



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE LA CONECTIVIDAD PARA DOTAR DEL SERVICIO
UNIVERSAL A LA COMUNA AGUAS VERDES, CANTÓN
SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA, UTILIZANDO
TECNOLOGIA CDMA 450”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

PINTO VILLÓN JAIME FRANCISCO
ROMERO QUIROZ MILTON ANDRÉS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTO

Como prioridad agradezco a mis padres por darme siempre la confianza necesaria para triunfar en esta etapa de mi vida, con su apoyo constante para poder triunfar como profesional.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a sus autoridades y profesores, por abrirnos sus puertas en nuestra formación profesional.

A nuestro revisor de tesis, el Dr. Freddy Villao, por guiarnos en esta etapa final de nuestros estudios.

DEDICATORIA

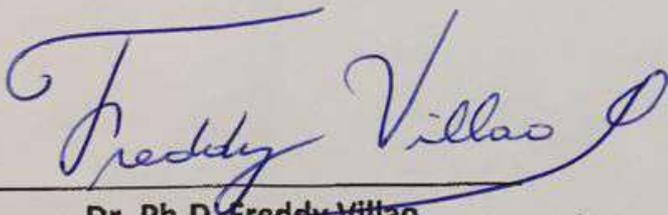
Dedico este trabajo de graduación a mis padres, que su constante apoyo me permite salir adelante en todo lo que me propongo en la vida. Gracias por estar siempre para mí.

Milton Andrés Romero Quiroz

Dedico este trabajo de graduación a mis padres, Manuel Pinto y Blanca Villón por brindarme el apoyo para salir adelante y estar siempre en los momentos difíciles ya que ellos fueron la base para poder cumplir todas mis metas, tomando en cuenta el apoyo de mis abuelos y mis tíos por creer en que podía lograr ser una persona de bien y brindarme confianza y estar siempre presente con sus consejos.

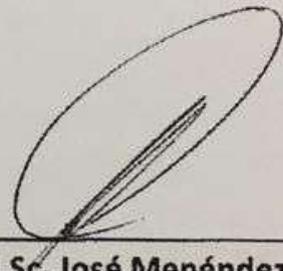
Jaime Francisco Pinto Villón

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in blue ink that reads "Freddy Villao". The signature is stylized with a large, sweeping flourish at the end.

Dr. Ph.D. Freddy Villao

PROFESOR EVALUADOR

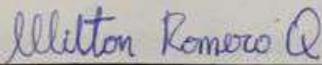
A handwritten signature in black ink that reads "José Menéndez". The signature is stylized with a large, circular flourish at the beginning.

M.Sc. José Menéndez

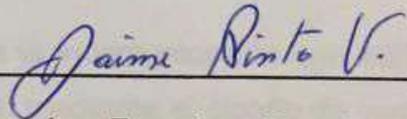
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Milton Andrés Romero Quiroz



Jaime Francisco Pinto Villón

RESUMEN

Este proyecto realiza el diseño de una red inalámbrica para proveer servicio universal a la comuna de Aguas Verdes, ubicada en el cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena y a sus sectores aledaños.

Muchas zonas rurales del país están incomunicadas y es deber del Estado integrarlas en el desarrollo tecnológico por el que está pasando el país; el objetivo es que todo el país cuente con acceso a las telecomunicaciones como en las grandes ciudades, ya que en la actualidad es prácticamente indispensable estar comunicado.

Las visitas y encuestas realizadas evidencian la problemática por la que están pasando los habitantes de esta comuna, que a la hora de realizar este proyecto se encuentran en su mayoría incomunicados.

Con este proyecto esperamos poder dar solución a la incomunicación que sufre la comuna Aguas Verdes y la comuna cercana Pocitos, mediante el diseño de una red inalámbrica utilizando tecnología CDMA450 para proveer voz y datos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
ABREVIATURAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES	1
1. 1 Antecedentes.....	1
1. 2 Identificación del problema	1
1.2.1 Telefonía convencional pública.....	2
1.2.2 Telefonía móvil	2
1.2.3 Transporte	2
1.2.4 Servicios varios.....	3
1.2.5 Censo	3
1.2.6 Aguas Verdes	3
1.2.7 Pocitos	4
1.3 Marco regulatorio aplicable al problema	4
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general.....	7

1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Justificación del tema	8
CAPÍTULO 2.....	9
2. DISEÑO DE LA RED CDMA PARA CONECTIVIDAD DE AGUAS VERDES	9
2.1 Tecnologías inalámbricas.....	9
2.2 CDMA.....	9
2.3 CDMA2000.....	9
2.4 CDMA en la banda 450 MHz.....	10
2.5 CDMA 450 a nivel mundial.....	11
2.6 CDMA 450 en Ecuador.....	12
2.7 Elementos de la red CDMA 450	13
2.7.1 Antenas para el enlace entre BTS	13
2.7.2 Antenas sectoriales.....	14
2.7.3 Torre autosoportada de 30 m	15
2.7.4 BTS 3606C	15
2.7.5 Alimentación de los equipos	16
2.7.6 Terminales en red de acceso.....	16
2.8 Diseño de la red CDMA 450.....	17
2.8.1 Esquema de enlace de última milla	17
2.8.2 Lugar de instalación de la BTS	18
2.8.3 Selección de la repetidora CDMA para la conexión de red de CNT	18
2.9 Análisis de tráfico	20
2.9.1 Llamadas de voz.....	20
2.9.2 Volumen de tráfico	20

2.9.3 Intensidad del tráfico.....	21
2.9.4 Multimedia	21
2.10 Análisis geográfico	23
2.11 Cálculos teóricos de pérdida en los enlaces	25
2.11.1 Pérdidas en el enlace microondas entre las BTS	25
2.11.2 Pérdidas en los enlaces CDMA 450	25
2.11.3 Modelo Okumura-Hata.....	26
2.11.4 Pérdidas en el enlace BTS Aguas Verdes- Comuna Pocito	26
2.11.5 Pérdidas en el enlace BTS Aguas Verdes - Comuna Aguas Verdes	27
2.12 Características de las antenas utilizadas en los enlaces.....	28
2.12.1 Potencia de recepción de los enlaces microondas entre las BTS.....	29
2.12.2 Potencia de recepción BTS Aguas Verdes – Comuna Pocitos	29
2.12.3 Potencia de recepción BTS Aguas Verdes – Comuna Aguas Verdes	30
2.12.4 Link Budget.....	30
2.13 Simulación de los enlaces de radio	33
2.14 Configuración del sistema radiante	37
2.15 Simulación de cobertura.....	37
2.15.1 Justificación del uso de dos antenas sectoriales	41
2.16 Análisis socioeconómico	43
2.17 Costos de inversión	44
2.17.1 Costos de la infraestructura	44
2.17.2 Costos de equipos para instalación de la red	46

2.18 Tiempo estimado de implementación	47
CAPÍTULO 3.....	49
3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	49
3.1 Descripción.....	49
3.2 Sustentación del proyecto	49
3.3 Lugar de implementación del proyecto.....	50
3.4 Análisis de los valores obtenidos en el simulador Radio Mobile.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56

ABREVIATURAS

BTS	(Base Tranceiver Station) Estación Base
f	Frecuencia
GHz	Giga Hertz
MHz	Mega Hertz
CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones
L_p	Pérdida el espacio libre
L_{Rural}	Pérdida para zonas rurales
P_{em}	Potencia de transmisión del móvil
P_a	Pérdidas adicionales
L_c	Pérdida en los cables
S_{bts}	Sensibilidad en la estación base
h_{bts}	Altura de la bts
h_m	Altura del móvil
G_{em}	Ganancia de la estación móvil
P_{bts}	potencia de transmisión de la bts
G_{bts}	Ganancia de la bts
P_{RX}	Potencia del receptor
G_{RX}	Ganancia del receptor
P_{TX}	Potencia del transmisor
G_{TX}	Ganancia del transmisor
G	Ganancia
S	Sensibilidad
hb	Altura de la estación base

d	distancia
it	Intensidad de Trafico
vtx	velocidad de transmisión
n	número de llamadas
vt	Volumen de trafico
d	tiempo medio de duración de las llamadas
$\alpha(h_m)$	Factor de corrección de altura de la antena del móvil.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista satelital del recinto Aguas Verdes.....	2
Figura 2.1 CDMA 450 a nivel mundial	11
Figura 2.2 Radiobases CDMA450 a nivel nacional.....	12
Figura 2.3 Radiobases CDMA450 por provincias	13
Figura 2.4 Antena microondas Neo Pasolink.....	14
Figura 2.5 Antena sectorial A45451500.....	14
Figura 2.6 Torre autosoportada triangular	15
Figura 2.7 BTS3606C Huawei	16
Figura 2.8 Terminal CDMA450 ETS1000	17
Figura 2.9 Diagrama de la red	17
Figura 2.10 BTS Aguas Verdes con respecto a Comuna Aguas Verdes y Comuna Pocito	18
Figura 2.11 Repetidoras CDMA cercanas a Pocito y Aguas Verdes	19
Figura 2.12 Perfil geográfico Cerro González – BTS Aguas Verdes.....	23
Figura 2.13 Perfil geográfico Bellavista – BTS Aguas Verdes	24
Figura 2.14 Perfil geográfico Ánimas – BTS Aguas Verdes.....	24
Figura 2.15 Enlace de radio Ánimas – BTS Aguas Verdes.....	33
Figura 2.16 Configuración del enlace Ánimas – BTS Aguas Verdes	34
Figura 2.17 Enlace de radio BTS Aguas Verdes- Comuna Pocito	34
Figura 2.18 Configuración de enlace BTS Aguas Verdes – Comuna Pocito	35

Figura 2.19 Enlace de radio BTS Aguas Verdes- Comuna Aguas Verdes ...	36
Figura 2.20 Configuración de enlace BTS Aguas Verdes – Comuna Aguas Verdes	36
Figura 2.21 Configuración de la primera antena sectorial.....	38
Figura 2.22 Cobertura de la primera antena sectorial.....	38
Figura 2.23 Patrón de radiación de la antena sectorial - Pocitos.....	39
Figura 2.24 Configuración de la segunda antena sectorial	40
Figura 2.25 Cobertura de la segunda antena sectorial de BTS Aguas Verdes	40
Figura 2.26 Patrón de radiación de la antena sectorial – Aguas Verdes	41
Figura 2.27 Patrón de radiación de la antena sectorial – Aguas Verdes y Pocitos.....	42
Figura 2.28 Cobertura de la antena sectorial de la BTS Aguas Verdes.....	43
Figura 3.1 Cobertura total de la BTS Aguas Verdes	50
Figura 3.2 Enlace entre Ánimas y BTS Aguas Verdes.....	51
Figura 3.3 Enlace entre cerro González y BTS Aguas Verdes.....	52
Figura 3.4 Perfil de elevación entre cerro Ánimas y Aguas Verdes	52
Figura 3.5 Perfil de elevación entre cerro González y Aguas Verdes	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de las repetidoras CDMA.....	19
Tabla 2: Tráfico de la BTS Aguas Verdes.....	22
Tabla 3: Configuración del apuntamiento de las antenas	37
Tabla 4: Costo de la Infraestructura.....	45
Tabla 5: Costos de los equipos.....	46
Tabla 6: Cronograma de actividades para la implementación de la BTS Aguas Verdes	48

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1. 1 Antecedentes

En la actualidad, estar comunicados es una parte muy importante para el día a día de las personas, prácticamente es una necesidad poder estar conectados, no solo en las grandes ciudades sino también en los lugares remotos del país. Muchas zonas rurales están en constante desarrollo tecnológico y es el deber del Estado proveerle los recursos necesarios para poder estar comunicados.

Este proyecto propone poder brindar servicio universal a la comuna de Aguas Verdes mediante la tecnología CDMA450 para proveer voz y datos a toda la comuna y sus alrededores.

1. 2 Identificación del problema

La parroquia Aguas Verdes se encuentra prácticamente incomunicada para la mayoría de pobladores, ya que no cuentan con telefonía fija. La comuna no dispone de cobertura celular en casi ningún punto, solo en ciertos puntos estratégicos; tampoco disponen de conexión a internet, por lo que se vuelve un gran inconveniente para el desarrollo tecnológico de los habitantes.

El recinto de Aguas verdes pertenece a la comuna Bajada de Chanduy, en el cantón Santa Elena, Provincia Santa Elena, este recinto se encuentra aproximadamente a 7 Km de Cerecita en la provincia de Santa Elena, concretamente en las coordenadas 2°17'36.23"S, 80°15'57.71"O. La figura 1.1 muestra una toma satelital de la comuna.

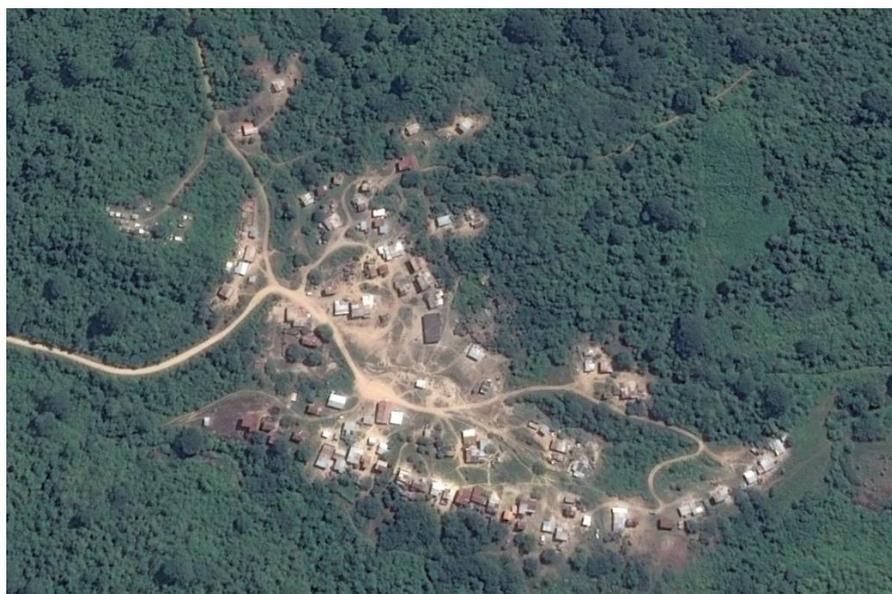


Figura 1.1 Vista satelital del recinto Aguas Verdes

Fuente: Tomada de Google Earth

1.2.1 Telefonía convencional pública

En el recinto Aguas Verdes, así como en la comuna de Pocitos, la cual es adyacente a Aguas Verdes, el servicio de telefonía fija es inexistente. Solo en la parroquia de Bajada de Chanduy existen líneas fijas y las pocas que existen tienen problemas de mal servicio.

