



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DE LA TESIS:

**“Análisis de factibilidad técnica en la implementación de una red WRAN
(IEEE 802.22) en escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y
urbanos marginales de la Provincia del Guayas”**

Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones

ELABORADO POR:

ING. WALTER OCTAVIO MAGGI SILVA

TUTOR:

Dr. HÉCTOR RAMÓN SÁNCHEZ PAZ

Guayaquil, a los 06 días del Octubre año 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Magíster Walter Octavio Maggi Silva como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 06 días del mes Octubre año 2014

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Héctor Sánchez

REVISORES:

Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre, MSc.

Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, WALTER OCTAVIO MAGGI SILVA

DECLARO QUE:

La tesis “Análisis de factibilidad técnica en la implementación de una red WRAN (IEEE 802.22) en escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas” previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 06 días del mes Octubre año 2014

EL AUTOR

Walter Octavio Maggi Silva



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, WALTER OCTAVIO MAGGI SILVA

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: “Análisis de factibilidad técnica en la implementación de una red WRAN (IEEE 802.22) en escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 06 días del mes Octubre año 2014

EL AUTOR

Walter Octavio Maggi Silva

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, todopoderoso, que siempre ha guiado mi vida y supo darme fuerzas cuando me faltaban.

Walter Maggi Silva.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi esposa Natalia, por su apoyo, comprensión y paciencia, en los momentos difíciles, a mi madre Dina, amigos y familiares, que me apoyaron en todo momento con sus consejos, para obtener este logro tan importante, en mi vida profesional.

Walter Maggi Silva.

RESUMEN

En el presente documento se detalla el diseño de una Red WRAN (*Wireless Regional Area Network*), basada en el estándar IEEE 802.22 que, de acuerdo con los resultados obtenidos, en caso de implementarse, permitiría proporcionar a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas, la capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación basado en internet. La investigación es de tipo descriptiva con un análisis de datos predominantemente cuantitativo, debido a la naturaleza de la información, y con una perspectiva transversal por lo que los resultados son válidos únicamente dentro del lapso de tiempo actual y puntualmente en la zona objeto de estudio.

ABSTRACT

This paper describes the design of a Wireless Regional Area Network (WRAN), based on IEEE 802.22 standard that, according to results obtained, its implementation would be able to provide to public schools in rural and marginal urban areas of Guayas Province, access capacity to an internet-based integral communication. This work is a descriptive investigation with a predominantly quantitative data analysis and a transversal perspective so that the results are valid only within the period of actual time and in the study area specifically.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación	4
1.4 Problema.....	4
1.5 Objetivo	4
1.6 Campo de acción.....	5
1.7 Impacto social.....	5
1.8 Hipótesis.....	7
1.9 Resultado	7
1.10 Metodología.....	7
CAPÍTULO 2	10
2.1 Redes inalámbricas	10
2.2 Comité de Estándares IEEE 802	10
2.3 Estándares IEEE 802.11	12
2.4 IEEE Std P802.11-1997	12
2.5 IEEE Std P802.11a-1999.....	13
2.6 IEEE Std P802.11b-1999	13

2.7 IEEE Std P802.11g-2003	13
2.8 IEEE Std P802.11n-2009	14
2.9 IEEE Std P802.11ac-2013	14
2.10 IEEE Std P802.11ad-2012.....	14
2.11 IEEE Std P802.11af-2013.....	15
2.12 IEEE Std P802.11ax (en proceso).....	15
2.13 Estándares IEEE 802.15.1-2002, IEEE 802.15.4-2011 e IEEE 802.15.6-2012	16
2.14 IEEE Std P802.16-2001	18
2.15 IEEE Std P802.16d-2004.....	18
2.16 IEEE Std P802.16e-2005.....	18
2.17 IEEE Std P802.16m-2011.....	19
2.18 IEEE Std P802.22-2011	20
2.19 Fundamentos Técnicos.	20
• Topología del Sistema:	20
• Área de Cobertura	21
• La capacidad del sistema.....	21
2.20 Características de IEEE 802.22.....	21
2.21 Radio Cognitiva	23
2.22 Área de cobertura de WRAN.....	23
2.23 Diferencias entre IEEE 802.11af e IEEE 802.22.....	24
2.24 Diferencias en la capa física (PHY).	24
2.25 Diferencias en la capa de Control de Acceso al Medio (MAC).	26
2.26 Interfaz con dispositivos de Geolocalización.	27
CAPÍTULO 3	29
3.1 Determinación de la población a atender	29
3.2 Determinación de los sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas.....	30

