Centro Guahijón

3.7.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida

$$P_{TX} = 47dBm$$

Ganancia de las antenas

$$G(dBi) = 10$$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

D_2 Distancia repetidor R4 a Centro Guahijón= 1.17Km

$$L_{p4}(\text{dB})=79$$

Pérdidas adicionales de propagación

$$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{ dB}$$

$$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{ dB}$$

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11:

$$A_T = L_p + L_f + A_{\text{lluvia}} + A_{\text{veg}}$$

$$A_{T4} = 82.01 \text{ dB}$$

Sensibilidad del receptor

$$S(\text{dBm}) = -80.02 \text{ dBm}$$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 74.6$$

$$P_{RX} = -15.01$$

3.8 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – TROJE GRANDE

En la figura III.20 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R4 y Troje grande así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.8.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

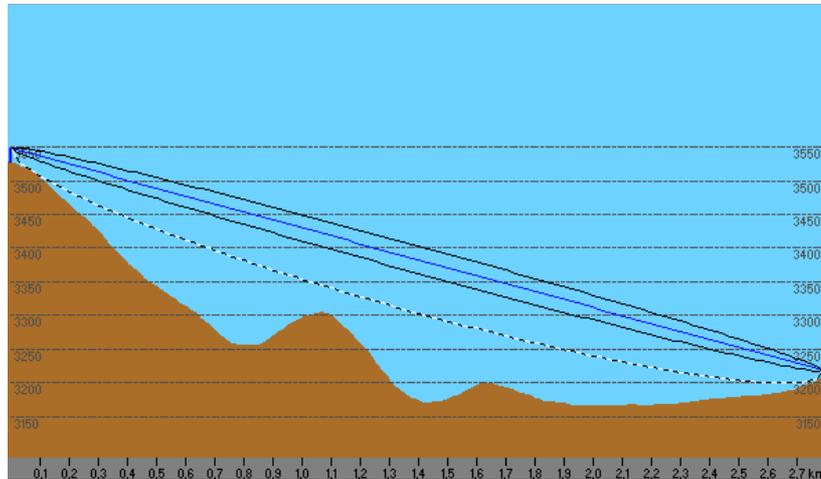


Figura III.19 Diseño del perfil Repetidor R4 – Troje grande

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.10 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

Tabla N° III.10
Datos Enlace Repetidor R4 – Troje Grande

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R4
Estación B:	Troje Grande
Altura A:	3528 m.s.n.m.
Altura B:	3208m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	2.76 Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3548m.s.n.m.

Altura +Antena B:	3018 m.s.n.m.
-------------------	---------------

3.8.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.21 se muestra la repetidora R4 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en Troje Grande representado por el punto B.

A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

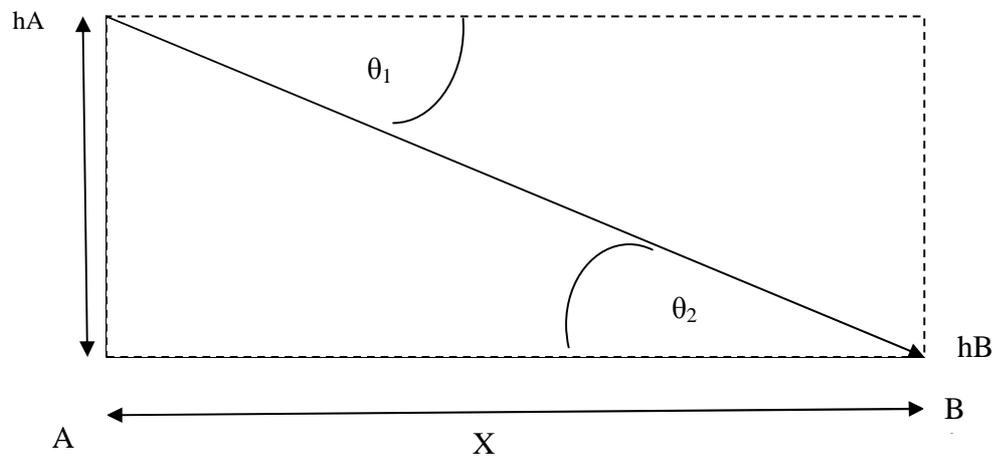


Figura III.20 Angulo de elevación enlace R4- Troje Grande

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 530 \text{ m}$$

$$X = 2760 \text{ m}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{530}{2760}\right)$$

$$\theta_2 = 10.87^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora

ubicada en Centro Guahijón es de 10.87° .

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

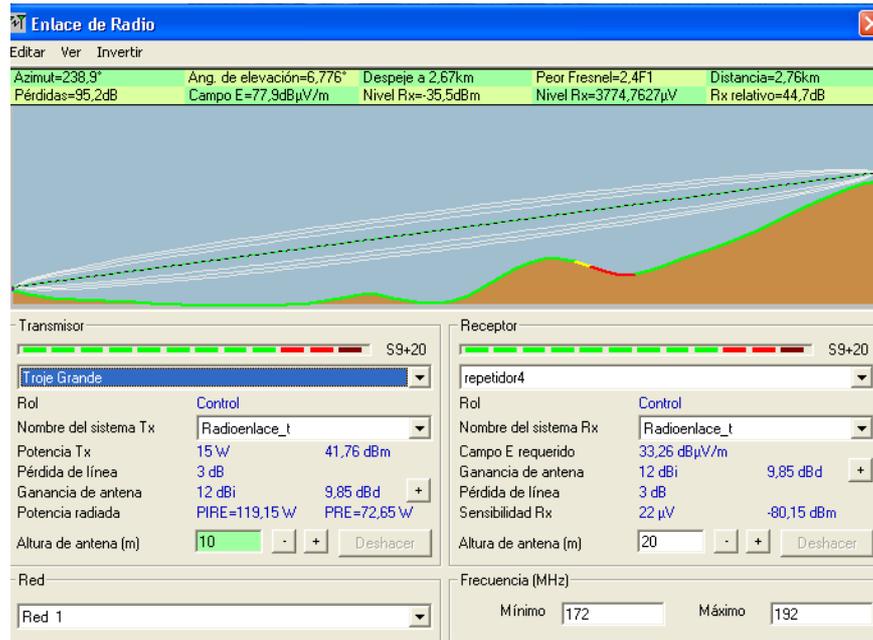


Figura III.21 Visualización enlace R4 y la estación en Troje Grande

Tabla N° III.11
Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 5

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R4	1°51'51''	78°44'27''	58.9
Centro Guahijón	1°51'5''	78°43'11''	238.9°

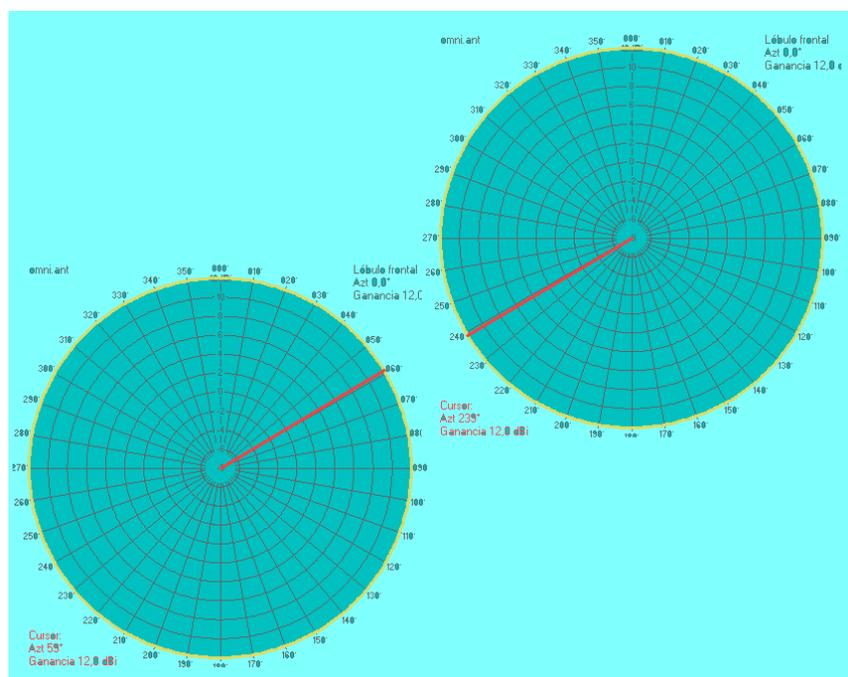


Figura III.22 Direccionamiento Azimut R4- Troje Grande

3.8.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47dBm$

Ganancia de las antenas $G(dBi) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

D_5 Distancia repetidor 4 a Troje Grande = 2.76 Km

$L_{p5}(dB) = 87$

Pérdidas adicionales de propagación

A_{lluvia} = Atenuación por lluvia = 0.01dB

A_{veg} = Atenuación por vegetación = 1.5dB

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_T = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$

$$A_{T5} = 90.01$$

Sensibilidad del receptor $S(dBm) = -80.02 dBm$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 90.01$$

$$P_{RX} = -23.04$$

3.9 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – COLUMBE CENTRO

En la figura III.23 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R4 y Columbe Centro así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.9.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

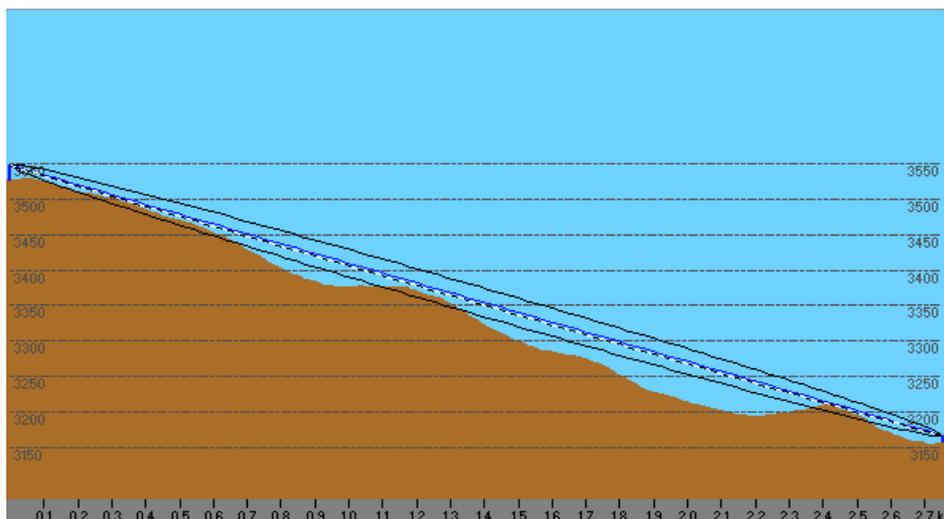


Figura III.23 Diseño del perfil Repetidor R4 – Columbe Centro

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.12 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

Tabla N° III.12
Datos Enlace Repetidor R4 – Columbe Centro

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R4
Estación B:	Columbe Centro
Altura A:	3528 m.s.n.m.
Altura B:	3157m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	2.72Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3548m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3167m.s.n.m.

3.9.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.16 se muestra la repetidora R4 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en Columbe Centro representado por el punto B. A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

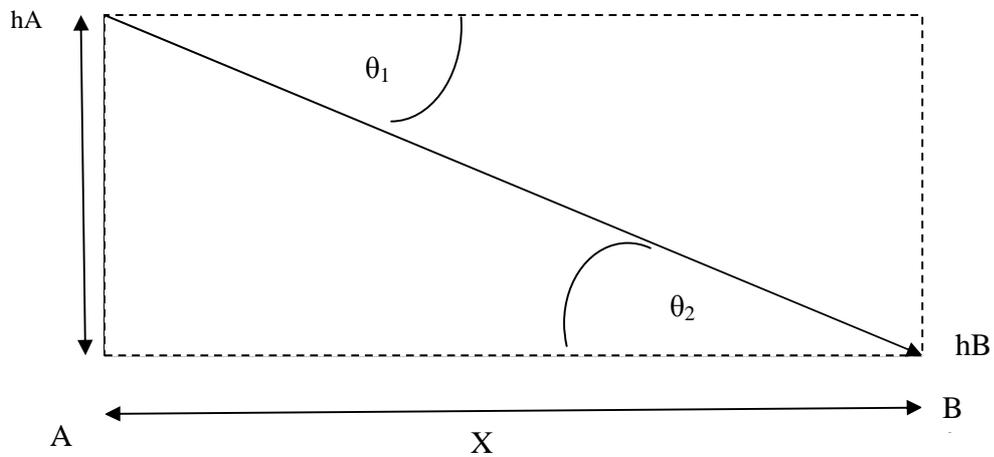


Figura III.24 Angulo de elevación enlace R4- Columbe Centro

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 381 \text{ m}$$

$$X = 2720 \text{ m}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{381}{2720} \right)$$

$$\theta_2 = 7.97^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en Columbe Centro es de 7.97° .