1.2.2 Telefonía móvil

El servicio de telefonía móvil tanto en Aguas Verdes como en las comunas aledañas, es nulo, no existe cobertura, solo se llega a recibir la señal en las partes más altas de los cerros que rodean el recinto.

1.2.3 Transporte

La comuna y las comunas cercanas no cuentan con un sistema de transporte, el único método para movilizarse es utilizando camionetas que salen o entran hacia aguas verdes, las cuales no pasan a menudo. Sin

contar que el camino hacia Aguas verdes está en un estado deplorable, es un camino de tierra muy desnivelada y sin señalizar. Muchos utilizan caballos y burros para movilizarse además de camionetas, motos e incluso bicicletas. Para poder trasladarse a sus trabajos en la ciudad, deben salir hasta la carretera principal para poder tomar los buses de Villamil y Posorja (los únicos que entran a Cerecita todavía) tanto para la vía progreso y la vía a Guayas.

1.2.4 Servicios varios

La comuna sí cuenta con energía eléctrica de la provincia de Santa Elena, aunque existen irregularidades dando como resultado cortes sucesivos de luz.

No se cuenta con agua potable, los tanqueros llegan hasta Bajada de Chanduy y cobran 15 centavos por cada tanque. No existe alcantarillado y cuentan con agua de pozo, por lo que hay riesgo de contaminación.

No hay botaderos específicos para los desechos por lo que en Aguas Verdes y Pocitos lo que se hace es quemar la basura.

1.2.5 Censo

Mediante los censos realizados en la comuna de Aguas Verdes y la comuna aledaña de Pocitos se tuvieron los siguientes datos:

1.2.6 Aguas Verdes

Total de Población: 280 Hombres, 163 Mujeres

<1 Año = 20

1-4 Años = 54

5-9 Años = 84

10-14 Años = 60

15-19 Años = 67

20-64 Años = 132

Más de 65 Años = 26

Nota: 53 de los habitantes cuentan con una discapacidad física o mental.

1.2.7 Pocitos

Total de Población: 88 Hombres, 69 Mujeres

<1 Año = 15

1-4 Años = 33

5-9 Años = 29

10-14 Años = 18

15-19 Años = 20

20-64 Años = 35

Más de 65 Años = 7

Nota: 15 de los habitantes cuentan con una discapacidad física o mental.

1.3 Marco regulatorio aplicable al problema

Según el Artículo 16 de la Constitución [1], todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a:

- Una comunicación libre, intercultural, incluyente, diversa y participativa, en todos los ámbitos de la interacción social, por cualquier medio y forma, en su propia lengua y con sus propios símbolos.
- El acceso universal a las tecnologías de información y comunicación.
- La creación de medios de comunicación social, y al acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas.
- El acceso y uso de todas las formas de comunicación visual, auditiva, sensorial y a otras que permitan la inclusión de personas con discapacidad.
- Integrar los espacios de participación previstos en la Constitución en el campo de la comunicación.

Sobre la sociedad del conocimiento el artículo 387 de la Constitución [2] estipula lo que será responsabilidad del Estado:

- Facilitar e impulsar la incorporación a la sociedad del conocimiento para alcanzar los objetivos del régimen de desarrollo.
- Promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica, y potenciar los saberes ancestrales, para así contribuir a la realización del buen vivir, al Sumak Kawsay.
- Asegurar la difusión y el acceso a los conocimientos científicos y tecnológicos, el usufructo de sus descubrimientos y hallazgos en el marco de lo establecido en la Constitución y la Ley.
- Garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales.
- Reconocer la condición de investigador de acuerdo con la Ley.

Según estipula el título 10 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones [3], artículo 88, El ministerio rector de las Telecomunicaciones promoverá la sociedad de la información y del conocimiento para el desarrollo integral del país. A tal efecto, dicho órgano deberá orientar su actuación a la formulación de políticas, planes, Programas y proyectos destinados a:

- Garantizar el derecho a la comunicación y acceso a la información.
- Promover el acceso universal a los servicios de telecomunicaciones; en especial, en zonas urbano marginal o rural, a fin de asegurar una adecuada cobertura de los servicios en beneficio de las y los ciudadanos ecuatorianos.
- Promover el establecimiento eficiente de infraestructura de telecomunicaciones, especialmente en zonas urbano marginal y rural.
- Procurar el Servicio Universal
- Promover el desarrollo y masificación del uso de las tecnologías de información y comunicación en todo el territorio nacional.

- Apoyar la educación de la población en materia de informática y tecnologías de la información, a fin de facilitar el uso adecuado de los servicios o equipos.
- Promover el desarrollo y liderazgo tecnológico del Ecuador que permitan la prestación de nuevos servicios a precios y tarifas equitativas.

El servicio universal por su lado constituye, según el artículo 89 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones [4], la obligación de extender un conjunto definido de servicios de telecomunicaciones, a todos los habitantes del territorio nacional, con condiciones mínimas de accesibilidad, calidad y precios equitativos, con independencia de las condiciones económicas, sociales o la ubicación geográfica de la población. El Estado promoverá la prestación del servicio universal y la accesibilidad de la población a los servicios y a las tecnologías de la información y las comunicaciones, de conformidad con lo dispuesto en esta ley, sus reglamentos y el plan de servicio universal.

El artículo 90 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones [5] estipula que, en el plan de servicio universal, que será elaborado y aprobado por el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, se hará constar los servicios que conforman el servicio universal y las áreas geográficas para su prestación. Se dará atención prioritaria a las áreas geográficas de menos ingresos y con menor cobertura de servicios en el territorio nacional. El Plan de Servicio Universal deberá enmarcarse dentro de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo y armonizarse con este instrumento.

Según el artículo 91 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones [6], Los proyectos y programas para la ejecución del Plan de Servicio Universal podrán ser ejecutados directamente por empresas públicas o contratados con empresas mixtas, privadas o de la economía popular y solidaria que cuenten con los respectivos títulos habilitantes, sobre la base de los parámetros de selección que determine el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información y con sujeción a la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública. Sin perjuicio de lo anterior, en los títulos habilitantes se

establecerán obligaciones específicas de servicio universal a través de los planes de expansión u otras modalidades.

En la comuna Aguas Verdes se debe implementar una solución para que puedan contar con el servicio universal que en estos momentos es inexistente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar una red inalámbrica con tecnología CDMA 450 para poder dar servicio de voz y datos a la comuna Aguas Verdes y sus alrededores con el afán de promover el desarrollo tecnológico de la comuna.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la tecnología CDMA 450 y sus aplicaciones en sitios remotos.
- Determinar los parámetros geográficos del terreno para simulación de enlace y cobertura.
- Establecer los requerimientos necesarios para la implementación de la red de voz y datos con tecnología CDMA 450.
- Evaluar la comuna para tener un mejor conocimiento de sus necesidades tecnológicas.
- Realizar el diseño de la red CDMA 450 para proveer el servicio universal a la comuna.
- Demostrar que la tecnología CDMA 450 es la mejor opción para comunicar zonas rurales, mediante análisis de propagación y cálculos de tráfico y capacidad.
- Se obtendrán datos del número de habitantes exactos de la comuna, así como también cuántos estarían dispuestos a utilizar estos servicios, esto se realizará mediante una visita a la comuna y una encuesta en cada uno de los hogares.

- Mediante un software de simulación, se comprobará la cobertura que tendría CDMA 450 y así asegurar que se tenga una buena calidad de señal en la mayor parte de la comuna.

1.5 Justificación del tema

Con la implementación del servicio universal en la comuna, es decir servicios de voz y datos, se está contribuyendo al desarrollo social, económico y educativo de las habitantes, elevando así la calidad de educación, de los alumnos de la escuela existente en la comuna, además de la población en general, debido a que tendrán acceso a toda clase de información gracias a los servicios que serán provistos.

En la parte económica se espera tener una mejoría, gracias a que los habitantes ya no estarán incomunicados dentro de la comuna y tendrán mayor facilidad para poder comerciar y hacerse cargo de sus negocios, los cuales incluyen la siembra de cultivos y proveer mano de obra en la ciudad de Guayaquil y sus alrededores.

Se pudo conversar con varios habitantes de la comuna y se discutieron los problemas que existen debido a la incomunicación en la que se encuentran, ellos esperan que se pueda dar una pronta solución para poder mejorar su calidad de vida.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE LA RED CDMA PARA CONECTIVIDAD DE AGUAS VERDES

2.1 Tecnologías inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas son aquellas en la que la comunicación no se encuentra unida por un medio de propagación físico, en cambio se utiliza algún tipo de modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. Esto significa que los dispositivos físicos solo están presentes en los emisores y receptores, esto permite que los dispositivos remotos se conecten sin dificultad.

2.2 CDMA

CDMA (Acceso Múltiple por División de Código), es una tecnología de espectro ensanchado, que permite a múltiples usuarios ocupar el mismo canal o espectro de frecuencia al mismo instante.

Espectro ensanchado es una técnica de modulación empleada en telecomunicaciones para la transmisión de datos digitales y por radiofrecuencia. El fundamento básico es el 'ensanchamiento' de la señal a transmitir a lo largo de una banda muy ancha de frecuencias, mucho más amplia que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se requiere enviar.

CDMA asigna códigos únicos no correlacionados entre sí para cada comunicación, para poder diferenciarlas en el mismo espectro. [7]

2.3 CDMA2000

CDMA2000 es una familia de estándares de telecomunicaciones móviles de tercera generación (3G) que utilizan CDMA para enviar voz, datos y señalización entre teléfonos celulares y estaciones base. La familia de estándares CDMA2000 son interfaces aprobadas por el estándar ITU IMT-2000 y soportan todos los

estándares CDMA2000 desarrollados por 3GPP2 incluyendo: CDMA2000 1X, 1xEV-DO y 1xEVDV.

CDMA2000 utiliza las ventajas de CDMA y además tienes algunas ventajas como la mejora en la calidad de llamada con sonido más claro, mejor características de cobertura, mejor control de potencia, mayor capacidad y la reducción del ruido de fondo e interferencia.

CDMA2000 1x es utilizada para identificar la versión de la tecnología CDMA2000 que opera en un par de canales de 1.25MHz, esta tecnología casi duplica la capacidad de voz de IS-95, esta es considerada por algunos como una tecnología 2.5G. [8]

2.4 CDMA en la banda 450 MHz

CDMA450 es una familia de tecnologías CDMA2000 que opera en el rango 410-470 MHz, esta tecnología puede proporcionar servicios de telecomunicaciones sobre amplias áreas debido a sus características de propagación, debido a su baja frecuencia. CDMA450 es el nombre genérico para todos los sistemas CDMA que utilizan la banda 450 MHz, como tal los sistemas CDMA450 incluyen los siguientes sistemas:

- CDMA2000 1x
- 1X EV-DO Release 0
- 1X EV-DO Rev A
- 1X EV-DO Rev B

A las frecuencias en la que trabaja CDMA450 se puede conseguir un mayor grado de cobertura desde una sola radiobase, esto significa que se puede conseguir la misma cobertura con menos radiobases que un Sistema que utiliza frecuencias más altas, Esto convierte a CDMA450 en ideal para zonas rurales donde se necesita cobertura en áreas extensas. [9]

2.5 CDMA 450 a nivel mundial

De acuerdo al documento “CDMA450 Global update” emitido por la CDG en marzo del año 2011, se estipula que durante la última década se presenció un tremendo crecimiento en los servicios inalámbricos 3G basados en tecnología CDMA2000, con más de 320 operadores en 121 territorios que actualmente ofrecen servicios comerciales.

Con capacidades de voz y datos avanzadas, así como su flexibilidad, CDMA2000 se ha convertido en la tecnología inalámbrica líder para el envío de voz y datos a áreas urbanas densamente pobladas, así como a regiones rurales o remotas en desarrollo.

CDMA 450 o CDMA2000 en la banda de 450 MHz, es una tecnología madura y robusta para aprovisionamiento costo-efectivo de voz (básica y avanzada) y servicio de datos a través de regiones con baja densidad poblacional o con difícil terreno debido a sus características favorables de propagación en la banda de baja frecuencia combinado con tecnología 3G CDMA avanzada. La figura 2.1 muestra la presencia de la tecnología CDMA 450 a nivel mundial. [10]

CDMA450 Global Presence
More than **130** operators in over **70** countries have deployed or are planning to deploy CDMA450



Figura 2.1 CDMA 450 a nivel mundial

Fuente: Tomada de Cdg.org

2.6 CDMA 450 en Ecuador

De acuerdo con el último informe emitido por Arcotel (Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones) en el mes de junio del año 2015, se puede observar que existen 167 radio bases con tecnología CDMA 450 en el territorio ecuatoriano, de las cuales 3 se encuentran en la provincia de Santa Elena. Se muestra en más detalle en la figura 2.2, el despliegue de radio bases CDMA 450 a nivel nacional en los últimos años.