3.3 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas.....	33
CAPÍTULO 4	43
4.1 El Estándar IEEE 802.22.....	43
• Subtrama de Bajada de Información (DS)	47
• Subtrama de Subida de Información (US)	47
▪ Período de Silencio (Quiet Period).....	47
▪ Antena Directiva	48
▪ Antena de la Estación Base	48
4.2 Uso de Tecnologías de Espectro Ensanchado en el Ecuador.	49
CAPÍTULO 5	57
5.1 Diseño de la Red WRAN para la Provincia del Guayas.	57
5.2 Arquitectura del Sistema.	57
5.3 Planeación de Radiofrecuencia.....	69
5.4 Demanda del tráfico	69
5.5 Planeación de Capacidad.....	70
5.6 Razón de Sobresuscripción.....	70
5.7 Número de suscriptores por canal de envío.....	70
5.8 Ubicación de la Estación Base.....	72
5.9 Ubicación de los suscriptores	72
5.10 Análisis de Cobertura del Sistema	74
5.11 Enlace Posorja.....	75
5.12 Enlace Colimes	76
5.13 Enlace Eloy Alfaro (Durán).....	77
5.14 Enlace Samborondón.....	78
5.15 Enlace Yaguachi	79
5.16 Enlace General Villamil (Playas).....	80
5.17 Enlace Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).....	81

5.18 Enlace Marcelino Maridueña.....	82
5.19 Enlace Balao	83
5.20 Enlace Naranjal.....	84
5.21 Enlace General Antonio Elizalde (Bucay)	85
5.22 Enlace El Triunfo	86
5.23 Enlace Naranjito.....	87
5.24 Enlace Milagro.....	88
5.25 Enlace Simón Bolívar.....	89
5.26 Enlace Urbina Jado (Salitre).....	90
5.27 Enlace Daule	91
5.28 Enlace Vicente Piedrahita (Nobol)	92
5.29 Enlace Lomas de Sargentillo	93
5.30 Enlace Isidro Ayora.....	94
5.31 Enlace Pedro Carbo	95
5.32 Enlace Palestina	96
5.33 Enlace Santa Lucía.....	97
5.34 Enlace Balzar	98
5.35 Enlace Velasco Ibarra (El Empalme).....	99
5.36 Perfil de Servicios	101
5.37 Inversión requerida y costos de capital	102
Conclusiones.....	106
Recomendaciones	108
Bibliografía:.....	109
Glosario	113