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

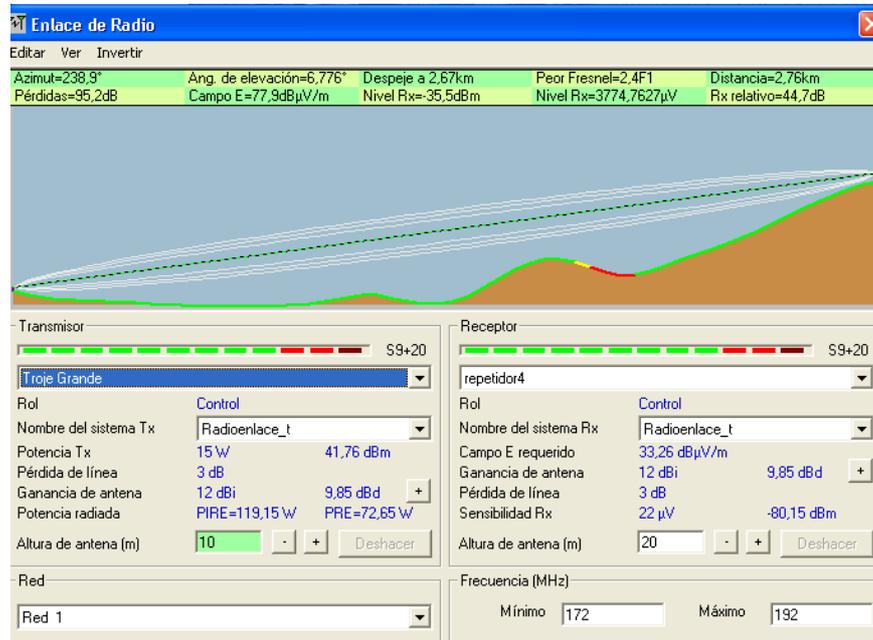


Figura III.25 Visualización enlace R4 y la estación en Columbe Centro

Tabla N° III.13

Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 6

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R4	1°51'51''	78°44'27''	139.3
Columbe Centro	1°52'58''	78°43'30'	238.9°

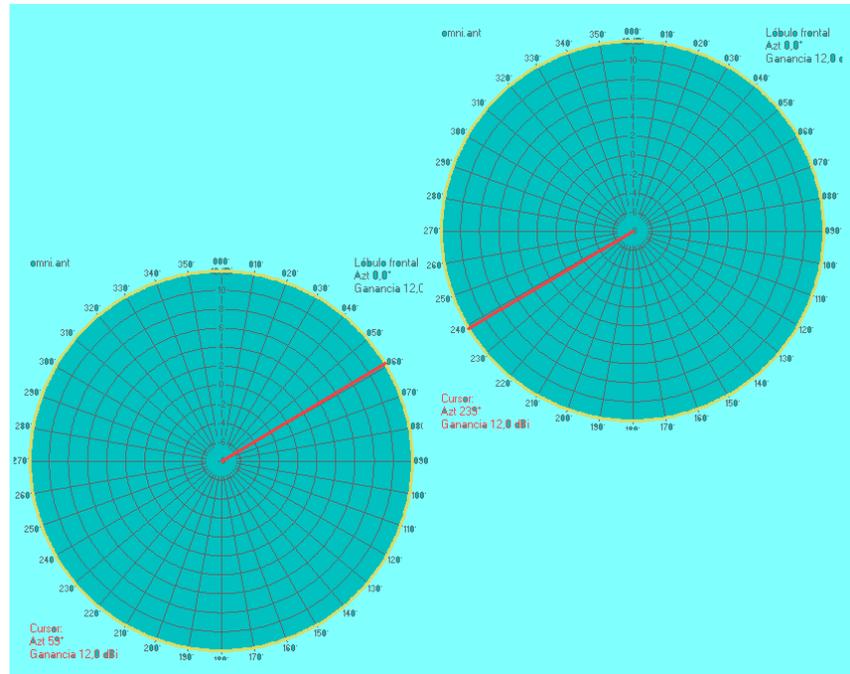


Figura III.26 Direccionamiento Azimut R4- Columbe Centro

3.9.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47dBm$

Ganancia de las antenas $G(dBi) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3} \text{ GHz}$

$D_6 = 2.72 \text{ Km}$

$L_{p6}(dB) = 86$

Pérdidas adicionales de propagación

$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{ dB}$

$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{ dB}$

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_T = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$

$$A_{T5} = 89.01$$

Sensibilidad del receptor $S(dBm) = -80.02 dBm$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 89.01$$

$$P_{RX} = -22.01$$

3.10 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – COLUMBE LOTE 1y 2

En la figura III.28 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R4 y Columbe Lote 1 y 2 así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.10.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

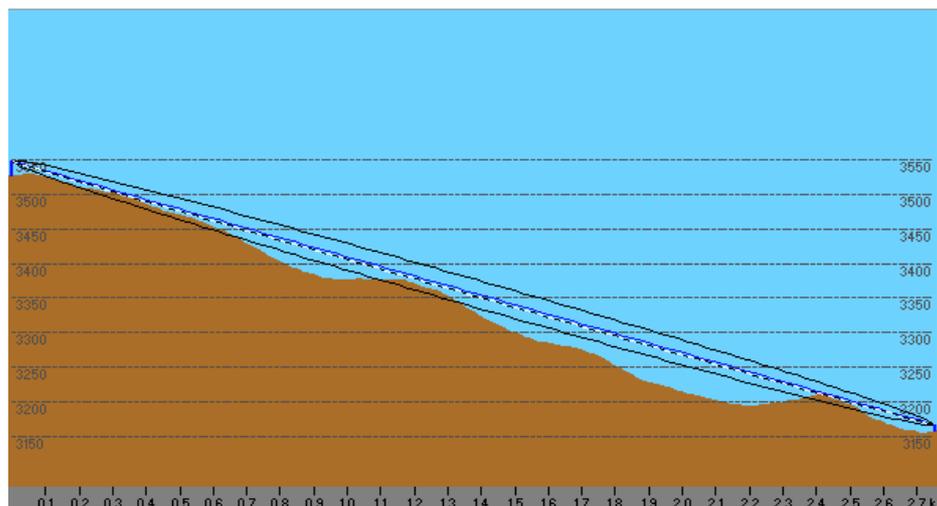


Figura III.27 Diseño del perfil Repetidor R4 – Columbe Lote

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.14 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

Tabla N° III.14
Datos Enlace Repetidor R4 – Columbe Lote

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R4
Estación B:	Columbe Lote
Altura A:	3528 m.s.n.m.
Altura B:	3415m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	3.76Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3548m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3425m.s.n.m.

3.10.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.29 se muestra la repetidora R4 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en Columbe Lote representado por el punto B. A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

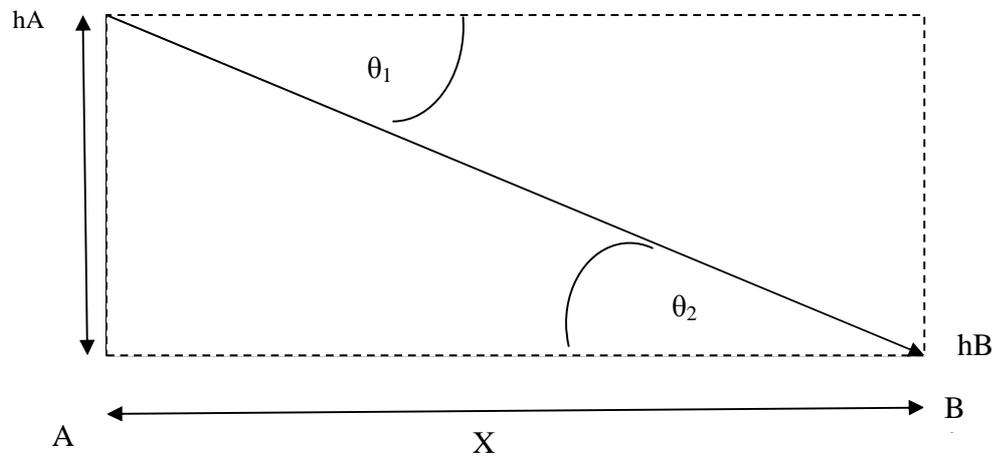


Figura III.28 Angulo de elevación enlace R4- Columbe Lote

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 123$$

$$X = 3.76 \text{ Km}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{123}{3760} \right)$$

$$\theta_2 = 1.87^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en Columbe Lote es de 1.87° .

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

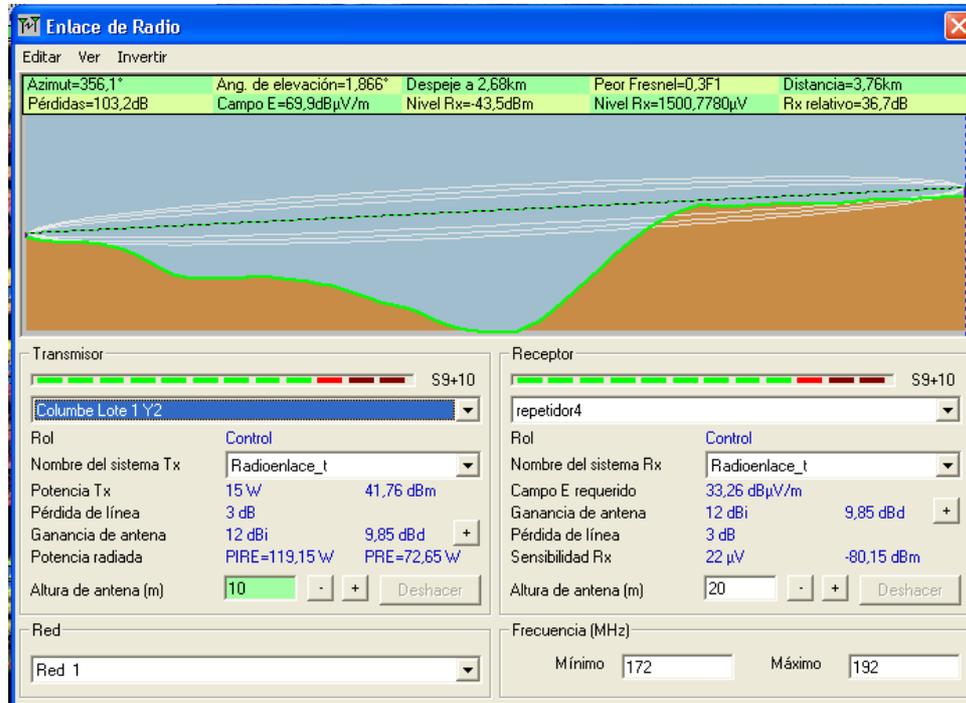


Figura III.29 Visualización enlace R4 y la Columbe Lote 1 y 2

Tabla N° III.15
 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 7

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R4	1°51'51''	78°44'27''	176.1°
Columbe Lote	1°53'53''	78°44'19''	356.1°

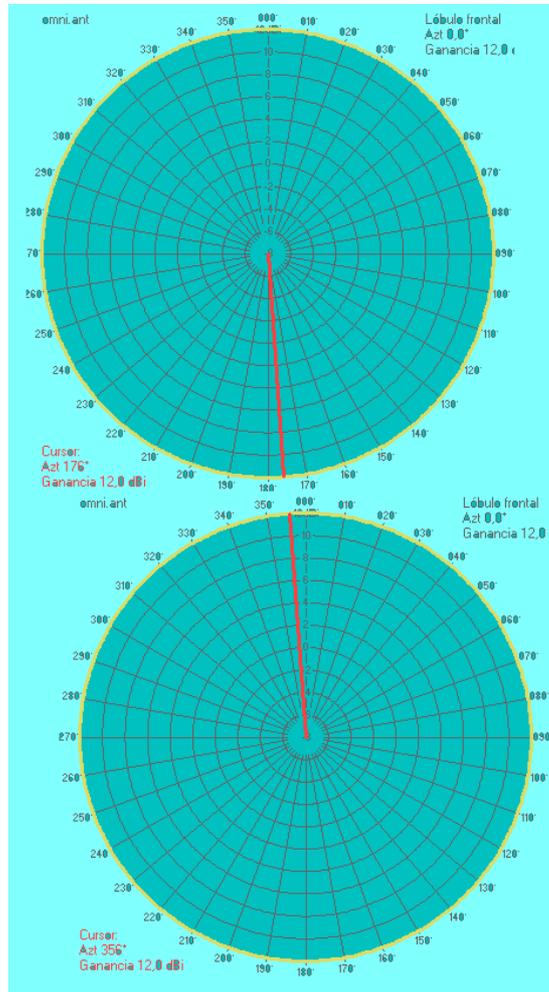


Figura III.30 Direccionamiento Azimut R4- Columbe Lote 1 y 2

3.10.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47dBm$

Ganancia de las antenas $G(dBi) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3} \text{ GHz}$

$$D_7 = 3.76 \text{ Km}$$

$$L_{p7}(\text{dB}) = 89$$

Pérdidas adicionales de propagación

$$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{ dB}$$

$$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{ dB}$$

$$L_f = \text{La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es } 1.5 \text{ dB}$$

Atenuación Total

$$\text{De la ecuación 2-11: } A_T = L_p + L_f + A_{\text{lluvia}} + A_{\text{veg}}$$

$$A_{T7} = 92.01$$

$$\text{Sensibilidad del receptor } S(\text{dBm}) = -80.02 \text{ dBm}$$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 92.01$$

$$P_{RX} = -25.01$$

3.11 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R4 – PULUCATE EMANUEL

En la figura III.32 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R4 y Pulucate Emanuel así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.11.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

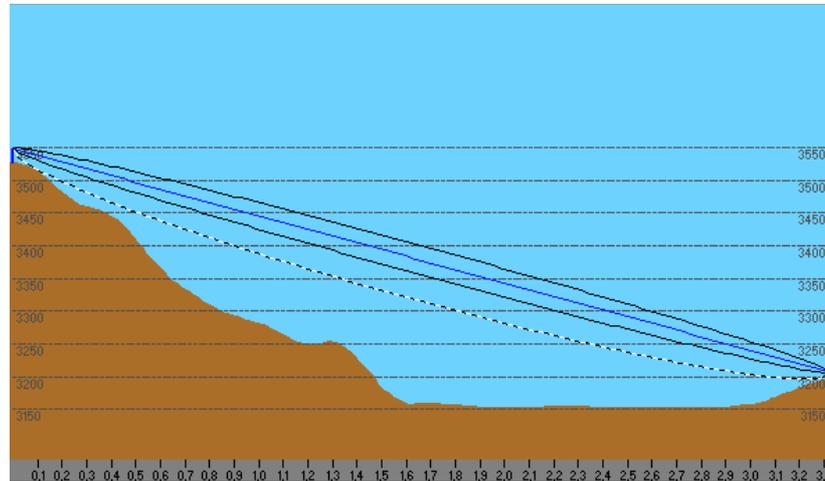


Figura III.31 Diseño del perfil Repetidor R4 – Pulucate Emanuel
(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.16 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

Tabla N° III.16
Datos Enlace Repetidor R4 – Pulucate Emanuel

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R4
Estación B:	Pulucate Emanuel
Altura A:	3528 m.s.n.m.
Altura B:	3198m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	3.29Km
Frecuencia:	182.5 MHz

Altura +Antena A:	3548m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3208m.s.n.m.