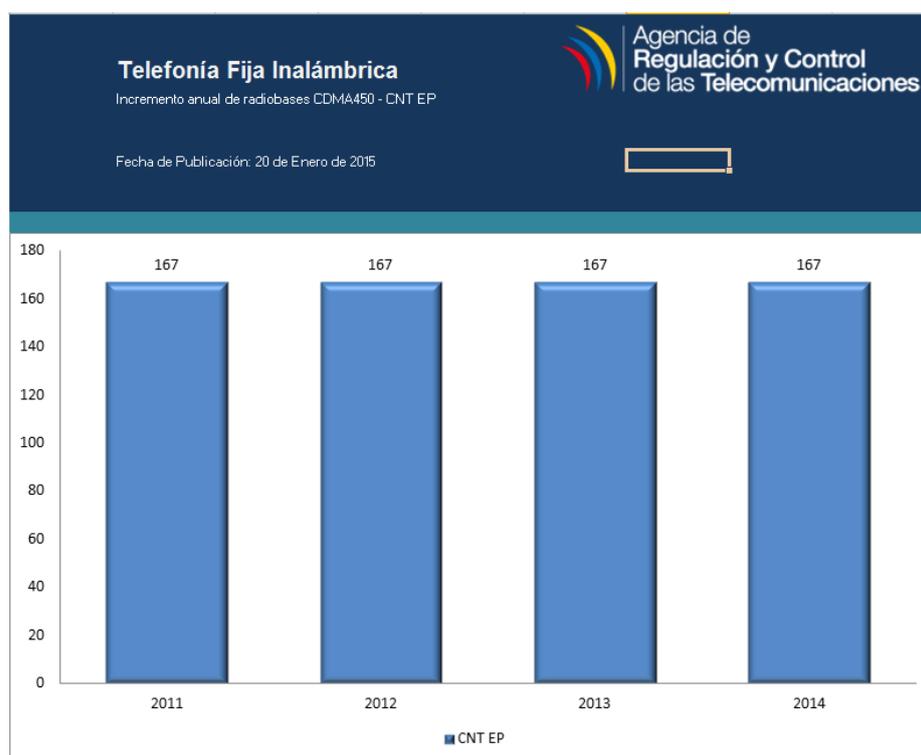


Figura 2.2 Radiobases CDMA450 a nivel nacional

Fuente: Tomada de Arcotel.gob.ec

Si bien no se ha visto un incremento en el despliegue de radiobases con tecnología CDMA 450 en los últimos años, antes de eso si hubo un incremento gradual por provincias hasta llegar al número actual de radio bases, en la figura 2.3 se puede apreciar un resumen de las radiobases por provincia, donde esas

provincias geográficamente son las que poseen sitios remotos de difícil acceso.
[11]

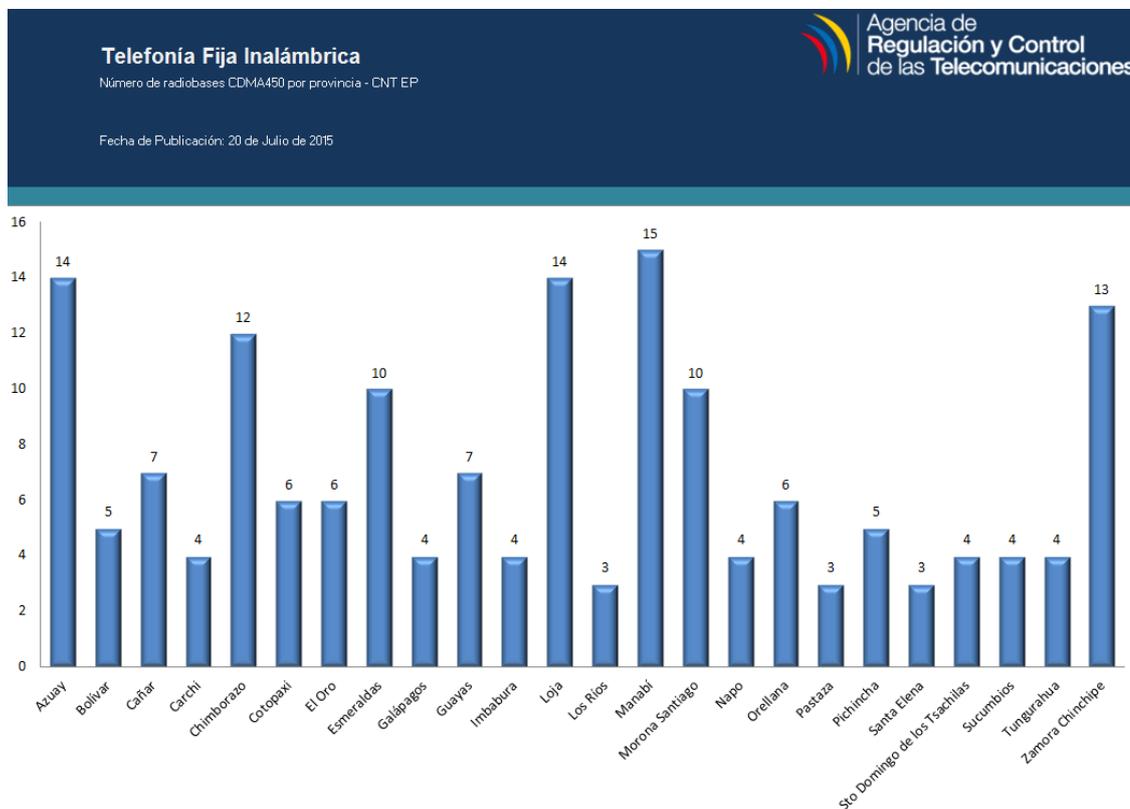


Figura 2.3 Radiobases CDMA450 por provincias

Fuente: Tomada de Arcotel.gob.ec

2.7 Elementos de la red CDMA 450

Se describen los elementos que forman parte de la red con sus funciones principales.

2.7.1 Antenas para el enlace entre BTS

Dado que el enlace entre la repetidora Ánimas y la BTS Aguas verdes es un enlace punto a punto, se utilizarán antenas parabólicas directivas que trabajarán en la banda microondas de 7,5GHz. Para poder cubrir la distancia del enlace de 30Km se escogieron antenas Neo Pasolink Neo de

1.8 m de diámetro las cuales poseen 43dBi de ganancia. En la figura 2.4 se muestra dicha antena.



Frecuencia (GHZ)	7,575
Potencia del Transmisor (dBm)	23
Ganancia de la Antena TX (dBi)	43
Ganancia de la Antena RX (dBi)	43
Atenuación por cables y conectores	4

Figura 2.4 Antena microondas Neo Pasalink

Fuente: Tomada de Huawei.com

2.7.2 Antenas sectoriales

Para los enlaces con las comunas se escogió el uso de antenas sectoriales DX-450-470-65-15i-0F Modelo: A45451500, debido a que este tipo de antenas pueden dar una cobertura de 120° con lo cual podemos cubrir los 2 sectores de interés. Este tipo de antenas trabajan en frecuencias de 450 a 470MHz, y poseen una ganancia de 15 dBi lo cual permite su uso para CDMA 450. La figura 2.5 muestra una antena sectorial modelo A45451500.



Rangos de Frecuencia(MHz)	450-470
Polarización	+45°, -45°
Gain(dBi)	15
Horizontal 3dB beamwidth(°)	65
Vertical 3dB beamwidth(°)	16
Electrical downtilt(°)	0
Intermodulation IM5(dBc)	≤-160(2x43 dBm carrier)
Max.CW input power(W)	500
Impedance(Ω)	50
Grounding	DC Ground

Figura 2.5 Antena sectorial A45451500

Fuente: Tomada de www.huawei.com

2.7.3 Torre autoportada de 30 m

Para dar soporte a las antenas de los equipos de telecomunicaciones existen 3 tipos de torres:

- Autoportada
- Atirantada
- Monopolo

Se escogió una antena autoportada porque no necesita ser colocada en una edificación como la torre atirantada y puede llegar a mayores alturas que las torres monopolo, Además las torres autoportadas están diseñadas para su uso en ciudades y zonas rurales. La figura 2.6 muestra una torre autoportada.



Figura 2.6 Torre autoportada triangular

2.7.4 BTS 3606C

Se escogió este tipo de BTS porque está disponible en el mercado nacional y puede suplir las demandas del tráfico máximo calculado, Además que está diseñada para ser usada en zonas rurales. La figura 2.7 muestra el BTS3606C.

BTS3606C	
	Soporta 3 celdas, 9 portadoras por sector.
	Banda de operación: 450/800 MHz.
	Dimensiones: de 700x480x600 mm.
	Peso: menor a los 85 Kg.
	CE Pooling: 768 Ces.
	Potencia de transmisión: 60 W (TOC)
	Eficiencia de PA: 33% DHT.
	Sensibilidad: -110dBm.
	Transmisión: E1/T1/FE
	Alimentación: -48VDC/+24VDC.
	Consumo de potencia: <630W(S1/1/1), <850W(S2/2/2), <1050W(S3/3/3).

Figura 2.7 BTS3606C Huawei

Fuente: www.huawei.com

2.7.5 Alimentación de los equipos

La estación base Aguas verdes será energizada principalmente por la energía pública proveniente del tendido eléctrico existente en la zona el cual mediante la visita de campo se determinó que está a 100 metros del sitio de instalación.

Como sistema de respaldo se implementará un banco de baterías el cual actuara inmediatamente en caso de que falle la energía pública, este sistema secundario le dará a la BTS una autonomía máxima de 4 horas con lo cual podrá seguir dando cobertura hasta que se reestablezca la electricidad.

2.7.6 Terminales en red de acceso

El terminal al que tendrán acceso los usuarios será provisto por CNT bajo una tarifa fija que deberá pagar el usuario, estos terminales cuentan con un puerto de red, el cual se aprovechara para proveer datos a los hogares. En la figura 2.8 se muestra el terminal.



Figura 2.8 Terminal CDMA450 ETS1000

2.8 Diseño de la red CDMA 450

Para el diseño de la red CDMA 450 se aprovechará la red existente de CNT y se la utilizará como red de transporte, se diseñará la red de acceso que estará ubicada en las cercanías de la comuna Aguas Verdes. La BTS Aguas Verdes, a implementarse, estará ubicada en un cerro que se encuentra aproximadamente a 1Km de esta Comuna. La figura 2.9 muestra un diagrama de la Red a implementarse.

2.8.1 Esquema de enlace de última milla

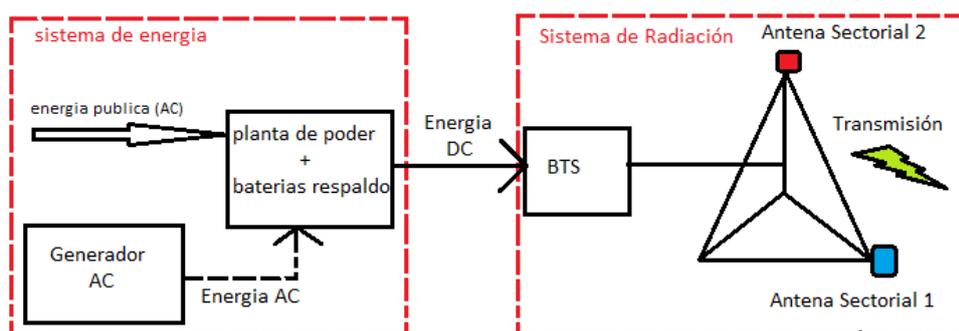


Figura 2.9 Diagrama de la red

2.8.2 Lugar de instalación de la BTS

Tras un estudio del sector se determinó que el lugar óptimo para ubicar la BTS Aguas Verdes es una loma que se encuentra a menos de un kilómetro de las comunas Aguas Verdes y Pocito. La loma que tiene 100 metros de altura cuenta con línea de vista despejada con las 2 poblaciones, además de poseer vías de acceso y tendido eléctrico.

En la figura 2.10 se muestra la ubicación de la BTS con respecto a las comunas.

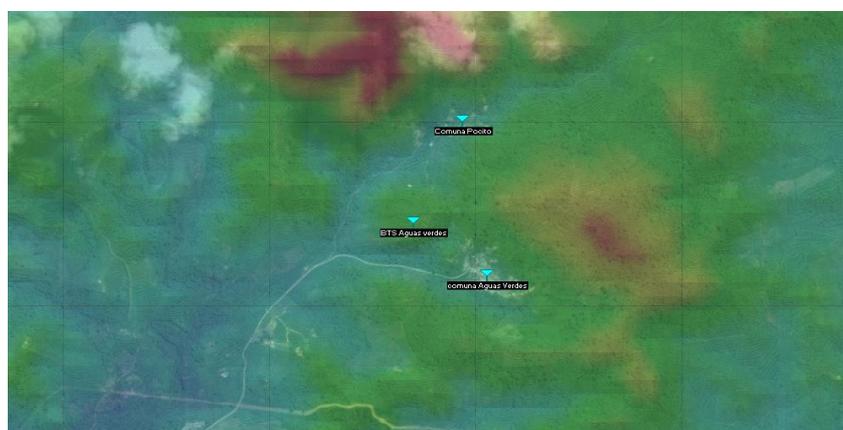


Figura 2.10 BTS Aguas Verdes con respecto a Comuna Aguas Verdes y Comuna Pocito

2.8.3 Selección de la repetidora CDMA para la conexión de red de CNT

A través de información obtenida del área de transmisiones de CNT EP se pudieron localizar 3 repetidoras CDMA cercanas al lugar de instalación de la BTS. La tabla 2.1 muestra las coordenadas de las repetidoras CDMA 450.

REPETIDORA	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
ÁNIMAS	02°28'28.2"S	080°28'03.4"O	397.1
BELLAVISTA	02°10'26.0"S	080°19'09.1"O	295.1
CERRO GONZALEZ	02°20'59.3"S	080°33'36.7"O	83.2

Tabla 1: Coordenadas de las repetidoras CDMA

En la figura 2.11 se muestra la ubicación de las distintas repetidoras CDMA encontradas con respecto a las comunas de interés.



Figura 2.11 Repetidoras CDMA cercanas a Pocito y Aguas Verdes

2.9 Análisis de tráfico

Entre las comunas Pocito y Aguas Verdes se suman un total de 600 habitantes los cuales están distribuidos en 178 familias, se estima que se implementará un terminal por familia con lo que se tendría un número máximo de 178 abonados.

Se procederá a calcular el tráfico máximo que soportará la estación base para en base de los resultados poder elegir los equipos adecuados.

Todas las estimaciones están referenciadas a estudios anteriores realizados por CNT EP, a la demanda de tráfico en zonas rurales.

2.9.1 Llamadas de voz

En la hora pico se estima un máximo de 5 llamadas con una duración promedio de 3 minutos cada una.

2.9.2 Volumen de tráfico

$$V_t = n * d \quad (2.1)$$

V_t : volumen de tráfico

n : número de llamadas

d : tiempo medio de duración de las llamadas

Datos:

$n = 5$ llamadas

$d = 3$ min

$V_t = 5(3 \text{ min} * 60 \text{ seg})$

$$V_t = 900 \text{ seg}$$

2.9.3 Intensidad del tráfico

$$i_t = \frac{V_t}{t_{obs}} \quad (2.2)$$

i_t : intensidad de tráfico.

t_{obs} : tiempo de observación o tiempo de referencia.