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2. 1 Prototipo de equipo IEEE 802.11ax de Huawei	15
Figura 2. 2 Imagen comparativa de tecnologías inalámbricas de baja potencia	17
Figura 2. 3 Parámetros básicos del estándar IEEE802.11.....	21
Figura 3 1 Porcentaje de la población en zonas Urbanas y rurales en la Provincia del Guayas.....	31
Figura 3 2 Disponibilidad de Internet en las zonas de la Provincia del Guayas	31
Figura 3 3 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de la Provincia del Guayas .	32
Figura 3 4 Disponibilidad de Internet en las zonas de la Provincia del Guayas	33
Figura 3 5 Índice de acceso a Internet en los sectores rurales de los cantones de la Provincia del Guayas	40
Figura 3 6 Población económicamente activa de la Provincia del Guayas.....	41
Figura 3 7 Porcentaje de la población rural de la Provincia del Guayas que acude a un establecimiento de enseñanza regular	41
Figura 3 8 Proyección de acceso a Internet en las zonas rurales de la Provincia del Guayas con la red WRAN.....	42
Figura 4. 1 Espectro de una señal OFDM	43
Figura 4. 2 Modulación Adaptativa	44
Figura 4. 3 Canales WRAN.....	45
Figura 4. 4 Supertrama IEEE 802.22	46
Figura 4. 5 Trama MAC IEEE 802.22	47
Figura 4. 6 Canales IEEE 802.22.....	48
Figura 4. 7 Cobertura WRAN	48
Figura 4. 8 Parámetros Básicos del Estándar IEEE 802.22	49
Figura 4. 9 Certificado de Registro de Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha Parte 1	54
Figura 4. 10 Certificado de Registro de Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha Parte 2	55
Figura 5. 1 Modelo de diseño de la red WRAN.....	57

Figura 5. 2 Arquitectura del sistema.....	58
Figura 5. 3 Configuración del Suscriptor.....	58
Figura 5. 4 Antena CableTech modelo ANT0559.....	59
Figura 5. 5 Switch Cisco Catalyst 3560.....	59
Figura 5. 6 Configuración de la estación base.....	60
Figura 5. 7 Antena PCTEL MFB8135.....	60
Figura 5. 8 Router Cisco 3845.....	61
Figura 5. 9 Servidor HP ProLiant DL320e Gen8.....	62
Figura 5. 10 Prototipo de Radio Base IEEE 802.22 desarrollado por NICT y Hitachi-Kokusai Electric, Inc.....	63
Figura 5. 11 Prototipo de CPE móvil.....	64
Figura 5. 12 Base de datos geográficamente referenciada de espacios en blanco del espectro en Japón.....	65
Figura 5. 13 Detalle de la base de datos desarrollada por NICT para el Japón.....	66
Figura 5. 14 Base de datos del espectro desarrollada por Google para Estados Unidos	67
Figura 5. 15 Prueba de campo del primer sistema WRAN.....	68
Figura 5. 16 Perfil topográfico de Cerro Azul.....	72
Figura 5. 17 Configuración de la Red.....	73
Figura 5. 18 Simulación del enlace Posorja.....	75
Figura 5. 19 Detalles del enlace Posorja.....	75
Figura 5. 20 Simulación del enlace Colimes.....	76
Figura 5. 21 Detalles del enlace Colimes.....	76
Figura 5. 22 Simulación del enlace Eloy Alfaro (Durán).....	77
Figura 5. 23 Detalles del enlace Eloy Alfaro (Durán).....	77
Figura 5. 24 Simulación del enlace Samborondón.....	78
Figura 5. 25 Detalles del enlace Samborondón.....	78
Figura 5. 26 Simulación del enlace Yaguachi.....	79
Figura 5. 27 Detalles del enlace Yaguachi.....	79
Figura 5. 28 Simulación del enlace Playas.....	80
Figura 5. 29 Detalles del enlace Playas.....	80
Figura 5. 30 Simulación del enlace Jujan.....	81
Figura 5. 31 Detalles del enlace Jujan.....	81
Figura 5. 32 Simulación del enlace Marcelino Maridueña.....	82