3.11.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.32 se muestra la repetidora R4 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en Pulucate Emanuel representado por el punto B. A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

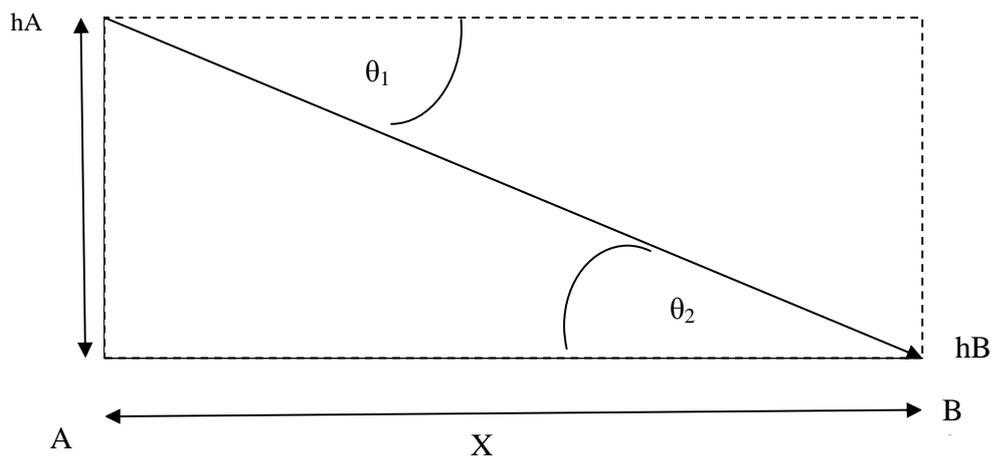


Figura III.32 Angulo de elevación enlace R4- Pulucate Emanuel

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 340$$

$$X = 3.29 \text{ Km}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{340}{3290}\right)$$

$$\theta_2 = 5.9^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en Pulucate Emanuel es de 1.87°.

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

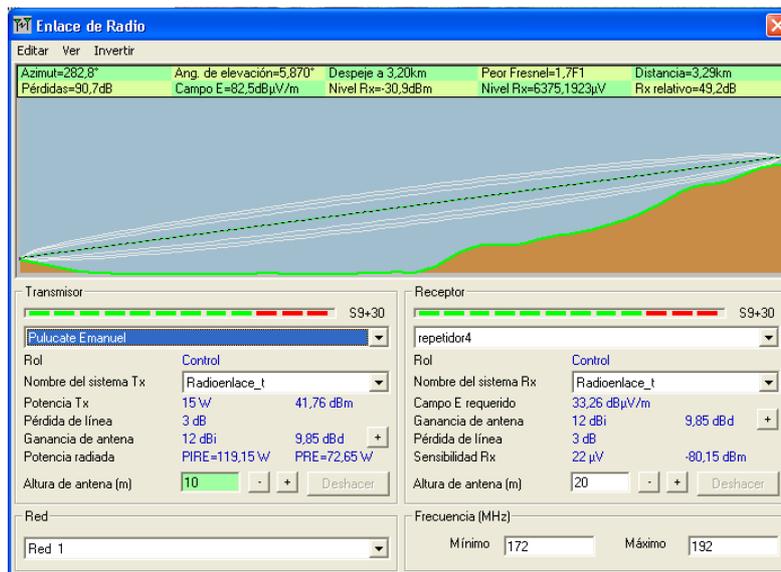


Figura III.33 Visualización enlace R4 y Pulucate Emanuel

Tabla N° III.17
Datos cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 8

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R4	1°51'51''	78°44'27''	102.8°
Pulucate Emanuel	1°52'15''	78°42'43''	282.8°

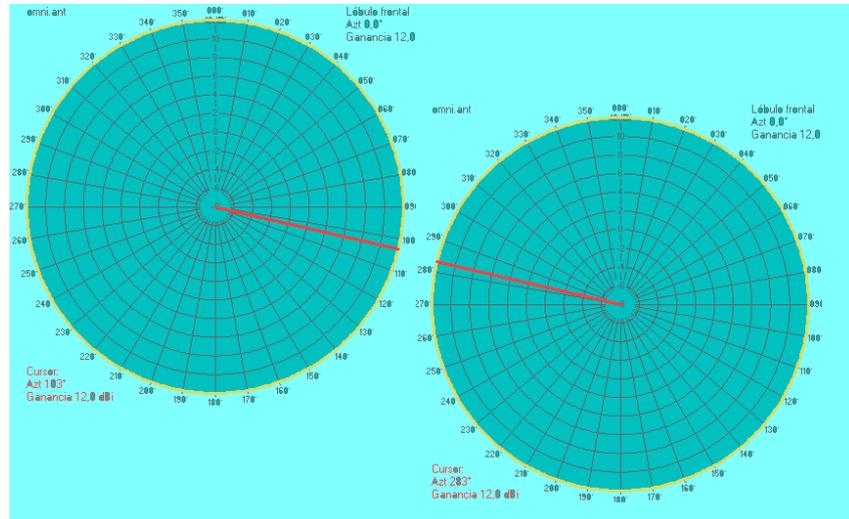


Figura III.34 Direccionamiento Azimut R4- Pulucate Emanuel

3.11.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47\text{dBm}$

Ganancia de las antenas $G(\text{dBi}) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3} \text{ GHz}$

$D_8 = 3.29 \text{ Km}$

$L_{p8}(\text{dB}) = 88$

Pérdidas adicionales de propagación

$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{ dB}$

$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{ dB}$

$L_f = \text{La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es } 1.5 \text{ dB}$

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_T = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$

$$A_{T8}=91.01$$

Sensibilidad del receptor $S(dBm) = -80.02 dBm$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 91.01$$

$$P_{RX} = -24.01$$

3.12 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R5 – SAN GISEL BAJO

En la figura III.35 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R5 y San Gisel Bajo así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.12.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

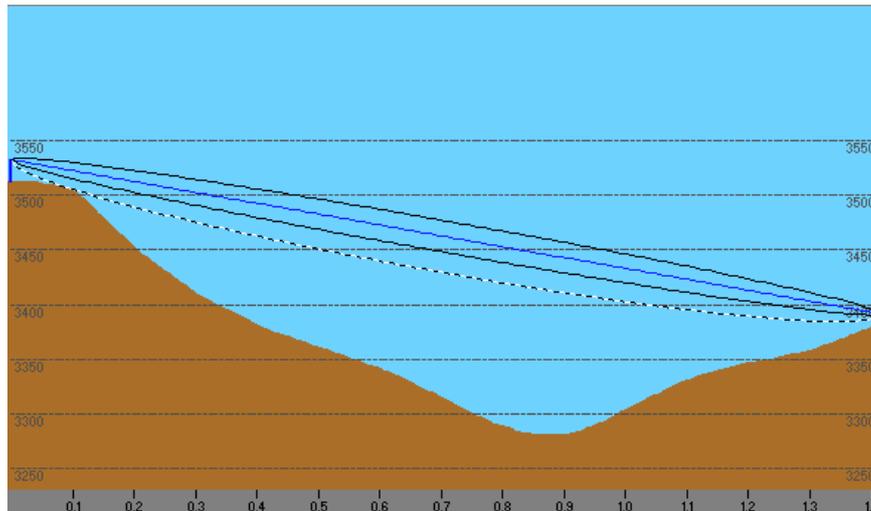


Figura III.35 Diseño del perfil Repetidor R5 – San Gisel Bajo

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.18 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que

realice el cálculo respectivo

Tabla N° III.18
Datos Enlace Repetidor R5 – San Gisel Bajo

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R5
Estación B:	San Gisel Bajo
Altura A:	3512 m.s.n.m.
Altura B:	3382m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	2.8Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3532m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3392m.s.n.m.

3.12.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.36 se muestra la repetidora R5 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en San Gisel Bajo representado por el punto B. A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

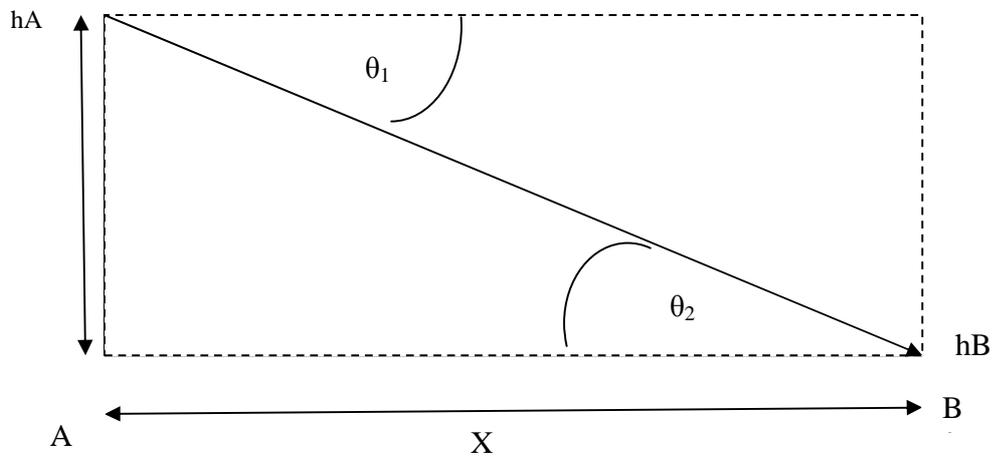


Figura III.36 Angulo de elevación enlace R5- San Gisel Bajo

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B (θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 140$$

$$X = 2.8 \text{ Km}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{140}{2800} \right)$$

$$\theta_2 = 2.86^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en San Gisel Bajo es de 2.86° .

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

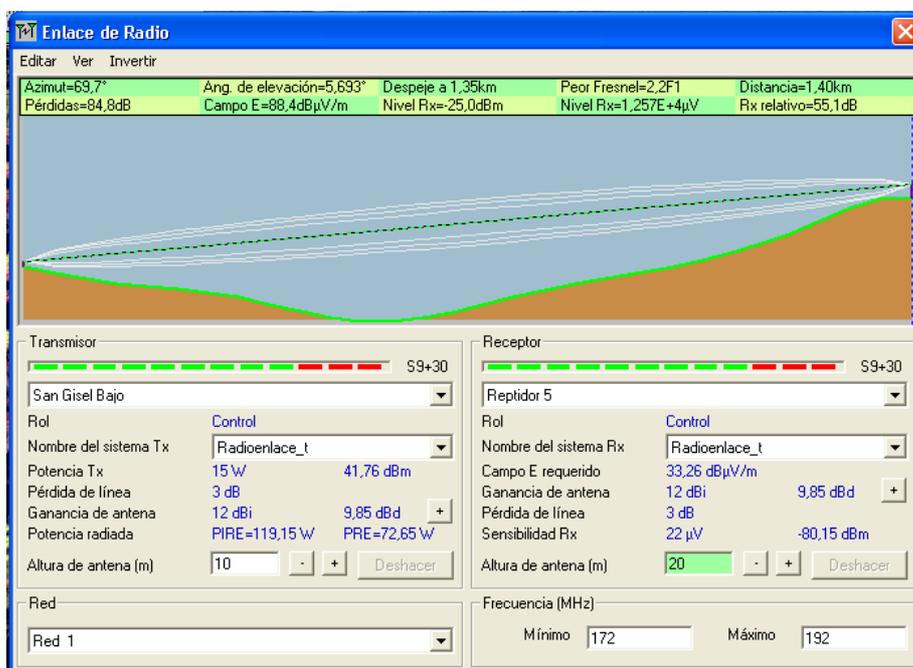


Figura III.37 Visualización enlace R5 y San Gisel Bajo

Tabla N° III.19
 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 9

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R5	1°50'50''	78°45'37''	249.7°
San Gisel Bajo	1°51'5''	78°46'19''	69.7

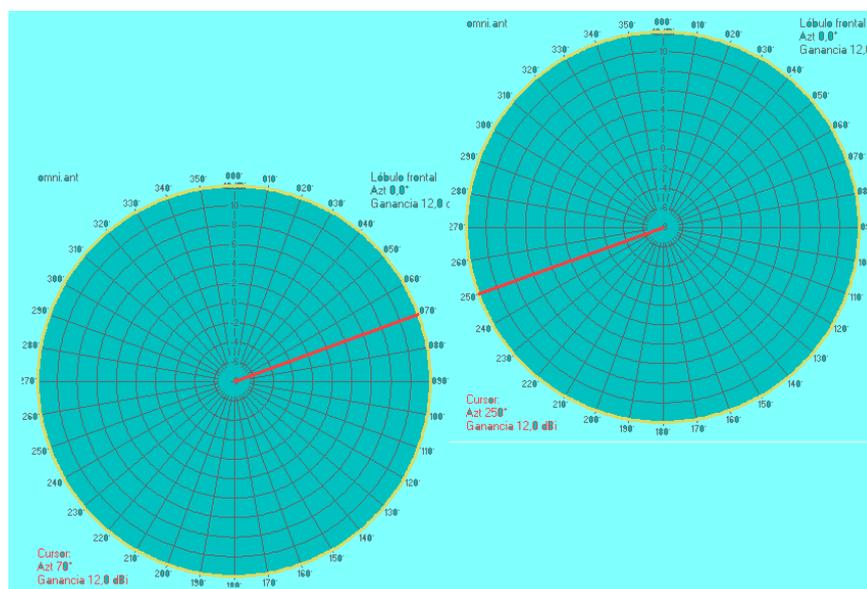


Figura III.38 Direccionamiento Azimut R5- San Gisel Bajo

3.12.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47\text{dBm}$

Ganancia de las antenas $G(\text{dBi}) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3} \text{GHz}$