Datos:

$t_{obs} = 60$ minutos

$$i_t = \frac{900\text{seg}}{60\text{min} * 60\text{seg}}$$

$$i_t = 0.25 \text{ [E]}$$

2.9.4 Multimedia

En la hora pico se estima un envío máximo de 4 imágenes en alta definición con una resolución de 1600x1200 pixeles, las cuales son transmitidas a 153Kbps y tienen 400 Kbytes de tamaño.

$$t = \frac{\text{bits de imagen}}{V_{tx}} \quad (2.3)$$

t : tiempo de transmisión multimedia

V_{tx} : velocidad de transmisión

Datos:

$V_{tx} = 153000$ bps

$$t = \frac{400 * 8192\text{bits}}{153000\text{bits}} = 21.4 \text{ [s]}$$

$$V_t = 4 * 21.4\text{seg} = 86.6[\text{s}]$$

$$i_t = \frac{85.6\text{seg}}{60\text{min} * 60\text{seg}}$$

$$i_t = 0.0237 [\text{E}]$$

Para el tráfico de video se estimó en la hora pico 1 video llamada como tope de duración de 30 minutos por llamada.

$$i_t = \frac{30\text{min}}{60\text{min}}$$

$$i_t = 0.5 [\text{E}]$$

La tabla 2.2 muestra el tráfico de las comunas Aguas Verdes y Pocitos.

BTS	SERVICIO	TRAFICO ABONADO	ABONADOS	TRAFICO TOTAL
Aguas verdes	VOZ	0.25	178	44.5
Aguas verdes	DATOS	0.0237	178	4.21
Aguas verdes	VIDEO	0.5	178	89

Tabla 2: Tráfico de la BTS Aguas Verdes

La BTS Aguas Verdes soportaría un tráfico máximo de 137.71 Erlangs en la hora pico.

2.10 Análisis geográfico

Por medio del software libre Radio Mobile podemos visualizar el perfil geográfico de los posibles enlaces que podemos realizar con las distintas repetidoras localizadas, de las simulaciones podemos concluir que la opción más favorable para interconectarse con la red de CNT es el enlace con la repetidora Ánimas ya que es el único enlace que cuenta con línea de vista directa sin obstrucciones. [12]

La figura 2.12 muestra el análisis de la línea de vista entre la BTS Aguas Verdes y la BTS en cerro González. La figura 2.13 muestra la línea de vista entre la BTS Aguas Verdes y la BTS en cerro Bellavista. La figura 2.14 muestra la línea de vista en la BTS Aguas Verdes y la BTS en cerro Ánimas.

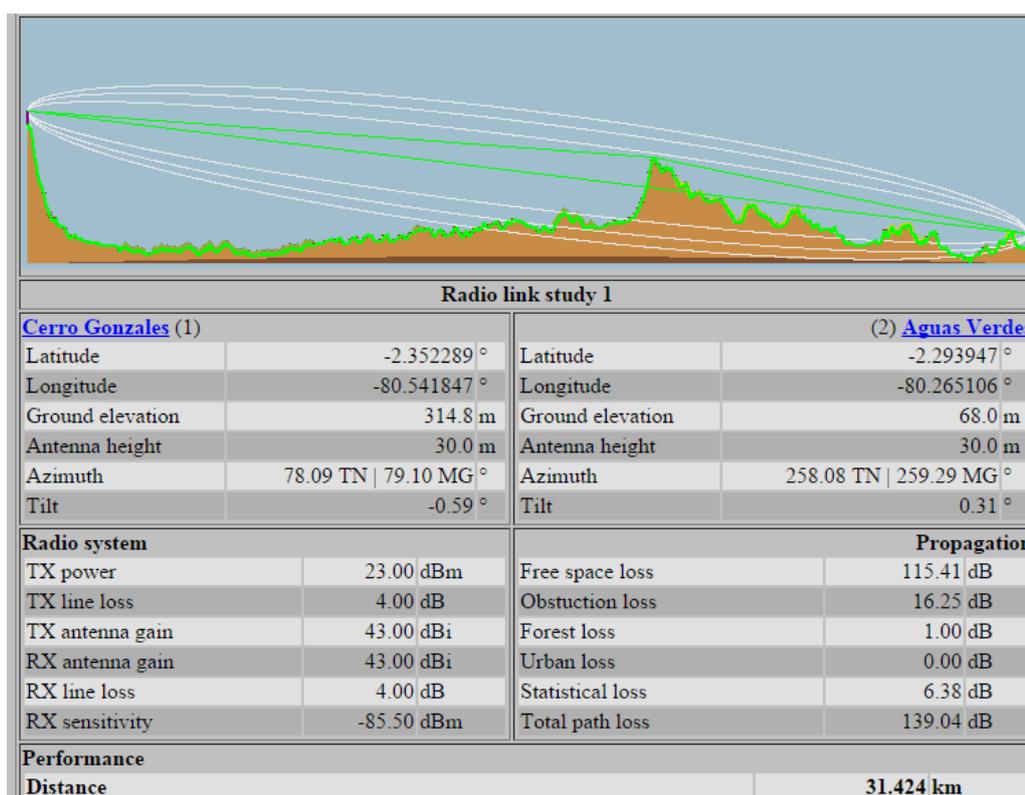


Figura 2.12 Perfil geográfico Cerro González – BTS Aguas Verdes

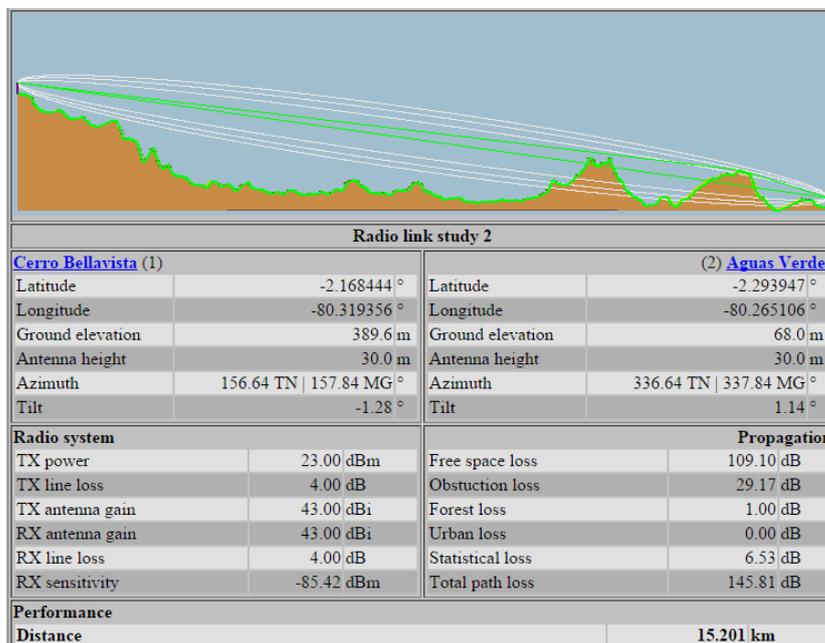


Figura 2.13 Perfil geográfico Bellavista – BTS Aguas Verdes

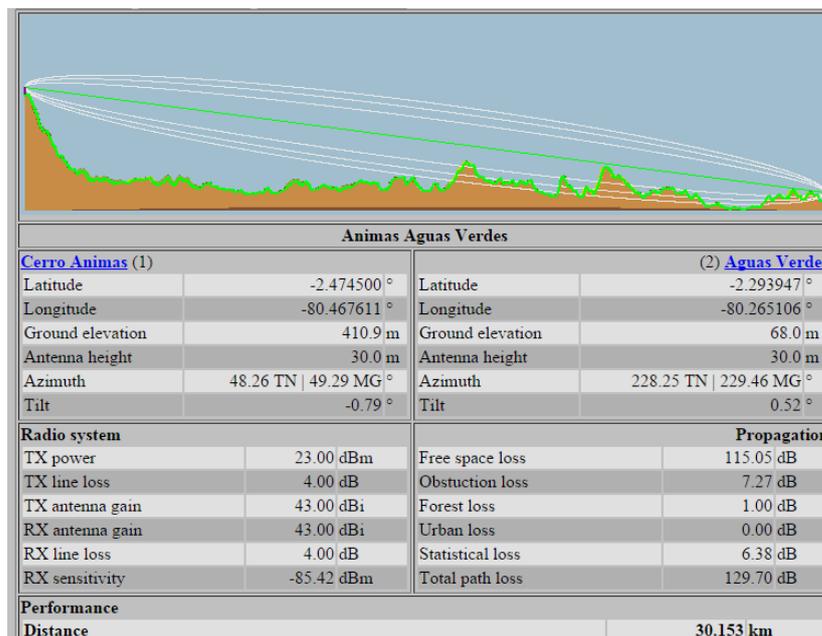


Figura 2.14 Perfil geográfico Ánimas – BTS Aguas Verdes

2.11 Cálculos teóricos de pérdida en los enlaces

2.11.1 Pérdidas en el enlace microondas entre las BTS

Para este enlace se usa el modelo de pérdidas en espacio libre debido a que los modelos empíricos comúnmente usados para el cálculo de pérdidas de propagación no están establecidos para trabajar con frecuencias tan altas como las que se usan en este enlace microondas.

Pérdidas por espacio libre.

$$L_p = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d \quad (2.4)$$

L_p = pérdidas en espacio libre (dB)

f = frecuencia (GHz)

d = distancia (km)

Datos:

$f = 7,5$ GHz

$d = 30$ Km

$$L_p = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d$$

$$L_p = 92.45 + 20 \log(7,5) + 20 \log(30)$$

$$L_p = 139.49 \text{ dB}$$

2.11.2 Pérdidas en los enlaces CDMA 450

Para calcular las pérdidas de propagación en los enlaces entre la BTS y los terminales ubicados en las comunas se eligió usar el modelo Okumura-Hata debido a que este modelo empírico ha sido ampliamente usado en proyectos previos y se ha demostrado que ofrece una estimación adecuada de las pérdidas en escenarios rurales.

2.11.3 Modelo Okumura-Hata

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - \alpha(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log r \quad (2.5)$$

f = frecuencia (150 a 1500 MHz)

h_b = Altura de la estación base (30 a 200 m)

h_m = Altura del móvil o receptor (1 a 10 m)

r = Distancia del enlace (1 a 20 km)

$\alpha(h_m)$ = Factor de corrección de altura de la antena del móvil.

Para zonas rurales:

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94 \quad (2.6)$$

2.11.4 Pérdidas en el enlace BTS Aguas Verdes- Comuna Pocito

Datos:

$f = 450$ MHz

$h_b = 30$ m

$h_m = 1,5$ m

$r = 0,74$ km

El factor de corrección para el enlace BTS Aguas Verdes – Comuna Pocito nos da:

$$\alpha(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_m - (1.56 \log(f) - 0.8) \quad (2.7)$$

$$\alpha(h_m) = (1.1 \log(450 \text{ MHz}) - 0.7)(1,5 \text{ m}) - (1.56 \log(450 \text{ MHz}) - 0.8)$$

$$\alpha(h_m) = -0.0112 \text{ dB}$$

Con el valor obtenido, calculamos la pérdida en el enlace.

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - \alpha(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log r \quad (4.11)$$

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(450 \text{ MHz}) - 13.82 \log(30 \text{ m}) + 0.0112 + (44.9 - 6.55 \log(30 \text{ m})) \log(0,74 \text{ km})$$

$$L_0 = 113.94 \text{ dB}$$

Para áreas rurales se usa la ecuación (2.6).

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

$$L_{\text{rural}} = 113.94 - 4.78(\log(450 \text{ MHz}))^2 + 18.33 \log(450 \text{ MHz}) - 40.94$$

$$L_{\text{rural}} = 87.98 \text{ dB}$$

2.11.5 Pérdidas en el enlace BTS Aguas Verdes - Comuna Aguas Verdes

Datos:

$$f = 450 \text{ MHz}$$

$$h_b = 30 \text{ m}$$

$$h_m = 1.5 \text{ m}$$

$$r = 0.56 \text{ km}$$

El factor de corrección para el enlace BTS Aguas Verdes – Comuna Aguas Verdes nos da:

$$\alpha(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_m - (1.56 \log(f) - 0.8)$$

$$\alpha(h_m) = (1.1 \log(450 \text{ MHz}) - 0.7)(1,5 \text{ m}) - (1.56 \log(450 \text{ MHz}) - 0.8)$$

$$\alpha(h_m) = -0.0112 \text{ dB}$$

A partir de la ecuación (2.5)

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - \alpha(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log r \quad (4.11)$$

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(450 \text{ MHz}) - 13.82 \log(30 \text{ m}) + 0.0112 + (44.9 - 6.55 \log(30 \text{ m})) \log(0,56 \text{ km})$$

$$L_0 = 109.68 \text{ dB}$$

Para áreas rurales, se obtiene una pérdida de:

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

$$L_{\text{rural}} = 109.68 - 4.78(\log(450 \text{ MHz}))^2 + 18.33 \log(450 \text{ MHz}) - 40.94$$

$$L_{\text{rural}} = 83.72 \text{ dB}$$

2.12 Características de las antenas utilizadas en los enlaces

Ganancia de las antenas:

$$G \text{ (dBi)} = 43 \quad \text{Antenas Directivas (Microondas)}$$

$$G \text{ (dBi)} = 15 \quad \text{Antenas Sectoriales (BTS)}$$

$$G \text{ (dBi)} = 2.15 \quad \text{Antenas Omnidireccionales (Terminales)}$$

Sensibilidad del receptor:

$$S \text{ (dBm)} = -85.5 \text{ dBm} \quad \text{Antenas Directivas (Microondas)}$$

$$S \text{ (dBm)} = -110 \text{ dBm} \quad \text{Antenas Sectoriales (BTS)}$$

$$S \text{ (dBm)} = -92 \text{ dBm} \quad \text{(Terminales)}$$

Potencia de recepción:

La potencia de recepción representa la potencia de la señal recibida en las antenas de los terminales luego de recorrer toda la distancia del enlace y ser atenuada por las distintas pérdidas presentes en el medio y los equipos.

$$P_{\text{RX}} = P_{\text{TX}} + G_{\text{TX}} + G_{\text{RX}} - L_{\text{Rural}} \quad (2.8)$$

P_{TX} = Potencia del transmisor

G_{TX} = Ganancia del transmisor

G_{RX} = Ganancia del receptor

L_{Rural} = Pérdidas totales del enlace

2.12.1 Potencia de recepción de los enlaces microondas entre las BTS

Datos:

$$P_{TX} = 23 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 43 \text{ dBi}$$

$$G_{RX} = 34 \text{ dBi}$$

$$L_{Rural} = 139.49 \text{ dB}$$

A partir de la ecuación (2.8) se tiene:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{Rural}$$

$$P_{RX} = 23 + 43 + 34 - 139.49$$

$$P_{RX} = -30.49 \text{ dBm}$$

La potencia de recepción en el enlace microondas (-30.49 dBm) es mayor a la sensibilidad de recepción del equipo receptor (-85.5 dBm) con lo cual se puede asegurar la confiabilidad del enlace.