$D = 1.40 \text{Km}$

$L_p(\text{dB}) = 81$

Pérdidas adicionales de propagación

$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{dB}$

$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{dB}$

$L_f = \text{La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es } 1.5 \text{ dB}$

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_T = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$

$$A_T = 84.01$$

Sensibilidad del receptor $S(dBm) = -80.02 dBm$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 84.01$$

$$P_{RX} = -17.01$$

3.13 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R5 – SAN BERNARDO

En la figura III.40 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R5 y San Bernardo así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.13.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

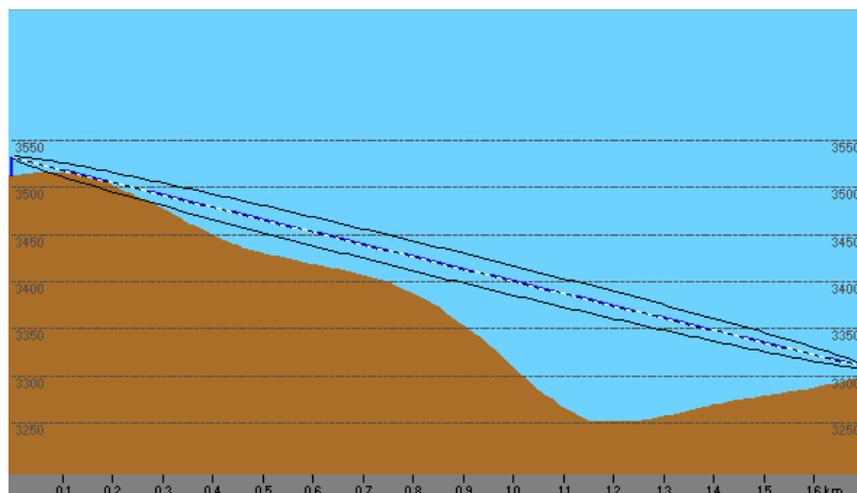


Figura III.39 Diseño del perfil Repetidor R5 – San Bernardo

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.20 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

Tabla III.20
Datos Enlace Repetidor R4 – San Bernardo

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R5
Estación B:	San Bernardo
Altura A:	3512m.s.n.m.
Altura B:	3300m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	1.68 Km
Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3532m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3310m.s.n.m.

3.13.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En la Figura III.41 se muestra la repetidora R5 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en San Bernardo representado por el punto B.

A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.

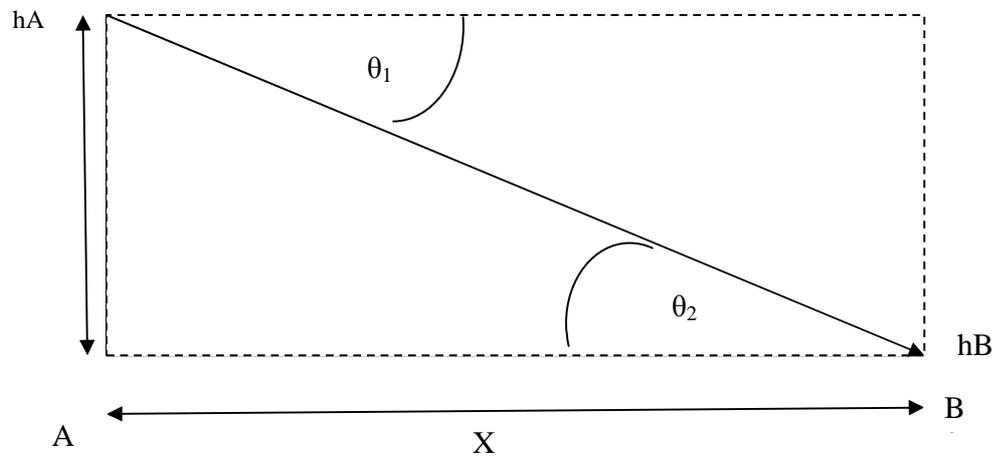


Figura III.40 Angulo de elevación enlace R5- San Bernardo

Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B (θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 222$$

$$X = 1.68 \text{ Km}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{222}{1680}\right)$$

$$\theta_2 = 7.53^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en San Bernardo es de 7.53° .

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

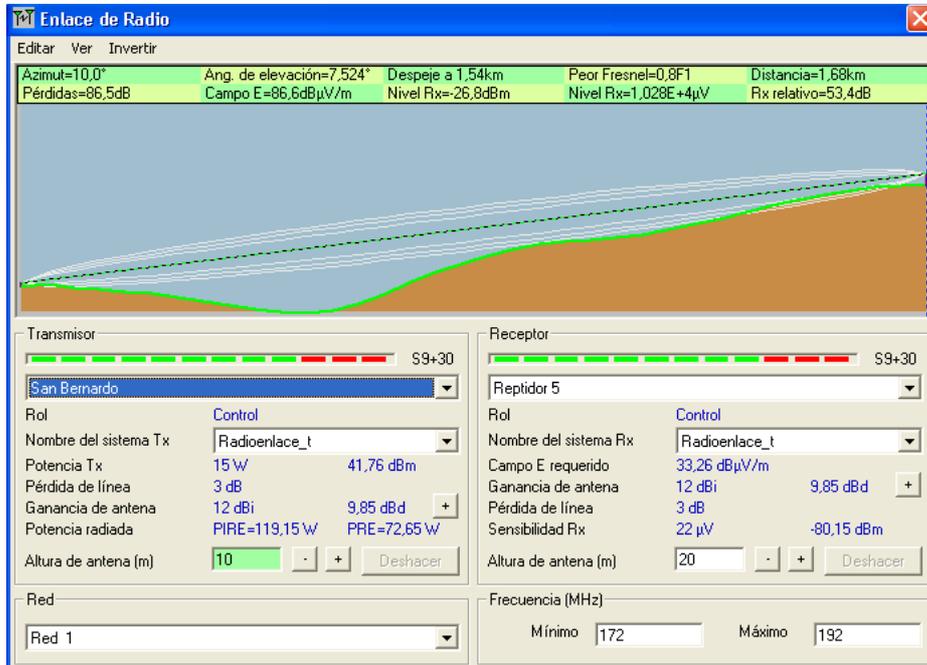


Figura III.41 Visualización enlace R5 y San Bernardo

Tabla N° III.21
 Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 10

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R5	1°50'50''	78°45'37''	190°
San Bernardo	1°51'43''	78°45'46''	10°

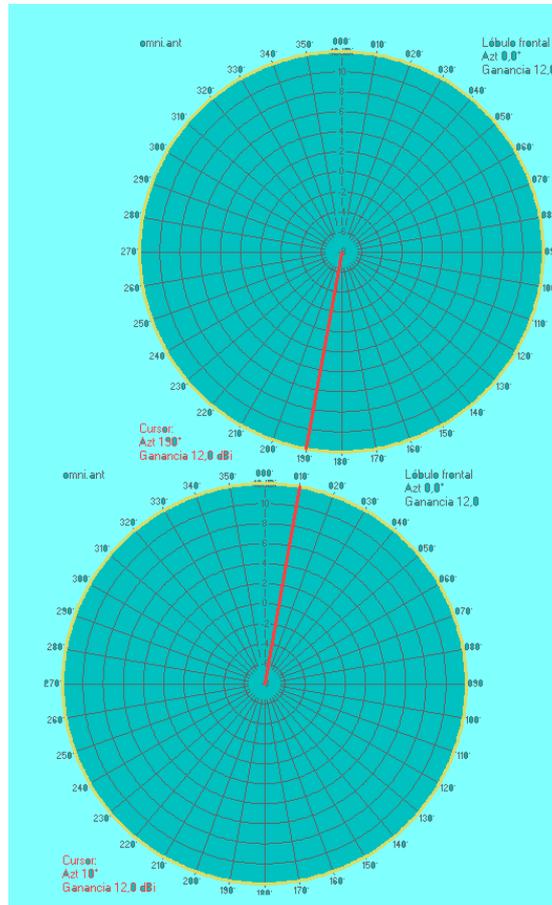


Figura III.42 Direccionamiento Azimut R5- San Bernardo

3.13.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47\text{dBm}$

Ganancia de las antenas $G(\text{dBi}) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3} \text{ GHz}$

$D = 1.68 \text{ Km}$

$$L_p(\text{dB}) = 82$$

Pérdidas adicionales de propagación

$$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{ dB}$$

$$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{ dB}$$

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

$$\text{De la ecuación 2-11: } A_T = L_p + L_f + A_{\text{lluvia}} + A_{\text{veg}}$$

$$A_T = 85.01$$

$$\text{Sensibilidad del receptor } S(\text{dBm}) = -80.02 \text{ dBm}$$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 85.01$$

$$P_{RX} = -18.01$$

3.14 DISEÑO ENLACE REPETIDOR R2 – RUMICORRAL

En la figura III.43 se detalla la distancia y altura entre la estación ubicada en el repetidor R2 y Rumicorral así como la descripción de la primera zona de fresnel.

3.14.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE

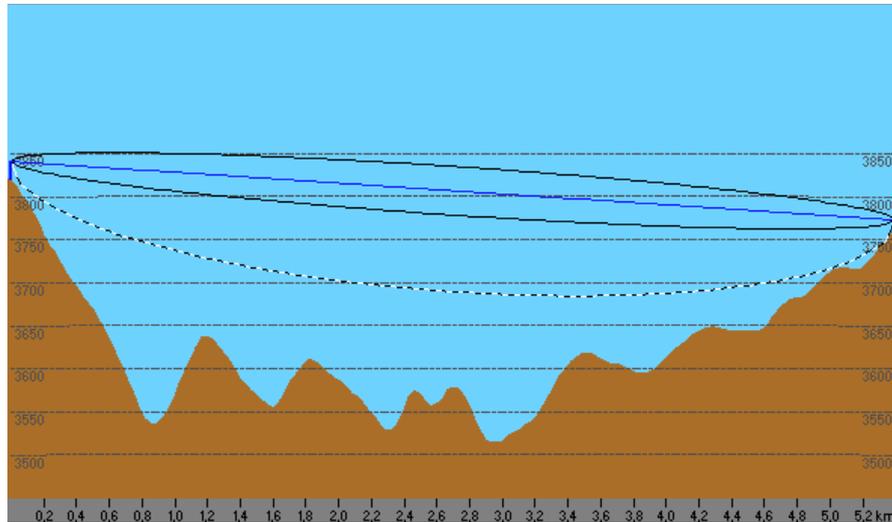


Figura III.43 Diseño del perfil Repetidor R2 – Rumicorral

(Distancia en Km Vs altura en msnm)

En la tabla III.22 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que realice el cálculo respectivo

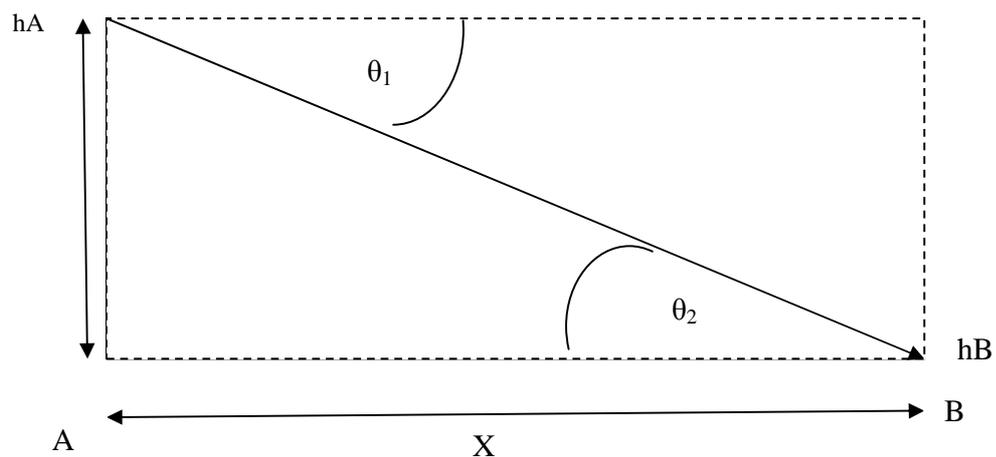
Tabla N° III.22
Datos Enlace Repetidor R2 – Rumicorral

DATOS GENERALES ENLACE 1	
Estación A:	Repetidor R2
Estación B:	Rumicorral
Altura A:	3821m.s.n.m.
Altura B:	3597m.s.n.m.
Altura torre A:	20m
Altura torre B:	10m
Distancia máxima:	5.38 Km

Frecuencia:	182.5 MHz
Altura +Antena A:	3841m.s.n.m.
Altura +Antena B:	3607m.s.n.m.

3.14.2 Cálculos del ángulo de elevación y Azimut

En el gráfico se muestra la repetidora R2 representado por el punto A y el edificio que corresponde al centro de Salud Ubicado en San Bernardo representado por el punto B. A continuación el cálculo de los respectivos ángulos de elevación para cada antena.



Mediante la función trigonométrica tangente en el ángulo correspondiente a la antena B

(θ_2) tenemos:

$$Y = hA - hB = 234$$

$$X = 5.38 \text{ Km}$$

$$\theta_1 = \theta_2$$

$$\tan \theta_2 = \left(\frac{Y}{X} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{234}{5380}\right)$$

$$\theta_2 = 2.49^\circ$$

Realizando el cálculo se obtiene que el ángulo de elevación para la antena receptora ubicada en Rumicorral es de 2.49°.

Cálculos del ángulo de Azimut

Utilizando el software para simulación se tiene:

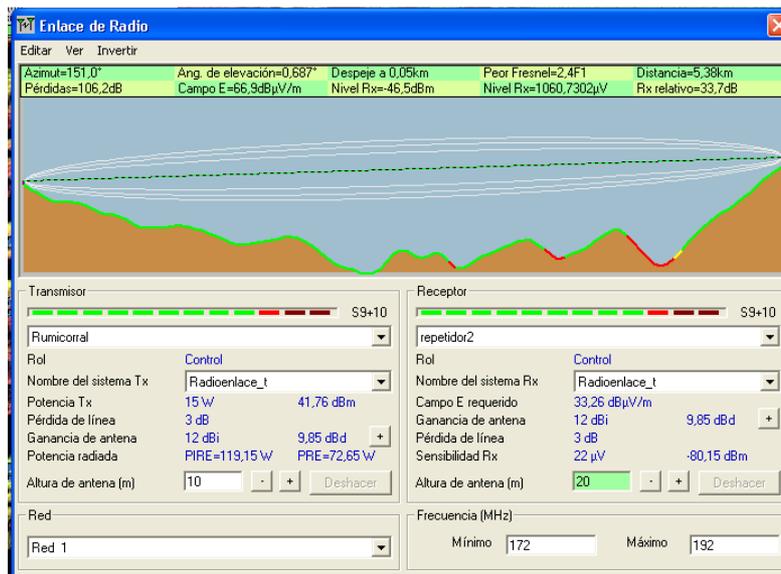


Figura III.44 Visualización enlace R2 y Rumicorral

Tabla N° III.23
Datos para el cálculo del Ángulo de Azimut Enlace 11

ESTACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		AZIMUT
	LATITUD	LONGITUD	
Repetidor R2	1°51'26''	78°47'47''	331°
Rumicorral	1°49'55''	78°48'11''	151°

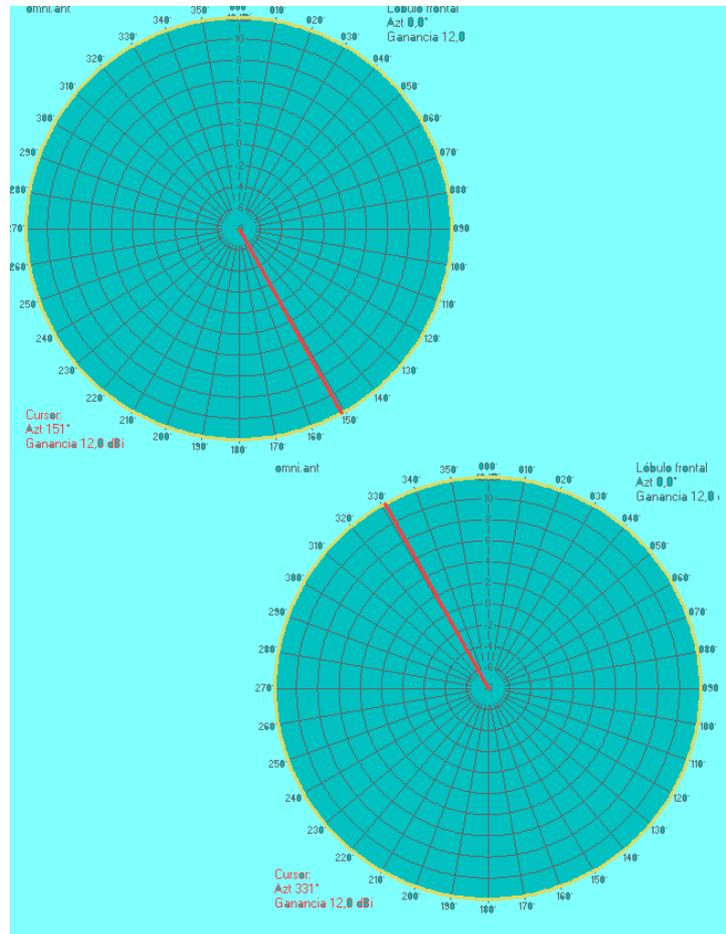


Figura III.45 Direccionamiento Azimut R2- Rumicorrall

3.14.3 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47dBm$

Ganancia de las antenas $G(dBi) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

$D = 5.38$ Km

$$L_p(\text{dB})=92$$

Pérdidas adicionales de propagación

$$A_{\text{lluvia}} = \text{Atenuación por lluvia} = 0.01 \text{ dB}$$

$$A_{\text{veg}} = \text{Atenuación por vegetación} = 1.5 \text{ dB}$$

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11:
$$A_T = L_p + L_f + A_{\text{lluvia}} + A_{\text{veg}}$$

$$A_T = 95$$

Sensibilidad del receptor
$$S(\text{dBm}) = -80.02 \text{ dBm}$$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

$$P_{RX} = 47 + 10 + 10 - 95$$

$$P_{RX} = -28$$

3.15 DISEÑO ENLACES ENTRE REPETIDORES

3.15.1 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R1 Y R3

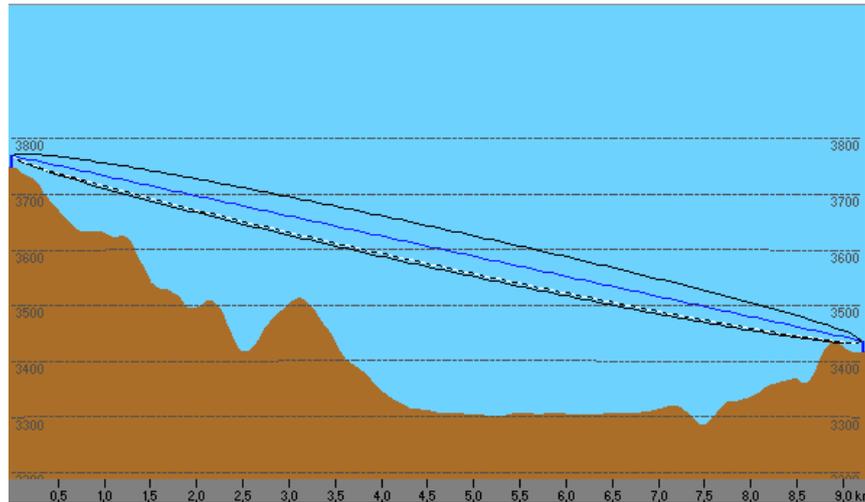


Figura III.46 Diseño del perfil Repetidor R1 – R3

3.15.2 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R1 Y R4

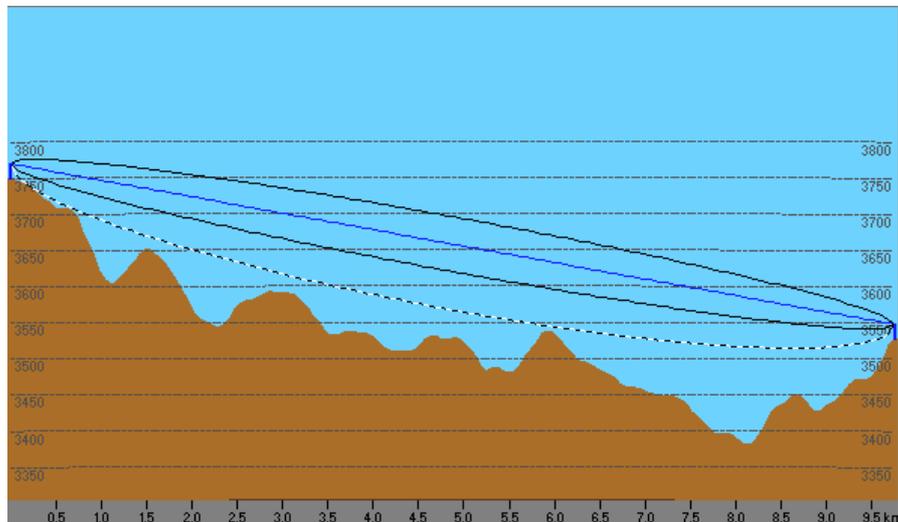


Figura III.47 Diseño del perfil Repetidor R1 – R4

3.15.3 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R5 Y R4

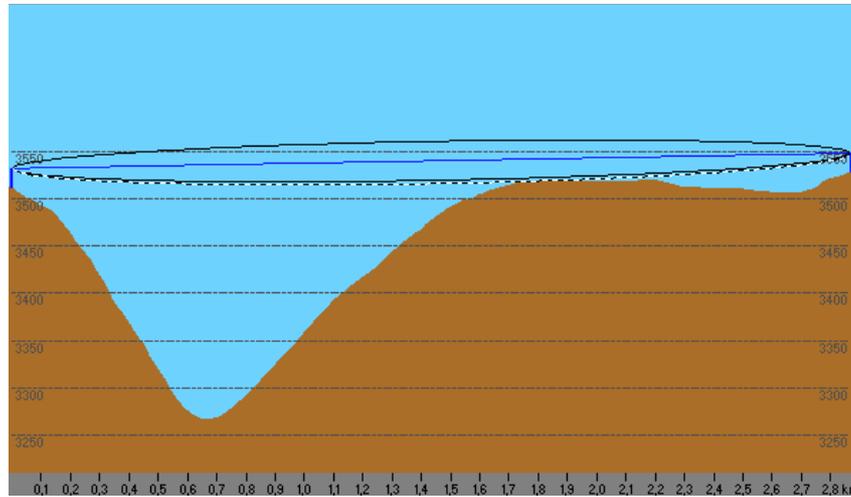


Figura III.48 Diseño del perfil Repetidor R5 – R4

3.15.4 DISEÑO DEL PERFIL DE ENLACE REPETIDOR R5 Y R2

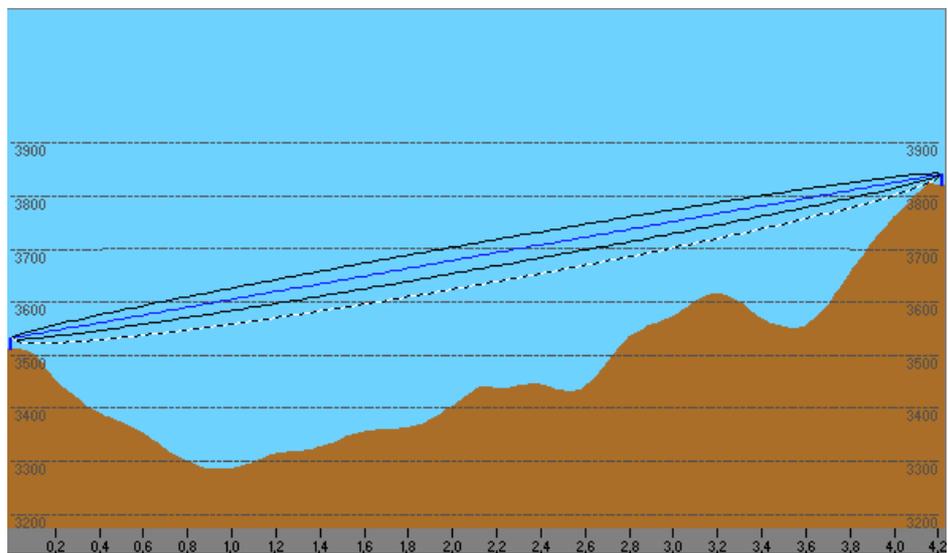


Figura III.49 Diseño del perfil Repetidor R5 – R2

En la tabla III.22 se detallan los datos generales que se ingresaron al programa para que

realice el cálculo respectivo

Tabla III.24
Datos Enlace Repetidores

	DATOS GENERALES			
Estación A:	Repetidor R1	Repetidor R1	Repetidor R4	Repetidor R5
Estación B:	Repetidor R3	Repetidor R4	Repetidor R5	Repetidor R2
Altura A: (m.s.n.m.)	3749	3749	3528	3512
Altura B: (m.s.n.m.)	3416	3528	3512	3821
Altura torre A :	20m	20m	20m	20m
Altura torre B:	20m	20m	20m	20m
Distancia máxima:	5.38 Km			4.19 Km
Frecuencia:	182.5 MHz			
Altura +Antena A:	3841m.s.n.m.	3769	3548	3532
Altura +Antena B:	3607m.s.n.m.	3548	3532	3841

3.15.5 CÁLCULO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Potencia transmitida $P_{TX} = 47\text{dBm}$

Ganancia de las antenas $G(\text{dBi}) = 10$

Pérdidas básicas de propagación en el espacio libre

Aplicando la ecuación 2-10:

$$L_p(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} D$$

Para $f = 182.5 \cdot 10^{-3}$ GHz

D_{11} Distancia repetidor 3 al repetidor 1 = 9.18 Km

D_9 Distancia repetidor 4 al repetidor 5 = 2.86Km

D_{10} Distancia repetidor 4 al repetidor 1 = 9.73Km

D_{15} Distancia repetidor 2 al repetidor 5 = 4.19Km

Pérdidas adicionales de propagación

A_{lluvia} =Atenuación por lluvia = 0.01dB

A_{veg} =Atenuación por vegetación = 1.5dB

L_f = La atenuación en el cable coaxial RG-8/U de 15m de distancia es 1.5 dB

Atenuación Total

De la ecuación 2-11: $A_T = L_p + L_f + A_{lluvia} + A_{veg}$

L_{p9} (dB)=87 del Repetidor R4 a al repetidor R5

L_{p10} (dB)=95 del repetidor R4 al repetidor R1

L_{p11} (dB)=97 del Repetidor R3 al repetidor R1

L_{p15} (dB)=90 del repetidor R2 al repetidor R5

Sensibilidad del receptor $S(dBm) = -80.02 dBm$

Potencia de recepción

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_T$$

A_{T9} =90.01 del Repetidor R4 a al repetidor R5

A_{T10} =98.01 del repetidor R5 al repetidor R1

A_{T11} =100.01 del Repetidor R3 al repetidor R1

A_{T15} =93.01 del repetidor R2 al repetidor R5

3.16 Relación potencia de recepción con la de Umbral

Cabe notar que la potencia de recepción del enlace no superan el umbral de - 80.02 dBm por lo que se deduce que teóricamente el sistema de recepción es satisfactorio.