2.12.2 Potencia de recepción BTS Aguas Verdes – Comuna Pocitos

Datos:

$$P_{TX} = 43 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 15 \text{ dBi}$$

$$G_{RX} = 2.15 \text{ dBi}$$

$$L_{Rural} = 87.98 \text{ dB}$$

A partir de la ecuación (2.8) se tiene:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{Rural}$$

$$P_{RX} = 43 + 15 + 2.15 - 87.98$$

$$P_{RX} = -27.83 \text{ dBm}$$

La potencia de recepción en el enlace entre la BTS Aguas Verdes y la Comuna Pocito (-27.83 dBm) es mayor a la sensibilidad de recepción de los terminales de los usuarios (-92 dBm) con lo que se garantiza el enlace y la cobertura de la comuna.

2.12.3 Potencia de recepción BTS Aguas Verdes – Comuna Aguas Verdes

Datos:

$$P_{TX} = 43 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 15 \text{ dBi}$$

$$G_{RX} = 2.15 \text{ dBi}$$

$$L_{Rural} = 83.72 \text{ dB}$$

A partir de la ecuación (2.8):

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{Rural}$$

$$P_{RX} = 43 + 15 + 2,15 - 83.72$$

$$P_{RX} = -23.57 \text{ dBm}$$

La potencia de recepción en el enlace entre la BTS Aguas Verdes y la Comuna Aguas Verdes (-23.57 dBm) es mayor a la sensibilidad de recepción de los terminales de los usuarios (-92 dBm) con lo que se garantiza el enlace y la cobertura de la comuna.

2.12.4 Link Budget

Calcular el Link Budget permite determinar el radio de cobertura aproximado de una estación base CDMA, lo que permite determinar el número de estaciones bases necesarias para cubrir un área específica.

Datos

$$f = 450 \text{ MHz}$$

$$h_{bts} = 30 \text{ (m)}$$

$$h_m = 1,5 \text{ (m)}$$

$$\text{Ganancia antena BTS (G}_{bts}) = 15 \text{ dBi}$$

$$\text{Ganancia antena estación móvil (G}_m) = 2.15 \text{ dBi}$$

$$\text{Potencia de transmisión BTS (P}_{bts}) = 43 \text{ dBm}$$

$$\text{Potencia de transmisión del móvil (P}_m) = 23 \text{ dBm}$$

$$\text{Pérdidas adicionales (L}_a) = 24 \text{ dB}$$

$$\text{Pérdidas en cables (L}_c) = 3.5 \text{ dB}$$

$$\text{Sensibilidad estación base (S}_{bts}) = -110 \text{ dBm}$$

$$\text{Sensibilidad estación móvil (S}_m) = -92 \text{ dBm}$$

Calculando el factor de corrección, se obtiene:

$$\alpha(h_m) = -0.0112 \text{ dB}$$

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - \alpha(h_m) \\ + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log r$$

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(450 \text{ MHz}) - 13.82 \log(30 \text{ m}) + 0.0112 + (44.9 \\ - 6.55 \log(30 \text{ m})) \log(r)$$

$$L_0 = 118.55 + 35.22 \log(r)$$

Para áreas rurales:

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78(\log(450 \text{ MHz}))^2 + 18.33 \log(450 \text{ MHz}) - 40.94$$

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 25.955$$

$$L_{\text{rural}} = 92.61 + 35.225 \log(r)$$

El cálculo del Link Budget ascendente corresponde a la distancia máxima en la que el terminal móvil puede transmitir a la BTS.

$$\text{Link Budget ascendente} = P_{em} + G_{em} - L_a - L_{rural} + G_{bts} - L_c - S_{bts}$$

$$\text{Link Budget ascendente} = 23 \text{ dBm} + 2.15 \text{ dBi} - 24 \text{ dB} - L_{rural} + 15 \text{ dBi} - 3.5 \text{ dB} + 110 \text{ dB}$$

$$\text{Link Budget ascendente} = 122.65 - L_{rural}$$

$$\text{Link Budget ascendente} = 0$$

$$122.65 - L_{rural} = 0$$

$$92.61 + 35.225 \log(r) = 122.65$$

$$r = 7.12 \text{ km}$$

La BTS Aguas Verdes tiene un radio de 7.12 km de enlace ascendente.

El cálculo del Link Budget descendente corresponde a la distancia máxima en la que la BTS puede transmitir al terminal móvil.

$$\text{Link Budget descendente} = P_{bts} + G_{bts} - L_a - L_{rural} + G_{em} - L_c - S_{em}$$

$$\text{Link Budget descendente} = 43 \text{ dBm} + 15 \text{ dBi} - 24 \text{ dB} - L_{rural} + 2.15 \text{ dBi} - 3.5 + 92 \text{ dBm}$$

$$\text{Link Budget descendente} = 124.65 - L_{rural}$$

$$\text{Link Budget descendente} = 0$$

$$124.65 - L_{rural} = 0$$

$$92.61 + 35.225 \log(r) = 124.65$$

$$r = 8.12 \text{ km}$$

La BTS Aguas Verdes tiene un radio de cobertura de 8.12 km de enlace descendente.

Para calcular el radio de cobertura se escoge el link Budget más pequeño para asegurar una comunicación exitosa entre la BTS y el terminal móvil.

Radio Link Budget ascendente = 7,12 km

Radio Link Budget descendente = 8,12 km

Radio de circunferencia = 7.12 km

Área de cobertura circular = 159.26 km^2

2.13 Simulación de los enlaces de radio

En el presente capítulo se muestran las simulaciones de los enlaces microondas utilizando el software libre Radio Mobile. La figura 2.15 muestra los parámetros para el enlace entre Ánimas Y BTS Aguas Verdes, mientras que la figura 2.16 nos muestra los datos recopilados entre dicho enlace.

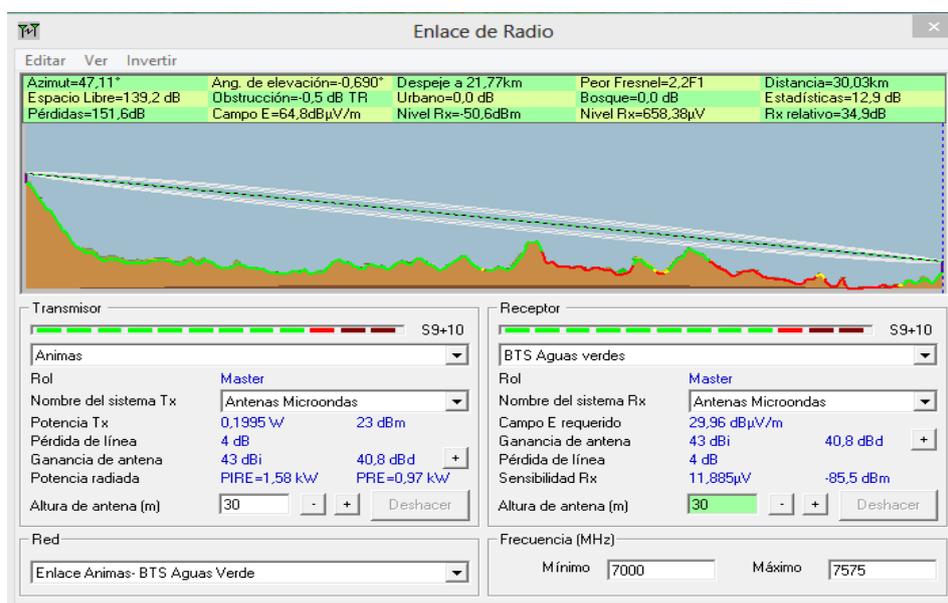


Figura 2.15: Enlace de radio Ánimas – BTS Aguas Verdes

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

La distancia entre Animas y BTS Aguas verdes es 30,0 km (18,7 miles)
 Azimut norte verdadero = 47,11°, Azimut Norte Magnético = 48,10°, Angulo de elevación = -0,6900°
 Variación de altitud de 369,2 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,2F1 a 21,8km
 La frecuencia promedio es 7287,500 MHz
 Espacio Libre = 139,2 dB, Obstrucción = -0,5 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 12,9 dB
 La pérdida de propagación total es 151,6 dB
 Ganancia del sistema de Animas a BTS Aguas verdes es de 186,5 dB (corner.ant a 47,1 °-0,69° ganancia = 43,0 dBi)
 Ganancia del sistema de BTS Aguas verdes a Animas es de 186,5 dB (corner.ant a 227,1 °0,42° ganancia = 43,0 dBi)
 Peor recepción es 34,9 dB sobre el señal requerida a encontrar
 90,000% de tiempo, 80,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones

Transmisor

Animas

Rol: Master

Nombre del sistema Tx: Antenas Microondas

Potencia Tx: 0,1995 W 23 dBm

Pérdida de línea: 4 dB

Ganancia de antena: 43 dBi 40,8 dBd

Potencia radiada: PIRE=1,58 kW PRE=0,97 kW

Altura de antena (m): 30

Receptor

BTS Aguas verdes

Rol: Master

Nombre del sistema Rx: Antenas Microondas

Campo E requerido: 29,96 dBμV/m

Ganancia de antena: 43 dBi 40,8 dBd

Pérdida de línea: 4 dB

Sensibilidad Rx: 11,885μV -85,5 dBm

Altura de antena (m): 30

Red

Enlace Animas- BTS Aguas Verde

Frecuencia (MHz)

Mínimo: 7000 Máximo: 7575

Figura 2.16 Configuración del enlace Ánimas – BTS Aguas Verdes

La figura 2.17 muestra la línea de vista entre la BTS Aguas Verdes y la comuna Pocitos, mientras que la figura 2.18 muestra la configuración de dicho enlace.

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=23,48° Ang. de elevación=-4,427° Despeje a 0,65km Peor Fresnel=1,3F1 Distancia=0,74km
 Espacio Libre=83,0 dB Obstrucción=4,4 dB TR Urbano=0,0 dB Bosque=1,0 dB Estadísticas=12,0 dB
 Pérdidas=100,4dB (4) Campo E=84,6dBμV/m Nivel Rx=-43,7dBm Nivel Rx=1459,52μV Rx relativo=48,3dB

Transmisor

BTS Aguas verdes

Rol: Master

Nombre del sistema Tx: Antenas BTS 450MHz

Potencia Tx: 19,9526 W 43 dBm

Pérdida de línea: 3,5 dB

Ganancia de antena: 15 dBi 12,8 dBd

Potencia radiada: PIRE=281,84 W PRE=171,85 W

Altura de antena (m): 30

Receptor

Comuna Pocito

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Rx: Antenas Terminales 450

Campo E requerido: 36,32 dBμV/m

Ganancia de antena: 2,2 dBi 0 dBd

Pérdida de línea: 3,5 - 3,5 dB

Sensibilidad Rx: 5,6234μV -92 dBm

Altura de antena (m): 1,5

Red

Enlace BTS Aguas Verdes-Pocit

Frecuencia (MHz)

Mínimo: 450 Máximo: 470

Figura 2.17 Enlace de radio BTS Aguas Verdes- Comuna Pocito

Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

La distancia entre BTS Aguas verdes y Comuna Pocito es 0,7 km (0,5 miles)
 Azimut norte verdadero = 23,48°, Azimut Norte Magnético = 24,64°, Angulo de elevación = -4,4273°
 Variación de altitud de 39,0 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,3F1 a 0,7km
 La frecuencia promedio es 460,000 MHz
 Espacio Libre = 83,0 dB, Obstrucción = 4,4 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 1,0 dB, Estadísticas = 12,0 dB
 La pérdida de propagación total es 100,4 dB
 Ganancia del sistema de BTS Aguas verdes a Comuna Pocito es de 148,7 dB (comer.ant a 23,5 °-4,43° ganancia = 15,0 dBi)
 Ganancia del sistema de Comuna Pocito a BTS Aguas verdes es de 146,7 dB
 Peor recepción es 46,3 dB sobre el señal requerida a encontrar
 90,000% de tiempo, 80,000% de ubicaciones, 70,000% de situaciones
 Advertencia 4

Transmisor		Receptor	
BTS Aguas verdes		Comuna Pocito	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	Antenas BTS 450MHz	Nombre del sistema Rx	Antenas Terminales 450
Potencia Tx	19,9526 W 43 dBm	Campo E requerido	36,32 dBµV/m
Pérdida de línea	3,5 dB	Ganancia de antena	2,2 dBi 0 dBd
Ganancia de antena	15 dBi 12,8 dBd	Pérdida de línea	3,5 - 3,5 dB
Potencia radiada	PIRE=281,84 W PRE=171,85 W	Sensibilidad Rx	5,6234µV -92 dBm
Altura de antena (m)	30	Altura de antena (m)	1,5
Red		Frecuencia (MHz)	
Enlace BTS Aguas Verdes-Pocit		Mínimo	Máximo
		450	470

Figura 2.18 Configuración de enlace BTS Aguas Verdes – Comuna Pocito

La figura 2.19 muestra la línea de vista entre la BTS Aguas Verdes y la comuna Aguas Verdes, mientras que la figura 2.20 muestra la configuración de dicho enlace.

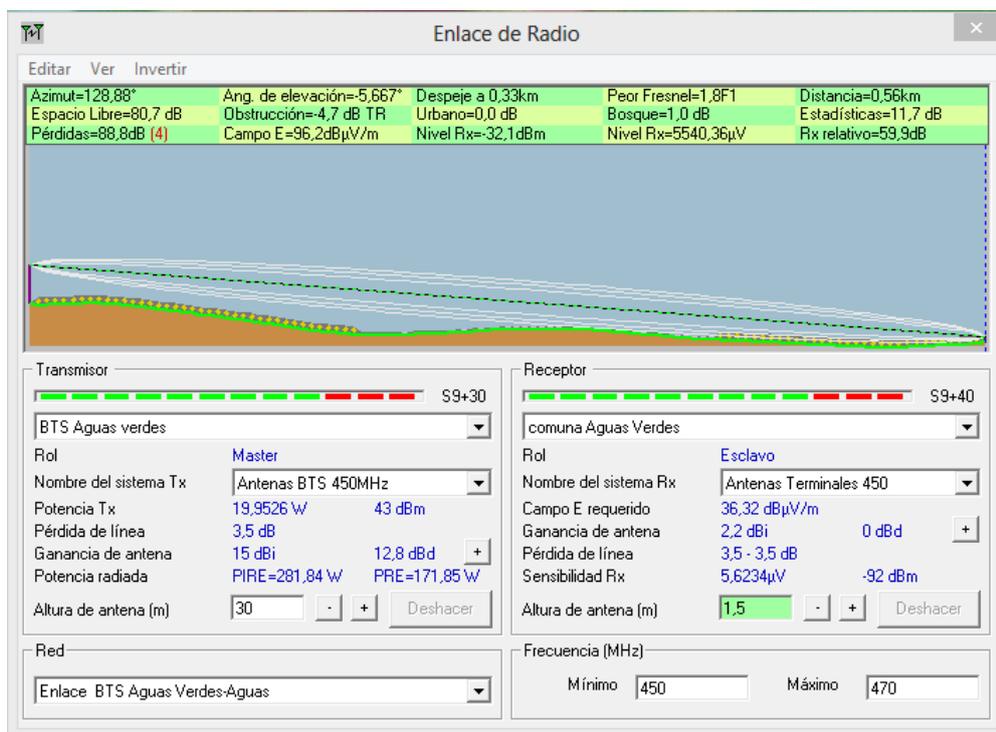


Figura 2.19 Enlace de radio BTS Aguas Verdes- Comuna Aguas Verdes

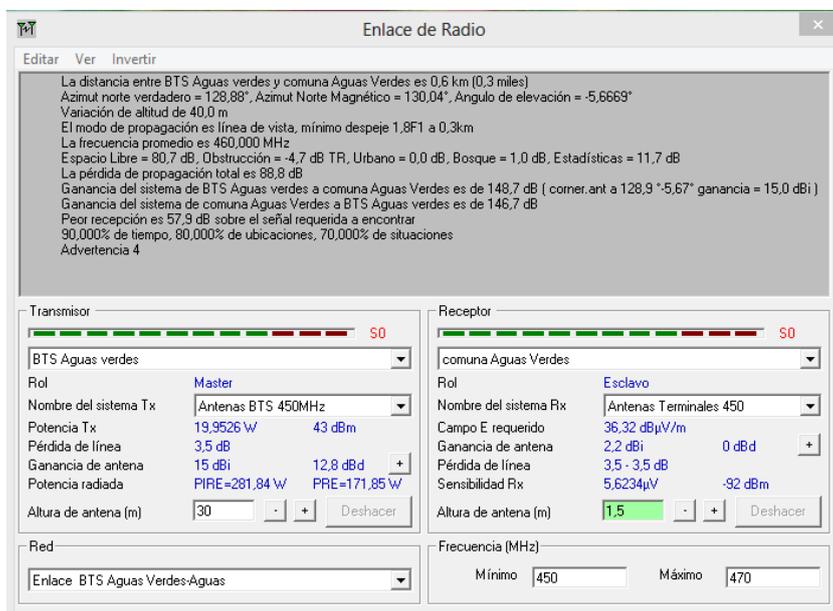


Figura 2.20 Configuración de enlace BTS Aguas Verdes – Comuna Aguas Verdes

El análisis geográfico de los enlaces, muestra que existe línea de vista sin obstáculos entre la BTS Aguas Verdes y las comunas Aguas Verdes y Pocitos. Con los resultados obtenidos se pudieron validar los datos calculados teóricamente mediante el modelo de propagación Okumura-Hata y que la potencia recibida es mayor a la sensibilidad de los terminales, con lo que se asegura la confiabilidad del enlace.

2.14 Configuración del sistema radiante

Para dar la cobertura a ambas comunas, Aguas Verdes y Pocitos, se implementará 2 antenas sectoriales de 120 grados de cobertura cada una. Con estas dos antenas se asegura que ambas comunas tendrán cobertura y abarcará en su totalidad a las comunas. La configuración física de los parámetros de altura y azimut de ambas antenas fue debidamente definida al momento de la planificación del proyecto; en la tabla 2.3 se muestra la configuración a implementar en las antenas.

	Sector 1 - Aguas Verdes	Sector 2 - Pocitos
Antena	DX-450-470-65-15i-0f	DX-450-470-65-15i-0f
Altura	30m	30m
Azimut	128.9	23.5
Tilt Mecánico (grados)	5.66	4.42
Tilt Eléctrico (grados)	0	0

Tabla 3: Configuración del apuntamiento de las antenas

2.15 Simulación de cobertura

A continuación, se mostrarán los parámetros de la configuración de la primera antena sectorial de la BTS Aguas Verdes. La figura 2.21 muestra la configuración y la figura 2.21 muestra la cobertura entre BTS Aguas Verdes y la comuna Pocitos, junto con sus niveles de potencia, el cual nos permite determinar que existe una buena cobertura en toda la comuna. [13]

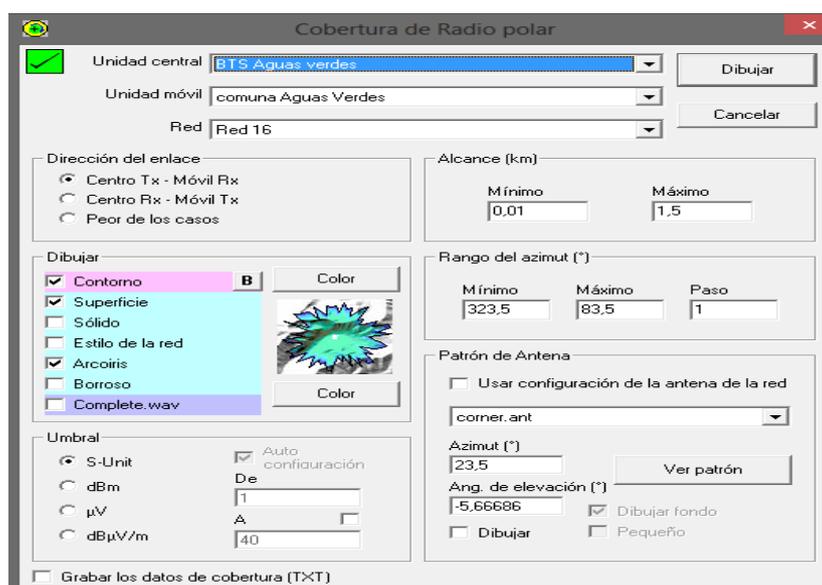


Figura 2.21 Configuración de la primera antena sectorial

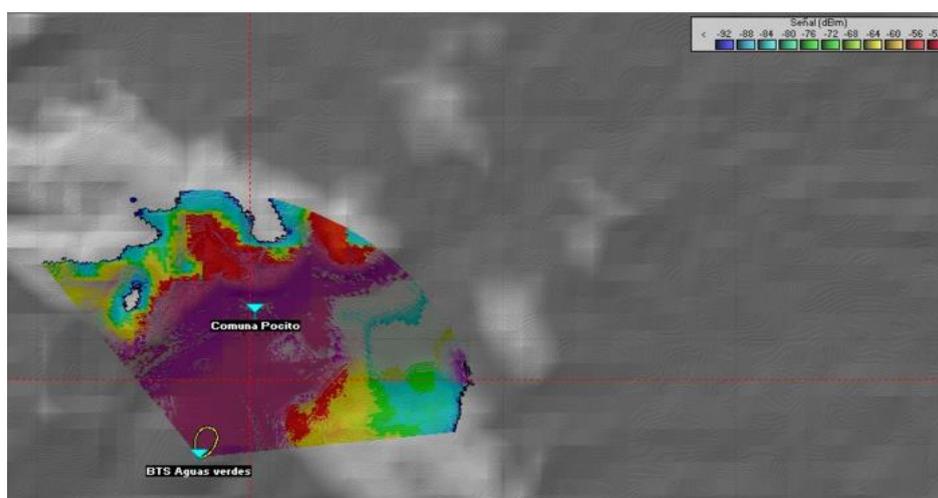


Figura 2.22 Cobertura de la primera antena sectorial

La figura 2.23 nos muestra el patrón de radiación de la antena que da cobertura a la comuna Pocitos.

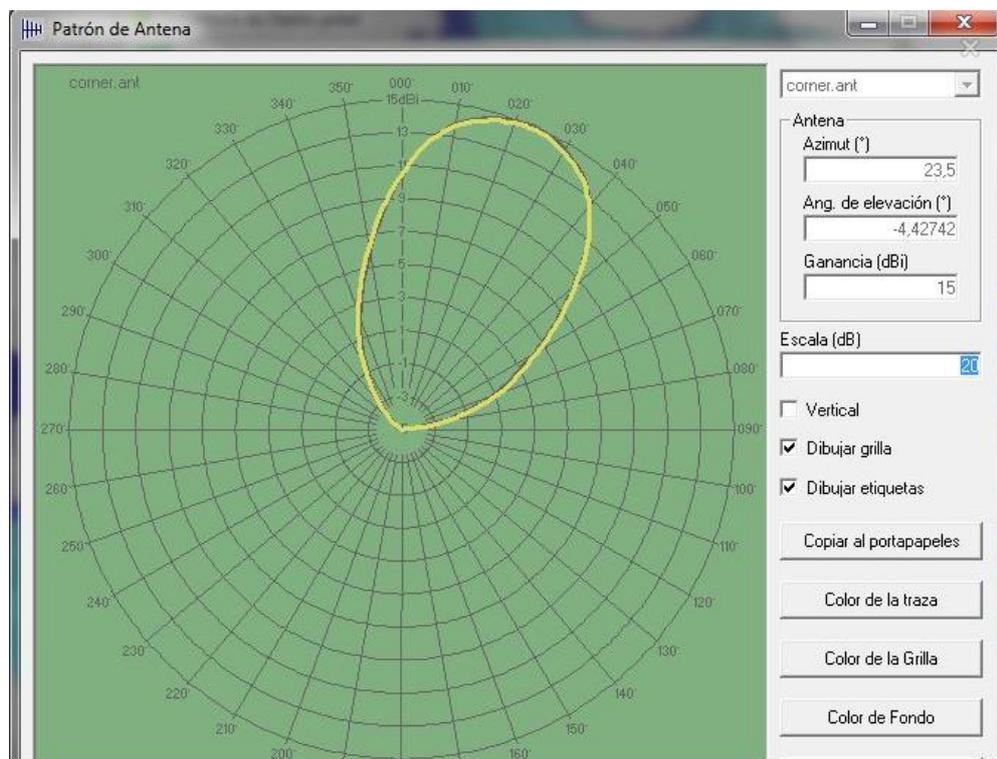


Figura 2.23 Patrón de radiación de la antena sectorial - Pocitos

Ahora se mostrará la configuración de la segunda antena sectorial. La figura 2.24 muestra las configuraciones realizadas para el análisis de cobertura entre la BTS Aguas Verdes y la Comuna Aguas Verdes, mientras la figura 2.25 muestra la cobertura de la comuna Aguas Verdes, con sus respectivos niveles de potencia, dando como conclusión que se tiene una buena cobertura a lo largo y ancho de toda la comuna.

Cobertura de Radio polar

Unidad central: BTS Aguas verdes [Dibujar]

Unidad móvil: comuna Aguas Verdes [Cancelar]

Red: Red 16

Dirección del enlace

Centro Tx - Móvil Rx

Centro Rx - Móvil Tx

Peor de los casos

Alcance (km)

Mínimo: 0,01 Máximo: 1,5

Dibujar

Contorno [Color]

Superficie [Color]

Sólido

Estilo de la red

Arcoiris

Borroso

Complete.wav [Color]

Umbral

S-Unit Auto configuración

dBm De: 1

μ V A: []

dB μ V/m [40]

Rango del azimut (°)

Mínimo: 83,5 Máximo: 203,9 Paso: 1

Patrón de Antena

Usar configuración de la antena de la red

comer.ant [] [Ver patrón]

Azimut (°): 128,9

Ang. de elevación (°): -5,66686 Dibujar fondo

Dibujar Pequeño

Grabar los datos de cobertura (TXT)

Figura 2.24 Configuración de la segunda antena sectorial

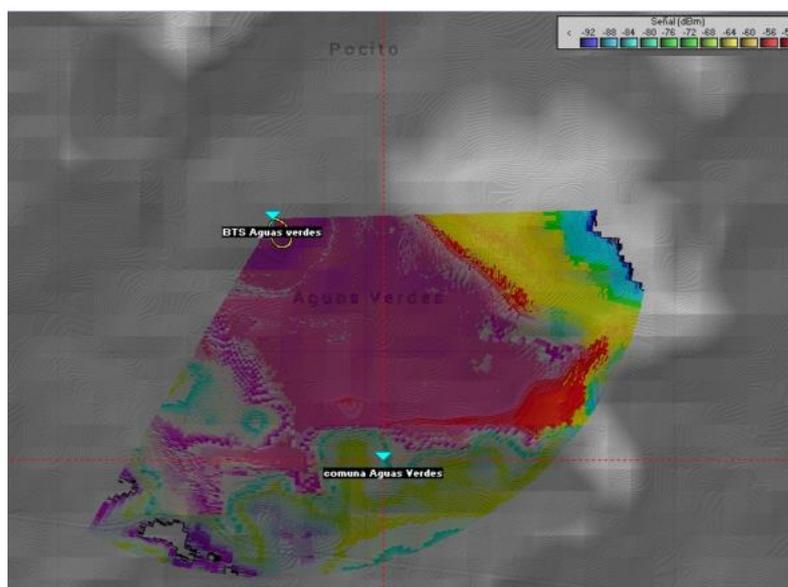


Figura 2.25 Cobertura de la segunda antena sectorial de BTS Aguas Verdes

La figura 2.26 nos muestra el patrón de radiación de la antena que da cobertura a la comuna Aguas Verdes.