3.17 Margen de desvanecimiento neto

La tabla II.2 muestra el porcentaje de confiabilidad del sistema y sus respectivos valores típicos de margen de desvanecimiento.

El margen de desvanecimiento real del enlace es la reserva de potencia que dispone el receptor para contrarrestar los efectos de desvanecimiento atmosféricos cualquiera que sea su origen, es decir es la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida P_{RX} y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER (denominada potencia umbral del receptor P_{UMB}).

$$FM_{neto}[dB] = P_{RX} - P_{UMB}$$

Por tanto el margen de desvanecimiento así como el porcentaje de confiabilidad de cada radio enlace se representa en la tabla 3.6

Tabla N° III.25
Resumen Cálculo radioenlaces

N°de enlace	P_{RX} (dB)	P_{UMB}	FM_{neto}	Confiabilidad (%)
1	-36.01	-80.02	44.01	99.99
2	-20.01	-80.02	60	99.99
3	-17.04	-80.02	62.98	99.99
4	-15.01	-80.02	65.01	99.99

5	-23.01	-80.02	57.01	99.99
6	-22.01	-80.02	58.01	99.99
7	-25.01	-80.02	55.01	99.99
8	-24.01	-80.02	56.01	99.99
9	-23.01	-80.02	57.01	99.99
10	-31.01	-80.02	49.01	99.99
11	-33.01	-80.02	47.01	99.99
12	-28.01	-80.02	52.01	99.99
13	-17.01	-80.02	63.01	99.99
14	-18.01	-80.02	62.01	99.99
15	-26.01	-80.02	54.01	99.99

3.18 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS NECESARIOS

Al iniciar un proceso de consulta para definir, marcas, modelos, cantidades y requerimientos técnicos de los equipos a ser adquiridos, se toman en cuenta equipos existentes buscando lograr una estandarización, es así como los equipos Motorola para bases y repetidoras serán los elementos que integren el sistema distribuido de la siguiente manera:

Para los sistemas de transmisión /recepción: Doce radios Motorola PRO 5100 (que incluyen fuente de poder de 20 Amperios marca ASTROM, antena de 4 dipolos de 10.2 dB, cable coaxial RG-8/U, conectores, etc.). Ver especificaciones técnicas en el Anexo 1

Para el sistema de repetición: CINCO repetidores modelo MTR 2000, CINCO equipos de radio enlace por UHF para repetidores modelo GR-1225; CINCO Duplexer marca Sinclair; CINCO cargadores de batería, marca ARGUS; CINCO Antenas marca Decibel, modelo DB

224B de 6 dB de ganancia, cable coaxial marca Heliax de 1/2", conectores Andrew. Ver especificaciones técnicas en el Anexo 2

3.19 ENERGIZACIÓN DE LOS EQUIPOS

El suministro de energía eléctrica para los equipos no representa ningún problema pues las estaciones donde se colocarán los radios son centros de salud que cuentan con una infraestructura adecuada con servicios básicos.

En cuanto a los equipos de repetidoras éstas estarán instaladas en torres con la infraestructura necesaria y en caso de existir ausencia de suministro energético los repetidores cuentan con baterías recargables de larga duración.

Los equipos de transmisión/recepción estarán instalados en las terrazas de los Centros de Salud ver figura III.51 y provistos de energía de 24V DC como se muestra en la figura III.52.

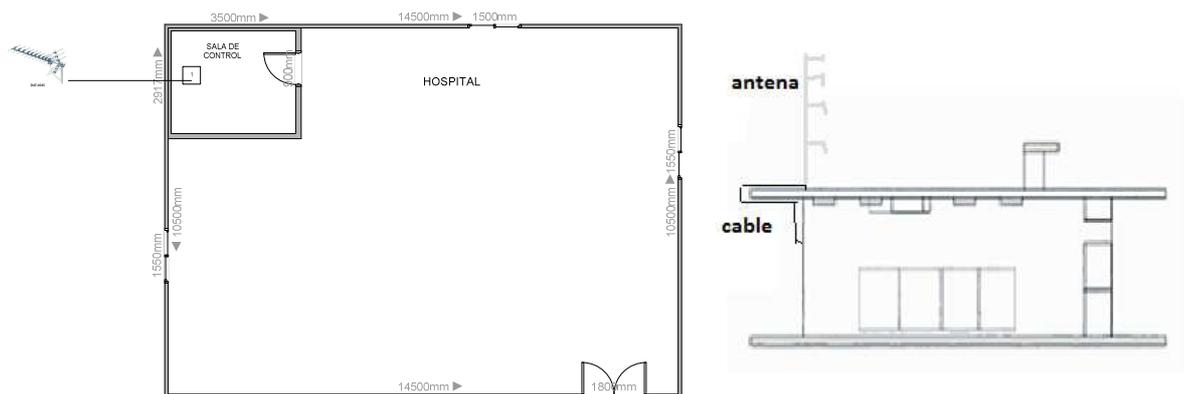


Figura III.50 Energización de equipos

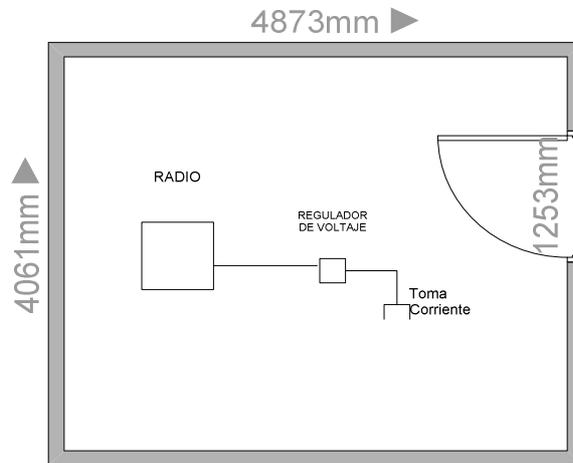


Figura III.51 Conexiones internas

3.20 OBRA CIVIL

Debido a las características irregulares del terreno de cobertura del sistema de telecomunicaciones que en su mayor parte deberá tener línea de vista entre equipos, se instalarán torres de 20m de altura donde se colocarán los repetidores.

En tanto que en las estaciones base de centro de salud se ubicarán mástiles que alcanzan los 10m de altura empotrados los techos de las estaciones receptora.

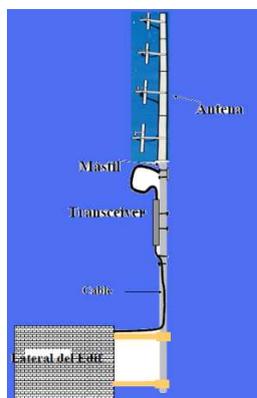


Figura III.52 Montaje de mástil vista lateral

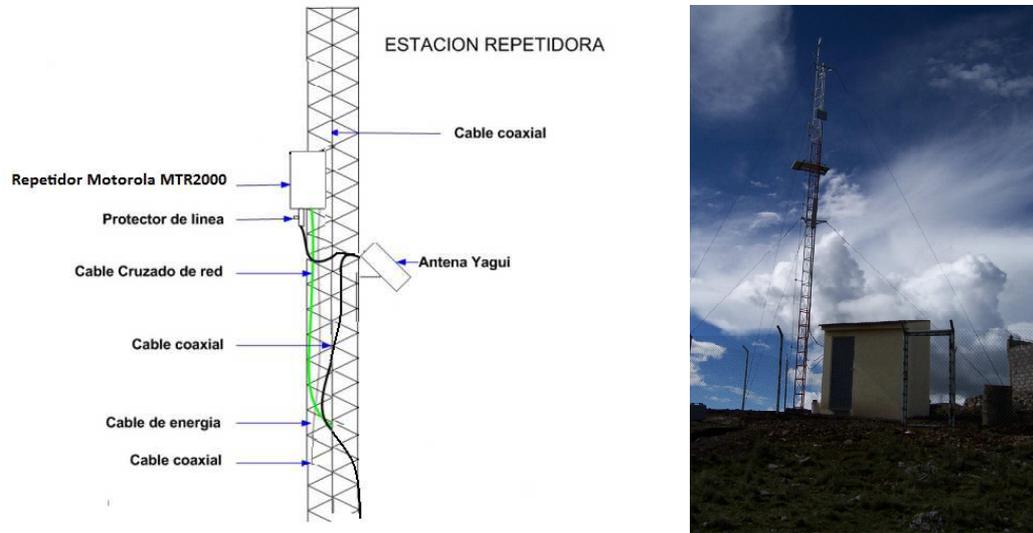


Figura III.54 Subsistema de telecomunicaciones estación repetidora

CAPÍTULO IV

ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 INVERSIONES

4.1.1 Inversiones en activos fijos

La inversión en activos fijos son los gastos por realizar en la adquisición de equipos de telecomunicaciones, obra civil, herramientas y equipo de seguridad.

Luego de cotizar precios a distintos proveedores, fueron seleccionados los precios para los activos fijos que se indican en las tablas siguientes:

4.1.2 Costos de adquisición de equipos

Tabla N° IV.1
Costos de los Equipos de telecomunicaciones

Descripción	Modelo	cantidad	V unitario	Total USD
Equipo para radio Motorola	PRO5100	12	600	7200
Equipo para Repetidor Motorola	MTR2000	5	900	4500
total				11700

Tabla N° IV.2
Costos Obra Civil

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Total USD
Torre metálica de 20m de altura	5	900	4500
Instalación de torres	5	400	2000
Total			6500

La tarifa que se debe cancelar al órgano regulador CONARTEL, por la asignación de la frecuencia Para SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN a los que corresponden los equipos Motorola del presente proyecto fueron calculados con la ecuación 5-1 que dispone el CONARTEL y se describen a continuación:

La tarifa mensual por uso de frecuencias del Servicio Móvil Terrestre en bandas entre 30 y 960 MHz, incluido el Móvil Aeronáutico (OR), Móvil Aeronáutico (R) y Radionavegación Aeronáutica, se calculará de acuerdo con la Ecuación 5-1, la cual sirve para el cálculo de la Tarifa por Uso de Frecuencias para el Servicio Móvil que se presta mediante los Sistemas Comunales de Explotación y los Sistemas Móviles Privados (Convencionales).

$$T(US \$) = K_a * \alpha_2 * \beta_2 * A * F_p$$

Ecuación 5-1

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada.

K_a =Factor de ajuste por inflación.

α_2 = Coeficiente de valoración del espectro para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso (De acuerdo a la Tabla 1).

β_2 = Coeficiente de corrección para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso.

A =Anchura de banda de la frecuencia asignada, en kHz.

F_p =Factor de propagación (De acuerdo a las Tablas 2).

El Coeficiente de valoración del espectro α_2 a aplicarse para el Servicio Móvil en bandas entre 30 y 960 MHz, no multiacceso, se detalla en la Tabla 1, Anexo 2.

Tabla N° IV.3
Tarifa anual por asignación de frecuencia

Descripción	Cantidad Anual USD	Total USD
Tarifa por asignación de frecuencia	10,00	10,00

Inversión total

Una vez conocidos los gastos anteriores sin tomar en cuenta los gastos de mantenimiento de equipos podemos sumar y saber cual es la inversión total del proyecto tabla 5.5

Tabla N° IV.4
Inversión Total

DESCRIPCIÓN	PARCIAL \$	TOTAL \$
ACTIVO FIJO		
Equipos de telecomunicaciones	11700	
Construcción de obra civil	6500	
Tarifa anual por asignación de frecuencia	10	18210
CAPITAL DE TRABAJO		
Mano de obra directa	5000	
Gastos indirectos	500	5500
Total		23710

La inversión requerida para ejecutar el proyecto de comunicación entre doce centros de Salud en el Cantón Colta es de 23710 dólares

4.2 FINANCIAMIENTO

El proyecto será totalmente financiado por el Gobierno de Ballears – Madrid a través de la Cruz Roja Ecuatoriana.

Tabla N° IV.5
Financiamiento

DESCRIPCIÓN	% PARTICIPACIÓN	TOTAL USD
Capital Propio	100	23710,00
Total Financiamiento		23710,00

4.3 EVALUACIÓN SOCIAL

El proyecto Factible a ser implementado servirá para que los doce Centros de Salud pertenecientes al cantón Colta provincia de Chimborazo tengan acceso a un sistema de comunicaciones que les permita atender emergencias médicas logrando de esta manera optimizar los recursos humanos y materiales existentes. Permitiendo que los usuarios de este sistema tengan un control sobre las operaciones que diariamente realizan sin tener que movilizarse hacia la zona donde son requeridos evitando de esta forma costos de movilización y optimizando el tiempo de trabajo.

CONCLUSIONES

- El proyecto realizado es técnica y económicamente factible basado en los equipos, diseño de red y criterios tomados en cuenta para establecer el sistema de Telecomunicaciones, con la aceptación de la entidad financiera para dar inicio a la implementación
- Gracias al análisis topográfico del terreno realizado en el Estudio Técnico se determinan líneas de vista entre todos los puntos de enlace para optimizar los equipos empleados.
- En el mercado de las telecomunicaciones existen diversos equipos que se adaptan a las condiciones que establezca el enlace.
- Se puede concluir que el software RADIO MOBILE es una herramienta muy útil en el diseño de enlaces que no tengan en cuenta la ionosfera, como es el caso de comunicaciones vía de radiofrecuencia garantizando el correcto diseño de los enlaces. Sin embargo, al hacer uso de esta poderosa herramienta gratuita se deben tener puntos de comparación en cuanto a las alturas del mapa cargadas para realizar un enlace, esto debido a que es muy común que los datos de elevación se dañen generando inconsistencias en los resultados obtenidos.
- Al realizar la elección de la mejor zona para colocar los equipos VHF para comunicaciones se tuvo en cuenta el análisis de mejores sitios dentro de la zona a ser cubierta obteniéndose diversos puntos geográficos para ubicar los equipos, seleccionando solo coordenadas que poseen actualmente la infraestructura necesaria para ubicar los enlaces

RECOMENDACIONES

- Respetar las normas técnicas de la ubicación de los puntos de enlace para mantener la zona de Fresnel logrando cobertura de los enlaces que teóricamente son viables.
- Para la implementación del sistema utilizar los equipos analizados que cumplen con las normas técnicas y que optimizan el funcionamiento de los enlaces
- Dentro de las consideraciones de instalación se recomienda realizar las pruebas previas de los equipos, antes de enviar los equipos al campo facilita la detección de fallas.