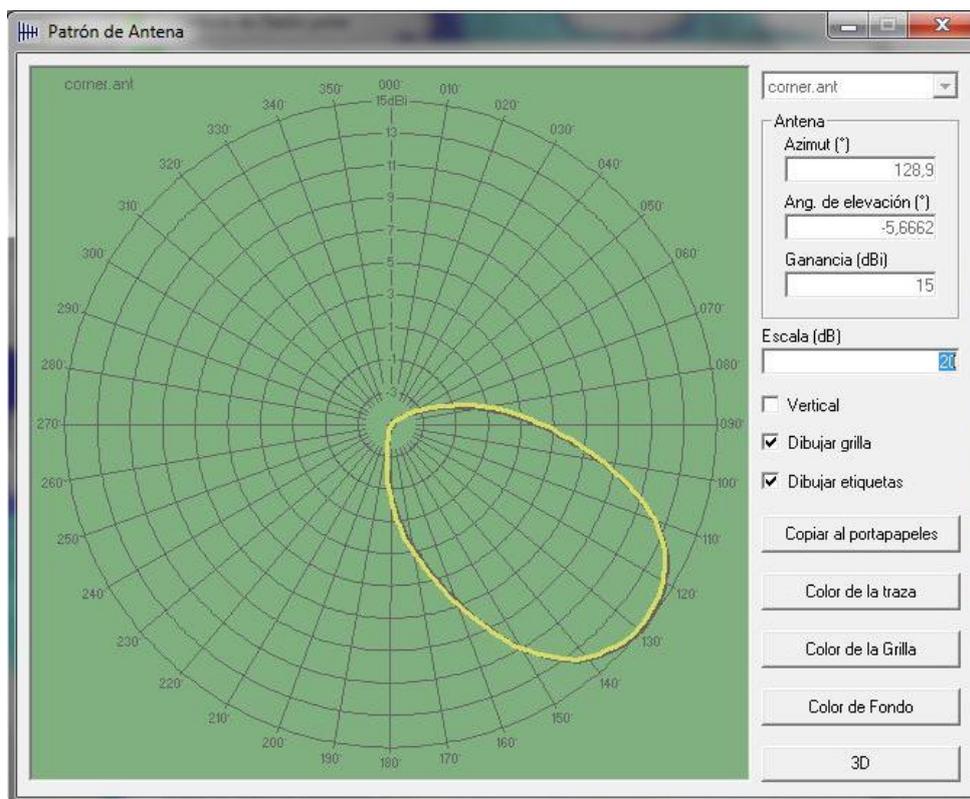


Figura 2.26: Patrón de radiación de la antena sectorial – Aguas Verdes

Como se observa en las simulaciones, la ubicación de la BTS Aguas Verdes le permite cubrir el área calculada, dando servicio a ambas comunas. [14]

2.15.1 Justificación del uso de dos antenas sectoriales

Para dar cobertura a las comunas de Aguas Verdes y Pocitos, primero se pensó en utilizar una sola antena sectorial para cubrir ambas comunas, pero al realizar el diseño se pudo observar que una sola antena sectorial de 120 grados no era capaz de cubrir ambas comunas. La figura 2.27 muestra el patrón de cobertura de la antena sectorial, mientras que la figura 2.28 muestra la cobertura.

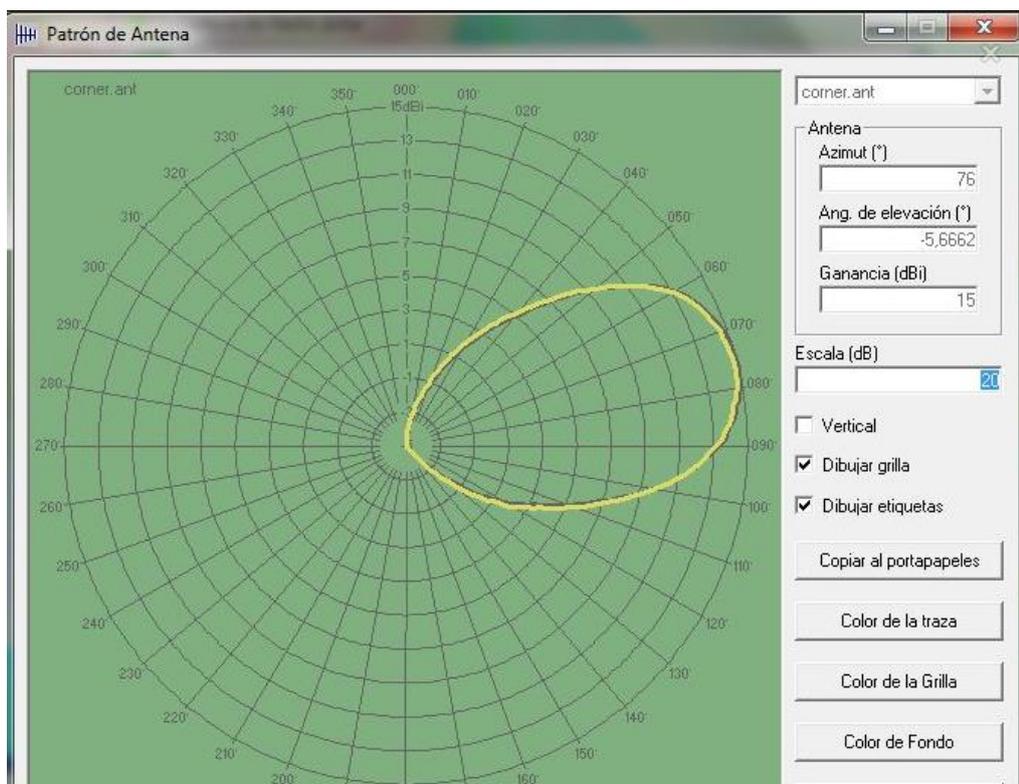


Figura 2.27 Patrón de radiación de la antena sectorial – Aguas Verdes y Pocitos

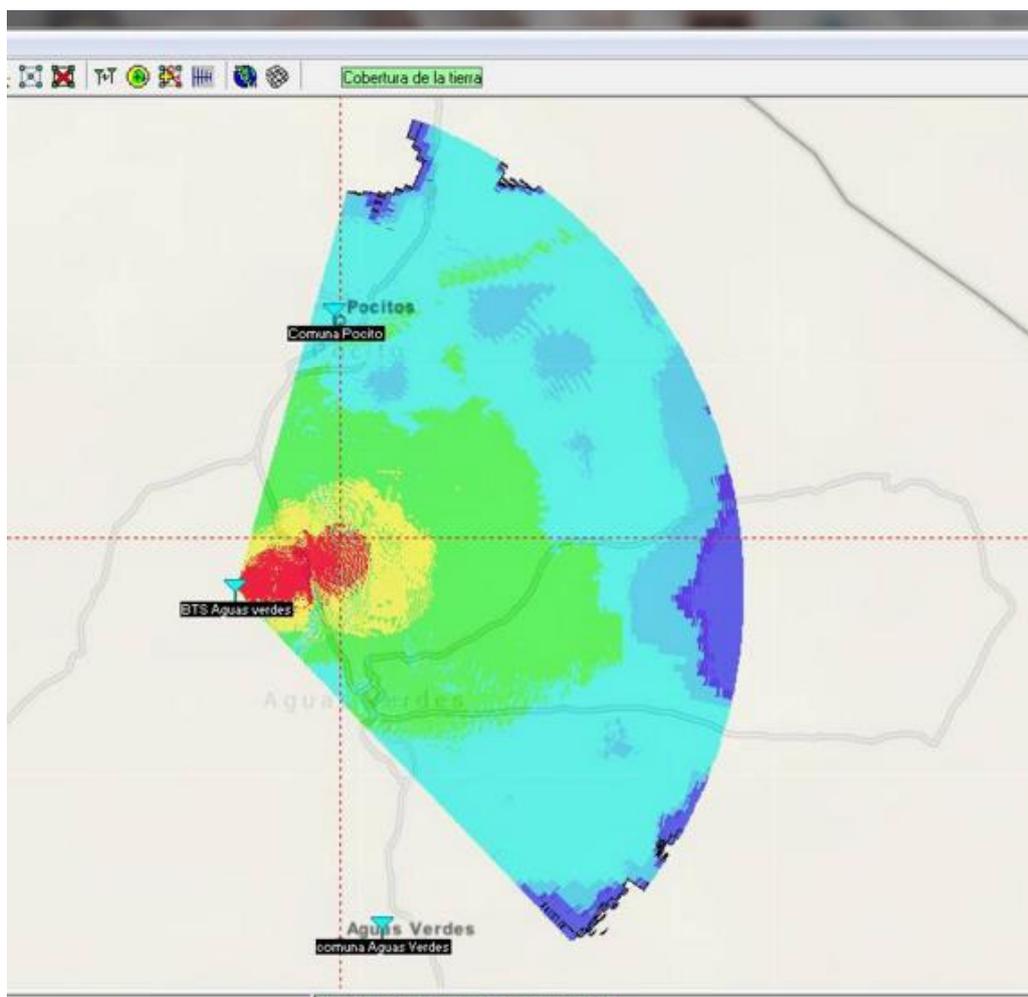


Figura 2.28 Cobertura de la antena sectorial de la BTS Aguas Verdes

2.16 Análisis socioeconómico

A continuación, se realizará un análisis económico de cuánto será la inversión y el costo de operación del sistema.

2.17 Costos de inversión

Evaluar una inversión destinada a la generación de ingresos se asienta en comparar los beneficios generados con los costos requeridos.

Conocer los costos es un prerequisite para calcular el valor de la inversión que se está considerando realizar y para calcular la cantidad necesaria anualmente para cubrir los gastos de operación.

2.17.1 Costos de la infraestructura

Dentro de la infraestructura se toma en cuenta costos de obra civil, caseta torre, obras eléctricas, sistema de seguridad, cerramiento de mampostería, cerramiento de mallas. La loma donde se instalará la estación base que se instalará en Aguas Verdes el terreno será alquilado por el propietario ya que consta de camino de acceso necesitamos construir la caseta y suministrar energía eléctrica.

Se realizará un estudio de suelo para saber el tipo de cimentación debido que es una zona rural se tomó en cuenta el tipo de clima al que va a estar sometido la estructura.

En nuestro estudio llegamos a la conclusión de instalar una radio base auto soportada que es la indicada para este tipo de áreas.

En la tabla 2.4 se indican los costos de Infraestructura, el sistema eléctrico y sistema de seguridad que necesita la estación base.

INFRAESTRUCTURA	
DESCRIPCIÓN	COSTO
<u>OBRAS PRELIMINARES (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 1.363,45
<u>CERRAMIENTO MAMPOSTERÍA (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 15.143,67
<u>CERRAMIENTO DE MALLA (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 2.449,80
<u>CIMENTOS</u>	
	\$ 236,56
<u>ÁREAS EXTERIORES (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 559,17
<u>RADIO BASE (PROVISIÓN E INSTALACIÓN, altura 30 m)</u>	
	\$ 5.820,32
<u>SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 2.507,48
<u>OBRAS ELÉCTRICAS (PROVISIÓN E INSTALACION)</u>	
	\$ 6.217,50
<u>SISTEMA DE SEGURIDAD (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 1057,23
<u>OTROS (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)</u>	
	\$ 38,87
	TOTAL COSTO
	\$ 35.394,05

Tabla 4: Costo de la infraestructura

2.17.2 Costos de equipos para instalación de la red

Se realizó la estimación de los costos de los equipos que vamos a utilizar para realizar nuestro enlace y para la red de acceso. Los costos son referenciales ya que los proveedores no proporcionan el valor de los equipos por políticas de la empresa los principales fabricantes de tecnología CDMA 450 son HUAWEI. La tabla 2.4 muestra los costos de los equipos.

EQUIPOS	
DESCRIPCIÓN	COSTO
BTS 3606 CDMA RRH- 450 MHz - Huawei BSS	
	\$ 70.000
BSC6680	
	\$ 120.000
PDCM	
	\$ 236,56
OMC	
	\$ 559,17
AAA	
	\$ 5.820,32
TERMINALES VOZ Y DATOS (178)	
	\$ 17,800
BANCO DE BATERÍAS Y SISTEMA DE RECTIFICACIÓN	
	\$ 692,00
ANTENAS Y ACCESORIOS	
	\$ 1.060
OTROS (PROVISIÓN E INSTALACIÓN)	
	\$ 38,87
	TOTAL COSTO
	\$ 216.206,92

Tabla 5: Costos de los equipos

El financiamiento de este proyecto está planificado para un periodo de 5 años y los costos de operación y mantenimiento están previstos que sean cubierto mediante el cobro de tarifas, de aquí surge la necesidad de realizar un estudio del mercado para establecer las tarifas con el fin de crear ingresos y sustentar estos costos de operación por otros 5 años ya que se espera que la red tenga una vida útil de 10 años.

2.18 Tiempo estimado de implementación

A continuación, se presentará un posible cronograma de las actividades a realizarse para la implementación de la solución propuesta para las comunas Aguas Verdes y Pocitos, se debe tener en cuenta que en las comunas no existe ninguna infraestructura implementada, por lo que hay que tomar en cuenta los tiempos de obra civil, levantamiento de cercado y demás labores relacionadas a construcción y adecuación del sitio.

El proceso de instalación primero empezara por la adecuación del terreno, el sitio elegido es una loma que se encuentra a aproximadamente 1 km de la comuna Aguas Verdes, el sitio ya cuenta con el tendido eléctrico, por lo que lo primero a realizar es el levantamiento de la torre auto soportada y la construcción de la caseta donde se alojaran los equipos, además del cerramiento para la seguridad de los mismos. Este proceso se realizará en un periodo de dos semanas, por las dificultades de acceso que tienen estas comunas.

Una vez que la antena y el lugar de los equipos estén totalmente terminados y en funcionamiento se procederá a la instalación de las antenas, una antena direccional para el enlace microondas y dos antenas sectoriales para dar servicio a las comunas, y sus debidas conexiones a los gabinetes donde se encuentran los equipos.

Una vez que todos los equipos están correctamente instalados y conectados, se requiere realizar el comisionamiento de los equipos y la carga de los parámetros lógicos correspondientes a la red, de esta tarea estará encargado un ingeniero de configuración con experiencia en este campo. Una vez instalado y configurado el sitio, se procederá a realizar las pruebas de campo para verificar que se estén cumpliendo las especificaciones de este proyecto. La tabla 2.5

muestra el cronograma de actividades para la implementación de la BTS Aguas Verdes.

Ítem	Actividad	Días																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Adecuación del terreno	■	■	■																						
2	Construcción de los cimientos			■	■																					
3	Levantamiento del cercado					■	■																			
4	Instalación de la torre						■	■	■	■	■	■	■	■	■											
5	Transporte de equipos															■										
6	Instalación de los equipos																■	■								
7	Instalación de las antenas																		■							
8	Configuración física																			■						
9	Comisionamiento de equipos																				■					
10	Pruebas de verificación																					■				
11	Evaluación de resultados																						■			
12	Optimización (de ser requerida)																						■	■	■	
13	Pruebas post-cambios																							■	■	■
14	Evaluación de resultados																							■	■	■
15	Entrega del sitio																									■

Tabla 6: Cronograma de actividades para la implementación de la BTS Aguas Verdes

CAPÍTULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Descripción

En este capítulo se realizará un análisis de los resultados obtenidos en la zona donde se realizó el estudio y de la necesidad de crear el proyecto y como beneficiara a la comunidad.

3.2 Sustentación del proyecto

Este proyecto se propone llevar acabo debido a que dos comunas se encuentran totalmente incomunicadas. Es deber del Estado poder implementar esta solución y así lograr que las comunas puedan crecer tecnológicamente y ayudarlas a progresar, ya que sería un avance importante en su desarrollo.

Mediante la solución provista se pudo comprobar que se podría dar cobertura a ambas comunas, Aguas Verdes y Pocitos, todo esto gracias a las simulaciones realizadas con el software Radio Mobile que se utilizó para el diseño de la red. La figura 3.1 muestra la cobertura total que posee la BTS Aguas Verdes.

Por medio de la simulación de Radio Mobile se comprobó que con 2 antenas sectoriales se puede brindar cobertura a las 2 comunidades de interés, lo cual ya se había planteado al realizar los cálculos teóricos anteriormente.

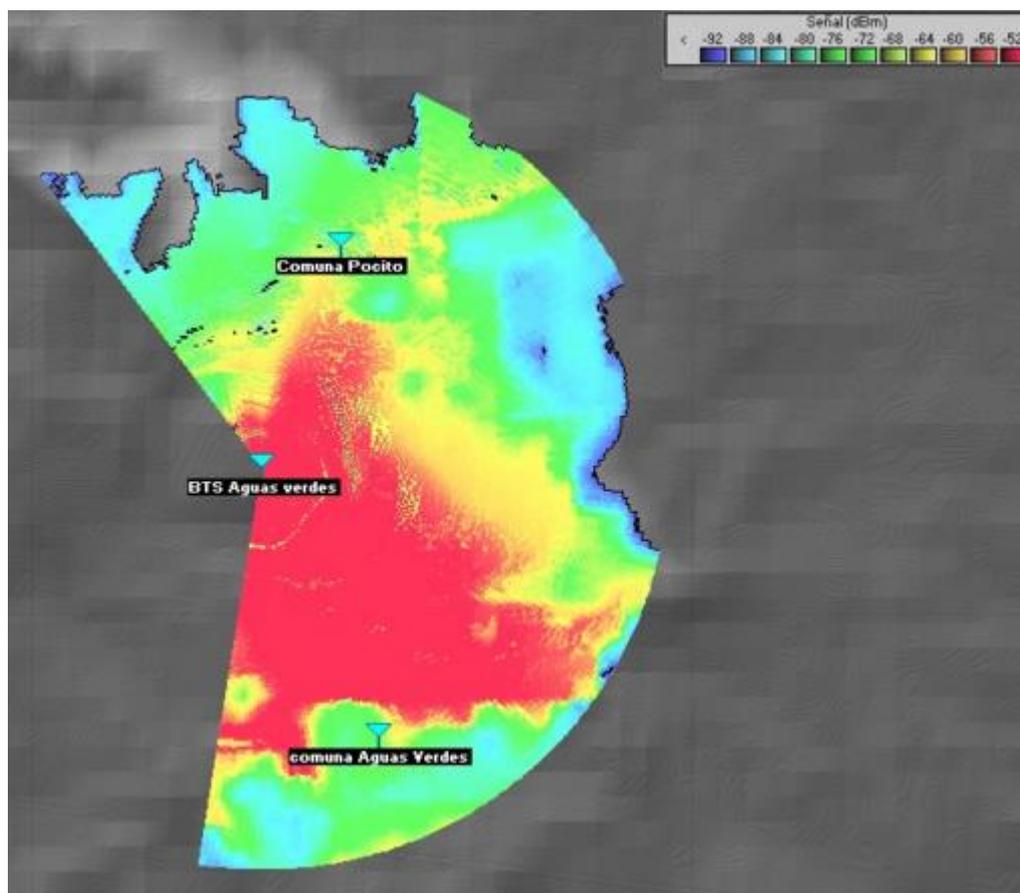


Figura 3.1 Cobertura total de la BTS Aguas Verdes

3.3 Lugar de implementación del proyecto

En el estudio realizado en la comunidad de aguas verdes se pudo constatar que las condiciones climáticas y el difícil acceso a la zona eran los desafíos que se debían tener en cuenta a la hora de la implementación del proyecto.

Se hizo el estudio por la necesidad de la población de tener un mejor servicio de comunicación ya que en el lugar no existe comunicación alguna y los habitantes para poder comunicarse tenían que subir a los cerros más altos que existen cerca de la comunidad y así poder realizar llamadas siempre y cuando el clima se los permita ya que si el clima es lluvioso no pueden salir de sus casas y quedarían totalmente incomunicados.

Se determinó que el lugar ideal para la implementación de la BTS Aguas Verdes sería en un cerro cerca de la comuna, desde el cual también se podría dar servicio la comuna de Pocitos que se encuentra cerca de Aguas Verdes.

3.4 Análisis de los valores obtenidos en el simulador Radio Mobile

En nuestro sistema a implementar vamos a utilizar un enlace de radio que trabaja a 7.5 GHz, esto nos servirá para el enlace de la torre que se encuentra en cerro Ánimas con la BTS Aguas Verdes que será implementada en la loma de Aguas Verdes. La tecnología que se va a utilizar para dar servicio a la comunidad será CDMA450 la cual trabaja a los 450 MHz el cual será implementada una red de voz y datos. Esta tecnología es la indicada y la cual CNT provee para zonas rurales de baja densidad poblacional.

Con los datos obtenidos mediante el simulador podemos asegurar que la tanto la comunidad de Aguas Verdes, así como la comuna Pocitos, que se encuentra a pocos minutos de la anteriormente mencionada, cuentan con total cobertura mediante la solución implementada.

Para nuestra red de enlace se tomó en cuenta varios parámetros tales como el clima la geografía del lugar distancias posibles para establecer comunicación con nuestra BTS a instalar en la loma de aguas verdes en la cual llegamos a la conclusión de que el enlace adecuado sería con el radio que se encuentra en el cerro Ánimas, como se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2 Enlace entre Ánimas y BTS Aguas Verdes

Se eligió Cerro Ánimas debido a que este contaba con la menor cantidad de obstáculos y sería el indicado para realizar este enlace, sin embargo también se realizó este ejercicio con otros enlaces posible que se encontraban en otros cerros, en la figura 3.3 se muestra otro enlace que se tuvo en cuenta, entre cerro González y la BTS Aguas Verdes, pero este se descartó debido a la gran cantidad de obstáculos en la línea de vista.

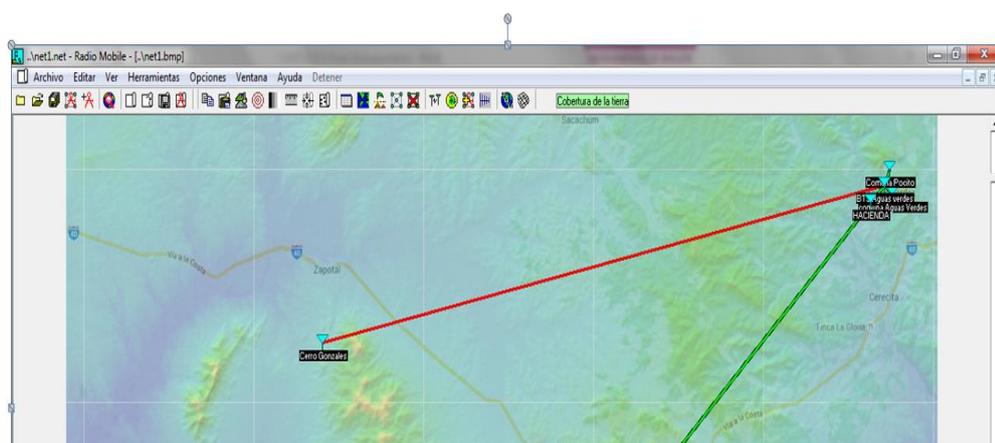


Figura 3.3 Enlace entre cerro González y BTS Aguas Verdes

En la figura 3.4 se muestra el perfil de elevación entre Cerro Ánimas y la BTS Aguas Verdes, mientras en la figura 3.5 se muestra el perfil de elevación entre Cerro González y la BTS Aguas Verdes, esto valida por qué se eligió cerro Ánimas por sobre cerro González.

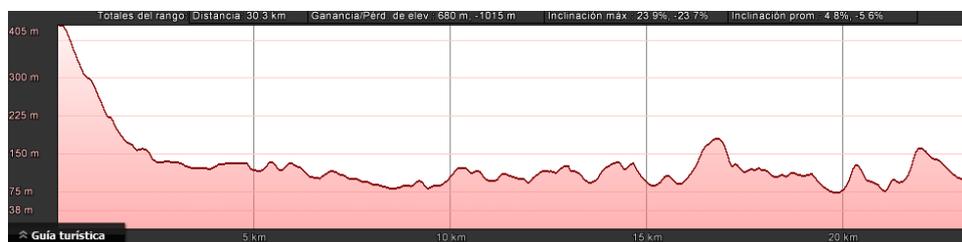


Figura 3.4 Perfil de elevación entre cerro Ánimas y Aguas Verdes



Figura 3.5 Perfil de elevación entre cerro González y Aguas Verdes

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Mediante este proyecto se busca dar solución a la brecha digital que existe en la comuna de Pocito y la comuna de Aguas Verdes, ya que la comunicación es necesidad para el desarrollo de una economía y para que los pueblos tengan una mejor calidad de vida.
2. Mediante el análisis geográfico realizado con el software Radio Mobile, se eligió el enlace entre cerro Ánimas y Aguas Verdes, debido a que este enlace no presentaba mayores obstáculos en la línea de vista y esto lo convertía en la mejor opción para este diseño.
3. El análisis de cobertura reveló que debido a la ubicación donde se implementaría la BTS Aguas Verdes, ésta garantizaría que se pueda dar cobertura a las comunas de Aguas Verdes y Pocitos, asegurando una buena calidad de servicio.
4. La tecnología CDMA 450 es de amplio uso a nivel mundial, utilizada para extender el servicio de comunicaciones a lugares remotos y de difícil acceso. Su uso adecuado es en ambientes rurales con fuentes de tráfico limitado y disperso.
5. Se espera con este proyecto dar a conocer un poco la situación en que se encuentran estas comunas y concientizar en que se debe ayudar a mejorar la calidad de vida de estas personas y que reciban apoyo de las autoridades competentes para que no solo se mejore en lo tecnológico, sino también en aspectos más importantes como servicios básicos.

Recomendaciones

1. Sería conveniente que este sea adoptado por el MINTEL y ejecutado con financiamiento del FODETEL para que sea factible su realización y no quede solo como un proyecto teórico y sirva para ser implementado no solo en estas comunas, sino también en otros sitios remotos donde no hay comunicación.
2. Se debería realizar una campaña para poder instruir a los habitantes de estas comunas en el uso de los dispositivos, ya que por primera vez van a poder tener acceso a internet y sería importante poderlos ayudar en que puedan sacar provecho de esta nueva tecnología que llegara a sus hogares.
3. Para el futuro sería conveniente poder migrar esta tecnología a otro tipo de solución, como lo es 4G, ya que el mundo de las telecomunicaciones está avanzando y se van produciendo mejoras, aunque este proyecto es viable para estas comunidades remotas, en el futuro se espera proveer otro tipo de solución.
4. Sería conveniente que las operadoras trabajen más en proyecto de este tipo que sirvan a comunidades que se encuentran en zonas de difíciles accesos ya que así se promueve el desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Constitución de la República del Ecuador” Sección tercera, Comunicación e Información, Art. 16. Reforma 2008.
- [2] “Constitución de la República del Ecuador” Sección octava, Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, Art. 387. Reforma 2008.
- [3] Asamblea Nacional República del Ecuador, “Titulo X, Sociedad de la información y del conocimiento y servicio universal, Artículo 88” en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones 2015, Quito, Ecuador 2015, pp. 24.
- [4] Asamblea Nacional República del Ecuador, “Titulo X, Sociedad de la información y del conocimiento y servicio universal, Artículo 89” en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones 2015, Quito, Ecuador 2015, pp. 24-25.
- [5] Asamblea Nacional República del Ecuador, “Titulo X, Sociedad de la información y del conocimiento y servicio universal, Artículo 90” en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones 2015, Quito, Ecuador 2015, pp. 25.
- [6] Asamblea Nacional República del Ecuador, “Titulo X, Sociedad de la información y del conocimiento y servicio universal, Artículo 91” en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones 2015, Quito, Ecuador 2015, pp. 25.
- [7] CDMA Development Group. (2015, Octubre 30). CDMA Technology [En línea]. Disponible en: <http://www.cdg.org/technology/cdma.asp>
- [8] J.K. Paredes, "Diseño de una red inalámbrica con tecnología CDMA 450 para proveer servicios de voz y datos en centros educativos ubicados en la parroquia Colonche y sus alrededores" Tesis de grado, Ing. Electrónica y Telecomunicaciones, UPSE, La Libertad, Ecuador, 2013.
- [9] Radio Electronics. (2015). CDMA 450 – CDMA at the 450 MHz [En línea]. Disponible en: <http://www.radio-electronics.com/info/celular telecomms/3ggp2/cdma450-basics-tutorial.php>

- [10] CDMA Development Group. (2011).CDMA450 Global Update [En línea]. Disponible en: https://www.cdg.org/resources/files/fact_sheets/CDMA450%20World%20Update_01MAR2011.pdf
- [11] Arcotel. (2015, Octubre 30).CDMA 450 Comparación anual de radiobases por operador y por provincia [En línea]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas/>
- [12] José Luis Gómez Ferrer de Couto. (2010, Enero 17). “Calculando un enlace punto a punto con Radio Mobile” [En línea]. Disponible en: <http://blog.e2h.net/2010/01/17/calculando-un-enlace-de-radio-punto-a-punto-con-radio-mobile/>
- [13] The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (2011, Octubre) Cálculo de Presupuesto de Potencia [En línea]. Disponible en: http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/07-Presupuesto_de_potencia-es-v1.14-Notes.pdf
- [14] Grupo de Radio comunicación Departamento SSR (2007, Febrero). Tutorial de Radio Mobile