RESUMEN

El objetivo de la investigación es realizar el diseño de un sistema de telecomunicaciones para interconectar doce centros de salud distribuidos en el cantón Colta provincia de Chimborazo bajo la supervisión de la Cruz Roja Ecuatoriana.

Para el diseño de la red se realizó el levantamiento de los perfiles topográficos partiendo de las coordenadas de los puntos a enlazar utilizando el GPS (Sistema de posicionamiento global). Los Centros de Salud se encuentran disgregados en la zona, con distancias considerables; según el levantamiento topográfico el cantón presenta un relieve irregular con varias elevaciones de terreno por tal razón los centros médicos no poseen líneas de vista directa hacia la estación base ubicada en el Hospital General de Cajabamba, se buscaron puntos estratégicos para ubicar los repetidores y llegar a cada Centro de Salud. Se utilizó el software Radio Mobile para verificar las líneas de vista y el alcance global para cada uno de los enlaces, se realizó el cálculo de los enlaces utilizando parámetros y especificaciones técnicas de los equipos utilizados verificando que cumplan con los reglamentos otorgados por la SENATEL; los equipos utilizados son de marca Motorola y cumplen con los parámetros analizados como frecuencia y potencia de radiación.

De la investigación realizada se consiguió diseñar el sistema de telecomunicaciones que trabajará a una frecuencia de 182.5 MHz siendo esta frecuencia licenciada para la Cruz Roja Ecuatoriana en Chimborazo.

Se recomienda a la Cruz Roja Ecuatoriana se implemente el proyecto como un mecanismo de comunicación y supervisión de las actividades entre los Centros de Salud

SUMMARY

The aim of the research is to design a telecommunications system for interconnecting distributed twelve healthcare centers in Colta Chimborazo province under the supervision of the Ecuadorian Red Cross.

For the design of the network was performed topographic survey of the profiles based on the coordinates of the points to bind using the GPS (Global Positioning System). Health centers are distributed in the area, with considerable distances, according to survey the county has a rugged terrain with several elevations of land for this reason the medical centers do not have direct sight lines to the base station located in the Cajabamba General Hospital, sought to locate strategic points repeaters and reach each Health Centre. Software was used to verify Mobile Radio sight lines and global reach for each of the links, the calculation was performed using links parameters and specifications of equipment used to verify that comply with the regulations issued by the SENATEL; equipment used are Motorola brand and meet the parameters analyzed as frequency and power of radiation. From the initial research succeeded in designing the telecommunications system that operates at a frequency of 182.5 MHz is frequently being licensed to the Ecuadorian Red Cross in Chimborazo.

It is recommended that the Ecuadorian Red Cross will implement the project as a mechanism for reporting and monitoring of activities between the Health Centers.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

HUIDOBRO. José Manuel “Redes de Comunicaciones”. España. Paraninfo S.A. 1992.

Páginas 53-105

REEMAN. Roger L. “Ingeniería de sistemas de Telecomunicaciones”. México. Limusa.

1992. Páginas 118-220

TOMASI. Wayne “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”. México, Prentice Hall.

Páginas 377-410

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

1. ANTENAS

<http://www.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/default.html>

<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Antenas%20y%20Propagacion/Propagacion.pdf>

(2009-12-15)

2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS

<http://www.motorola.com/radiosolutions>

(2010-02-15)

3. RADIOENLACES

http://coimbraweb.com/documentos/lineas/practico_radioenlace.pdf

http://www.netkrom.com/es/fresnel_zone.html

(2010-02-20)

4. REGLAMENTOS PARA RADIOENLACES CONATEL, SENATEL

http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php

(2009-11-30)

5. SOFTWARE RADIO MOBILE

<http://www.cplus.org/rmw/english.html>

(2009-12-12)

ANEXOS

ANEXO 1
EQUIPO MOTOROLA
PRO5100

PRO5100™

Radio Móvil Profesional



Beneficios

15 zonas troncalizadas con 16 grupos de conversión. Mejora la eficiencia de cualquier sistema LTR mediante la operación troncalizada.

Funciones de señalización MDC

Las funciones únicas de señalización MDC de Motorola incluyen llamada selectiva y alerta de llamada. El radio móvil PRO5100 también ofrece verificación de radio, identificación de llamada (PTT-ID), e inhibición selectiva de radio para una comunicación más eficiente del grupo de trabajo.

Pantalla de 14 Caracteres Alfanuméricos

Iconos fáciles de comprender, brindan información sobre el estado de funciones tales como rastreo, alta / baja potencia y fuerza de la señal recibida.

Rastreo con Doble Prioridad

Use esta función para situaciones donde necesita supervisar uno o dos grupos de trabajo con mayor frecuencia que a otros grupos.

Escalart

Cuando recibe una llamada selectiva o alerta de llamada, el sonido aumenta gradualmente hasta que la llamada es respondida.

Alarma de Emergencia

Un botón del radio puede ser programado para notificar al operador sobre una situación de emergencia.

Verificación de Radio

Le permite conocer si el radio está en el aire y dentro del área de cobertura sin incomodar al usuario.

Ideal para organizaciones con comunicaciones estándares, el radio PRO5100 de Motorola provee un funcionamiento sencillo y de alta calidad.

El sistema de señalización le permite llamar a individuos o grupos de trabajo, identificar a la persona que llama, notificar a otros que usted está tratando de comunicarse cuando ellos están fuera de sus vehículos, o mandar una solicitud de ayuda en situaciones de emergencia. Eficiente y rentable, el trunking LTR le ofrece un rango más amplio de llamadas, un acceso de canal más rápido, una mayor privacidad y una mayor capacidad de usuarios y grupos de conversión. El práctico radio móvil PRO5100 ofrece un grupo de ventajas para ayudarlo a alcanzar sus objetivos.

Características:

- 64 canales convencionales
- 15 zonas troncalizadas con 16 grupos de conversión cada una
- Identificación de Llamada PTT-ID (envío / recepción)
- Alerta de Llamada (envío / recepción)
- Llamada Selectiva de Voz (envío / recepción)
- Verificación del Radio (envío / recepción)
- Inhibición Selectiva del Radio (recepción)
- Emergencia (envío)
- Señalización Quick-Call II (envío / recepción)
- Zonificación
- Monitoreo
- Rastreo con Doble Prioridad
- Pantalla de 14 Caracteres Alfanuméricos
- Bloqueo de Canal Ocupado
- Limitador de Tiempo de Transmisión
- Eliminación de Canal no Deseado
- Botones Intercambiables
- CSQ / PL / DPL / INV-DPL
- Puerto para Tarjetas Opcionales

ANEXO 2
EQUIPO REPETIDOR
MOTOROLA MTR2000

Repetidor MTR2000

Profesional

HOJA DE ESPECIFICACIONES



FUNCIONES Y BENEFICIOS

Proporciona flexibilidad incorporable en un diseño compacto

- Operación analógica en sistemas convencionales
- Diseño basado en software que permite agregar aplicaciones futuras al sistema
- Modelos de VHF con potencia variable de 100-25 Vatios, 40-1 Vatios y 20-1 Vatios
- Modelos de UHF con potencia variable de 100-25 Vatios, 40-2 Vatios y 20-2 Vatios
- Dimensiones compactas, 5 tornillos de 12.2 cm. (5.25") sellan eficientemente el control espacio del sitio

- Espaciamento programable de canal de 12.5 o 25/30 kHz

- Configuración estándar 21A de montaje en bastidor de 46 cm. (18")

- Peso ligero (16 kg / 40 lbs.)

Reduce el tiempo de instalación y mantenimiento

- Programación y pruebas de diagnóstico realizadas mediante un computador personal
- Módulos funcionales independientes: Unidades reemplazables en campo (RRU)
- El diseño basado en software simplifica las actualizaciones
- Fácil acceso a los puertos de la estación

Contribuye a maximizar el tiempo de operación del sistema

- Diseño basado en microprocesadores con capacidad integrada DSP
- Fuente de alimentación conmutable que funciona en una amplia gama de voltajes y frecuencias
- Software de programación RSS con diagnóstico y medición
- Módulos funcionales independientes: Unidades reemplazables en campo (RRU)



Repetidor/Estación Base MTR2000 de 100 Watts
Fuente de alimentación conmutable estándar

Repetidor/ Estación Base MTR2000 disponible para Sistemas Convencionales (Operación Local, Control Remoto por Tonos, Selección Spectra-TAC), Sistemas Trunking (SMARTNET, SmartZone) y servicio continuo.

REPETIDORES MTR2000

GENERAL	VHF				UHF			
	Opción de Retorno del Emisor	Opción de Retorno del Emisor	Salida de Potencia RF	Opción de Salida del Receptor	Opción de Retorno del Emisor	Salida de Potencia RF	Opción de Salida del Receptor	
Conexión de Antenas	2087	2168 (12-17.6MHz)	20-1	2118 (12-17.6MHz)	2167 (20-47.5MHz)	20-1	2120 (20-47.5MHz)	
SMARTFIBRE™ Tecnología de Antenas	2087	2168 (12-17.6MHz)	20-1		2167 (20-47.5MHz)	20-1		
Inter-Canales™ Tecnología de Antenas	211	2168 (12-17.6MHz) (12-17.6MHz)	100-20		2167 (20-47.5MHz) (20-47.5MHz)	100-20		
Repetición de onda	12.8 MHz / 20.8 MHz / 20.8 MHz				12.8 MHz / 20.8 MHz			
Módulo de Modulo	78864 - Baseband, 78710 - Receiver							
Módulo de Procesamiento	Power 12							
Clasificación de Temperatura	Industrial				Rango de Temperatura			
Módulo de Opciones	Simplex / Duplex / Duplex				Características de Antenas			
Volaje AC de Entrada	85-264VAC, 47-100Hz				Opciones de Alimentación			
					18.1 VDC (Batería de 18.1V NiMH)			
					24.0 VDC (Batería de 100mAh)			

Dimensiones	Peso	Dimensiones	Peso
Tamaño del Emisor y Receptor	121 x 88 x 47 mm (4.77 x 3.46 x 1.85 pulg.)	18 kg (39.6 lb.)	
Cable de Antenas	Cable de antena de 107-740 MHz de 100 mm (39 x 21 x 20 pulg.)	10 kg (** 22 lb.)	Receptor Modulo de 107-740 MHz de 100 mm (39 x 21 x 20 pulg.)
Cable de Antenas de 407-470 MHz	Cable de antena de 407-470 MHz de 100 mm (39 x 21 x 20 pulg.)	10 kg (** 22 lb.)	Receptor Modulo de 407-470 MHz de 100 mm (39 x 21 x 20 pulg.)
Cable de Antenas de 407-470 MHz	Cable de antena de 407-470 MHz de 100 mm (39 x 21 x 20 pulg.)	10 kg (** 22 lb.)	Receptor Modulo de 407-470 MHz de 100 mm (39 x 21 x 20 pulg.)

Tamaño de configuración estándar de la estación de repetición: 18 kg (39.6 lb.) con un módulo de procesamiento de onda. Tamaño de configuración estándar de la estación de repetición: 18 kg (39.6 lb.) con un módulo de procesamiento de onda.

TRANSMISOR	VHF	UHF
Peso cuando - 20Voltios	103-176 MHz	407-470 MHz
Peso cuando - 40Voltios	103-176 MHz	407-470 MHz
Peso cuando - 100 Voltios	103-176 MHz, 103-176 MHz	407-470 MHz, 407-470 MHz
Ancho de banda de salida (Pico a pico)	Pico a pico de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz) de un canal a 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz)	
Inyección de onda de salida	80 Ohms	
Estabilidad de frecuencia (para Variación de Temperatura y Voltaje)	±0.001% (Referencia Estándar)	
Amplitud de onda de salida	40 dB para 40 Hz, 100 Hz y 70 dB para 1000 Hz	
Bandas de Modulo (FM)	12.8 MHz	
Bandas de Modulo (FM)	20.8 MHz	
Estabilidad de Antenas	Variable de 40 Ohms a 2 Ohms	
Amplitud de onda de salida de Repetición y Modulo de salida	80 dB	
Características de Salida FM (FM por de Modulo de salida)	Ancho de banda de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz)	
Bandas de Modulo (FM)	12.8 MHz	
Bandas de Modulo (FM)	20.8 MHz	
Respuesta de Antenas	±0.1 dB de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz) de un canal a 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz) de un canal	
Modulo de salida de onda	Modulo de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz)	
Bandas de Modulo de salida de onda	12.8 MHz, 20.8 MHz	
Bandas de Modulo de salida de onda	12.8 MHz, 20.8 MHz	

POTENCIA DE ENTRADA (VARIA SEGUN CADA OPCION)

	Opciones de Alimentación (Para Repetición)
Linea AC (12 Voltios/20 Voltios)	18 VDC (Opción 20V)
20V - En Repetición	(107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz)
20V - Transmisión	(107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz)
	18 VDC (Opción 20V)
20V - En Repetición	(107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz)
20V - Transmisión	(107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz) (107-176 MHz)

Aplicación Industrial Compañía Tipo 7886X 100-100 Hz. Nota: Dependiendo de la configuración de la estación de repetición, el peso puede variar. Para mayor información consulte con el representante de Motorola.

RECEPTOR	VHF	UHF
Frecuencia de Salida de onda	103-176 MHz	407-470 MHz
Frecuencia de Conversión	103-176 MHz, 103-176 MHz	407-470 MHz, 407-470 MHz
Ancho de banda del Receptor de onda de salida	40 MHz	
Características de Salida de onda de salida	80 dB	
Estabilidad de 10/20 Hz a 12.8 MHz	80 dB	
Estabilidad de 10/20 Hz a 20.8 MHz	80 dB	
Ancho de banda del receptor de onda de salida (Modulo de salida de onda)	100 Hz	
Estabilidad de Frecuencia (para Variación de Temperatura y Voltaje)	±0.001% (Referencia Estándar)	
Frecuencia de onda de salida de onda de salida	80 dB (100 Hz)	
Frecuencia de onda de salida de onda de salida	80 dB	
Frecuencia de onda de salida de onda de salida	80 dB	
Respuesta de Antenas	±0.1 dB de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz) de un canal a 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz) de un canal	
Dimensiones de Antenas	Modulo de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz)	
Modulo de salida de onda	Modulo de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz)	
Bandas de Modulo de salida de onda (FM por de Modulo de salida)	Tamaño de 100 Hz a 1000 Hz (100 Hz a 1000 Hz)	
Bandas de Modulo de salida de onda	12.8 MHz	
Bandas de Modulo de salida de onda	20.8 MHz	
Inyección de onda de salida	80 Ohms	

APROBACION FCC (VHF / UHF)

Rango de Frecuencia	Tipo	Clasificación de Salida de onda	Partes de Modulo de salida de onda
103-176 MHz / 407-470 MHz	Transmisor	20-1 / 20-2	AB2-HFC-176 / AB2-HFC-470
103-176 MHz / 407-470 MHz	Transmisor	20-1 / 20-2	AB2-HFC-176 / AB2-HFC-470
103-176 MHz / 407-470 MHz	Transmisor	100-20 / 100-20	AB2-HFC-176 / AB2-HFC-470
103-176 MHz / 407-470 MHz	Transmisor	100-20 / 100-20	AB2-HFC-176 / AB2-HFC-470
103-176 MHz / 407-470 MHz	Receptor	100	AB2-HFR-176 / AB2-HFR-470



motorola.com/radiosolutions

MOTOROLA y el logotipo de Motorola son marcas registradas de Motorola en los Estados Unidos y en otros países. Motorola es una marca registrada de Motorola. © Motorola, Inc. 2008. UJA478270 - 001 10/08

ANEXO 3
TARIFACIÓN DE SISTEMAS DE
RADIOFRECUENCIA

CONATEL

1. **Definición**
2. **Requisitos de Concesión**
3. **Tarifas**

1. DEFINICIONES

Servicio de Radiocomunicación.- Servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

Sistema de Radiocomunicación.- Es el conjunto de estaciones radioeléctricas fijas y móviles establecidas para fines específicos de telecomunicación en condiciones determinadas.

Los sistemas de radiocomunicación se clasifican en:

- a) Sistemas privados; y,
- b) Sistemas de explotación.

Sistemas Privados.- Son aquellos que están destinados para uso exclusivo del usuario. Se considerarán también sistemas privados los sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad. Se prohíbe expresamente alquilar el sistema a terceras personas.

Sistemas de Explotación.- Son aquellos que están destinados a dar servicio al público en régimen de libre competencia. Estos sistemas bajo ningún punto de vista serán tratados como sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad.

Estas definiciones se aplican a sistemas de cobertura en la bandas de 3 MHz a 512 MHz.

2. REQUISITOS CONCESIÓN

PERSONA JURÍDICA

Para obtener la concesión de frecuencias para operar un sistema de radiocomunicación, el solicitante deberá presentar en la SENATEL los siguientes requisitos:

Información Legal

1. Solicitud dirigida al señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones, detallando el tipo de servicio al que aplica; e incluir el nombre y la dirección del representante legal, Copia de la Cédula de Ciudadanía del Representante Legal.
2. Para ciudadanos ecuatorianos, copia del Certificado de votación del último proceso electoral del Representante Legal.
3. Registro Único de Contribuyentes (R.U.C.).
4. Nombramiento del Representante Legal, debidamente inscrito en el Registro Mercantil.
5. Copia certificada de la escritura constitutiva de la compañía y reformas en caso de haberlas.
6. Certificado actualizado de cumplimiento de obligaciones otorgado por la Superintendencia de Compañías o Superintendencia de Bancos, según el caso, a excepción de las instituciones estatales.

7. Fe de presentación de la solicitud presentada al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del representante legal, a excepción de las instituciones estatales (original).
8. En el caso de Compañías o Cooperativas de transporte, deben presentar el Permiso de Operación emitido por la autoridad de transporte competente (Resol. 632-22-CONATEL-2004). Otros documentos que la SENATEL solicite.

Información Financiera

1. Certificado actualizado de no adeudar a la SENATEL.
2. Certificado de no adeudar a la SUPTEL.

Información Técnica

1. Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios disponibles en la página Web del CONATEL, suscritos por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, con licencia profesional vigente en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE) y registrado para tal efecto en la SENATEL; debe adjuntar copia de la mencionada licencia.
2. En caso de necesitar la instalación de estaciones repetidoras, adjuntar copia del Contrato de Arrendamiento del Terreno o Copia de la Escritura del inmueble que acredite el derecho de propiedad del solicitante, e indicar las dimensiones.

NOTA:

- Las copias simples y/o certificadas deben ser legibles;
- Las copias certificadas se entiende como copias notariadas o certificadas por la autoridad competente;
- El nombramiento del representante legal debe estar inscrito en el Registro Mercantil; excepto en los casos que no exista esta dependencia, para lo cual se hará dicha inscripción en el Registro de la Propiedad, en el Libro Mercantil; y,
- En caso de ciudadanos extranjeros que residan en el país, deberá entregar una copia de la cédula de identidad o del pasaporte con la respectiva visa.

PERSONA NATURAL

Para obtener la concesión de frecuencias para operar un sistema de radiocomunicación, el solicitante deberá presentar en la SENATEL los siguientes requisitos:

Información Legal

1. Solicitud dirigida al señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones, detallando el tipo de servicio al que aplica; e incluir el nombre y la dirección del solicitante.
2. Copia de la Cédula de Ciudadanía.
3. Para ciudadanos ecuatorianos, copia del certificado de votación del último proceso electoral.
4. Copia del Registro Único de Contribuyentes (R.U.C.).
5. Fe de presentación de la solicitud presentada al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del solicitante (original).
6. Otros documentos que la SENATEL solicite.

Información Financiera

7. Certificado actualizado de no adeudar a la SENATEL.
8. Certificado de no adeudar a la SUPTEL.

Información Técnica

9. Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios disponibles en la página Web del CONATEL, suscrito por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, con licencia profesional vigente en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE) y registrado para tal efecto en la SENATEL; debe adjuntar copia de la mencionada licencia.
10. En caso de necesitar la instalación de estaciones repetidoras, adjuntar copia del Contrato de Arrendamiento del Terreno o Copia de la Escritura del inmueble que acredite el derecho de propiedad del solicitante, e indicar las dimensiones.

NOTA:

- Las copias simples y/o certificadas deben ser legibles;
- Las copias certificadas se entiende como copias notariadas o certificadas por la autoridad competente;
- En caso de ciudadanos extranjeros que residan en el país, deberá entregar una copia de la cédula de identidad o del pasaporte con la respectiva visa.

TARIFAS

De acuerdo con el reglamento de Derechos de Concesión y tarifas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico.

Del Ámbito de Aplicación

Artículo 1.- Los derechos y tarifas establecidos en el presente Reglamento se aplicarán para el pago por la concesión, siempre que no existan procesos públicos competitivos o subastas públicas de frecuencias y por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, respectivamente.

Las frecuencias necesarias para el Servicio Móvil Marítimo serán explotadas por la Armada Nacional; y la concesión de frecuencias para los medios, sistemas y Servicios de Radiodifusión y Televisión, se regirán por la Ley de Radiodifusión y Televisión, y serán otorgadas por el CONARTEL.

De los Términos y Definiciones para el presente Reglamento

Artículo 2.- Las definiciones de los términos técnicos de telecomunicaciones serán las establecidas en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, en el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, en el Presente Reglamento, en el Reglamento de Radiocomunicaciones, en el Plan Nacional de Frecuencias, en los Reglamentos Específicos de los Servicios de Telecomunicaciones, y en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

DE LAS TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS

De los factores K_a , α_n y β_n .

Artículo 3.- El valor del Factor de Ajuste por Inflación (K_a) podrá ser revisado por el CONATEL luego de un estudio técnico presentado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones siempre que lo estime conveniente, en el transcurso del primer mes de cada año y deberá ser menor que el índice inflacionario del año anterior.

El valor del Coeficiente de Valoración del Espectro (α_n) y del Coeficiente de Corrección (β_n) para los distintos servicios y bandas de frecuencias será fijado por el CONATEL, cuando éste lo determine, en base de un estudio de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, que incluya las consideraciones necesarias, como se determina en la definición de dichos coeficientes. El subíndice n es un número natural.

El coeficiente α_n es un factor que será definido al inicio de un período de concesión y no podrá ser incrementado durante ese período. El coeficiente α_n podrá disminuirse dentro de un período de concesión previa aprobación del CONATEL. En caso de que un sistema opere en bandas con diferentes α_n se aplicará el mayor valor de éste.

Cuando el CONATEL determine una variación en el coeficiente β_n , en una zona geográfica, éste será aplicable en los enlaces de última milla que presten servicio a dicha zona y sistemas de propagación en coberturas locales. El valor máximo de este coeficiente es de 1.

El coeficiente β_n tendrá un valor igual a 1, independientemente de valores fijados por el CONATEL en los siguientes casos:

- a) Sistemas Privados, exceptuando los sistemas de los servicios Fijo y Móvil en bandas entre 30 y 960 MHz.
- b) Autorizaciones de uso temporal de frecuencias. En el caso de que una estación radioeléctrica cubra zonas con valores diferentes de β_n , se aplicará el mayor valor de éste.

Se establece inicialmente el valor de 1 para la constante K_a y el coeficiente β_n .

De los Servicios Fijo y Móvil en bandas entre 30 y 960 MHz

Artículo 5.- Para efectos del cálculo de tarifas se considerará que los Servicios Fijo y Móvil que utilizan bandas de frecuencias entre 30 y 960 MHz operan las 24 horas del día.

Artículo 6.- La tarifa mensual por uso de frecuencias del Servicio Móvil Terrestre en bandas entre 30 y 960 MHz, incluido el Móvil Aeronáutico (OR), Móvil Aeronáutico (R) y Radionavegación Aeronáutica, se calculará de acuerdo con la Ecuación 2, la cual sirve para el cálculo de la Tarifa por Uso de Frecuencias para el Servicio Móvil que se presta mediante los Sistemas Comunales de Explotación y los Sistemas Móviles Privados (Convencionales).

$$T(US\$) = K_a * \alpha_2 * \beta_2 * A * F_p \quad (Ec.2)$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada.

Ka = Factor de ajuste por inflación.

α_2 = Coeficiente de valoración del espectro para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso (De acuerdo a la Tabla 1,).

β_2 = Coeficiente de corrección para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso.

A = Anchura de banda de la frecuencia asignada, en kHz.

Fp = Factor de propagación (De acuerdo a las Tablas 2 hasta la 5).

El Coeficiente de valoración del espectro α_2 a aplicarse para el Servicio Móvil en bandas entre 30 y 960 MHz, no multiacceso, se detalla en la Tabla 1

Artículo 7.- Se establecen Factores de Propagación de acuerdo al Anexo 2, para los fines de cálculo de la Tarifa del Servicio Móvil entre 30 y 960 MHz, de acuerdo a la ganancia de la antena, potencia de la estación repetidora en transmisión semidúplex o de la primera estación en transmisión símplex, altura efectiva de la antena de la estación repetidora en semidúplex o de la primera estación en transmisión símplex, y de acuerdo al rango de frecuencias, donde aplicare, de acuerdo a las Tablas 2 a 5.

Artículo 8.- Los valores referenciales para efectos de cálculo, de ganancia de antena y de potencia para el Servicio Móvil entre 30 y 960 MHz, son los establecidos por las Tablas referidas en el Artículo 7 de este Reglamento para las distintas bandas de frecuencias especificadas.

Los valores de referencia de Altura Efectiva de antena de la estación repetidora en transmisión semidúplex o de la primera estación en transmisión símplex, para fines de cálculo, serán los determinados de acuerdo a los datos obtenidos por la ubicación de las antenas, aproximados al valor de referencia inmediato superior, con valores de Altura Efectiva Mínima de 200 m. y altura Efectiva Máxima de 1000 m.

Banda de Frecuencias (MHz)	Coeficiente α_2 Comunales de Explotación, Móviles Privados
30 < f ≤ 300 MHz	0.736521808
300 < f ≤ 512 MHz	2.602532416
614 < f ≤ 960 MHz	-

Tabla 1: Coeficiente de valoración del espectro para la banda entre 30 y 960 MHz

Altura efectiva (m)	0<H<=400	400<H<=600	600<H<=800	H>800
Potencia (W)				
0<P<=10	0.307152	0.451022	0.593715	0.664762
10<P<=15	0.460728	0.676534	0.890572	0.997113
15<P<=20	0.614304	0.902045	1.187429	1.329524
20<P<=25	0.767880	1.127556	1.484287	1.661905
25<P<=30	0.921456	1.353067	1.781144	1.994286
P>30	1.075032	1.578579	2.078001	2.326667

Tabla 2: Valores de Fp en la Banda 30 – 300 MHz (G<=6 dBd)