Figura 5. 33 Detalles del enlace Marcelino Maridueña	82
Figura 5. 34 Simulación del enlace Balao.....	83
Figura 5. 35 Detalles del enlace Balao.....	83
Figura 5. 36 Simulación del enlace Naranjal	84
Figura 5. 37 Detalles del enlace Naranjal	84
Figura 5. 38 Simulación del enlace Bucay.....	85
Figura 5. 39 Detalles del enlace Bucay.....	85
Figura 5. 40 Simulación del enlace El Triunfo.....	86
Figura 5. 41 Detalles del enlace El Triunfo	86
Figura 5. 42 Simulación del enlace Naranjito	87
Figura 5. 43 Detalles del enlace Naranjito	87
Figura 5. 44 Simulación del enlace Milagro	88
Figura 5. 45 Detalles del enlace Milagro	88
Figura 5. 46 Simulación del enlace Simón Bolívar	89
Figura 5. 47 Detalles del enlace Simón Bolívar	89
Figura 5. 48 Simulación del enlace Salitre.....	90
Figura 5. 49 Detalles del enlace Salitre.....	90
Figura 5. 50 Simulación del enlace Daule	91
Figura 5. 51 Detalles del enlace Daule	91
Figura 5. 52 Simulación del enlace Nobol.....	92
Figura 5. 53 Detalles del enlace Nobol.....	92
Figura 5. 54 Simulación del enlace Lomas de Sargentillo.....	93
Figura 5. 55 Detalles del enlace Lomas de Sargentillo.....	93
Figura 5. 56 Simulación del enlace Isidro Ayora.....	94
Figura 5. 57 Detalles del enlace Isidro Ayora	94
Figura 5. 58 Simulación del enlace Pedro Carbo	95
Figura 5. 59 Detalles del enlace Pedro Carbo	95
Figura 5. 60 Simulación del enlace Palestina.....	96
Figura 5. 61 Detalles del enlace Palestina.....	96
Figura 5. 62 Simulación del enlace Santa Lucía	97
Figura 5. 63 Detalles del enlace Santa Lucía	97
Figura 5. 64 Simulación del enlace Balzar.....	98
Figura 5. 65 Detalles del enlace Balzar.....	98

Figura 5. 66 Simulación del enlace El Empalme.....	99
Figura 5. 67 Simulación del enlace Balzar – Repetidor.....	100
Figura 5. 68 Simulación del enlace Repetidor – El Empalme.....	100
Figura 5. 69 Ruta Cerro Azul – El Empalme	101

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2. 1 Principales estándares IEEE 802 de sistemas de comunicación inalámbricos.....	11
Tabla 2. 2 Características técnicas de los principales estándares IEEE 802.11	16
Tabla 2. 3 Características técnicas de los principales estándares IEEE 802.16	19
Tabla 2. 4 Comparación de los parámetros de capa física de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22	25
Tabla 2. 5 Parámetros de Tasa de Codificación y duración de símbolo de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22	25
Tabla 2. 6 Comparación de los parámetros de capa MAC de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22	26
Tabla 2. 7 Comparación de los parámetros de capa cognitiva de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22	27
Tabla 3. 1 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 1	33
Tabla 3. 2 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 2	34
Tabla 3. 3 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 3	35
Tabla 3. 4 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 4	36
Tabla 3. 5 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 5	37
Tabla 3. 6 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 6	38
Tabla 3. 7 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas Parte 7	39
Tabla 5. 1 Especificaciones del prototipo de equipo base	63
Tabla 5. 2 Especificaciones del prototipo de CPE.....	64
Tabla 5. 3 Capacidad del canal	69
Tabla 5. 4 Cobertura y capacidad del sistema WRAN	71

Tabla 5. 5 Estaciones Fijas del Sistema Punto - Multipunto Parte 1	73
Tabla 5. 6 Estaciones Fijas del Sistema Punto – Multipunto Parte 2.....	73
Tabla 5. 7 Equipos de telecomunicaciones de estación base.....	103
Tabla 5. 8 Infraestructura y sistema de energía de la estación base	103
Tabla 5. 9 Costo total de estación base	103
Tabla 5. 10 Equipos de telecomunicaciones de suscriptor	104
Tabla 5. 11 Infraestructura y sistema de energía del suscriptor	104
Tabla 5. 12 Costo total suscriptores	105
Tabla 5. 13 Costo total estimado.....	105

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Las redes de telecomunicaciones inalámbricas ofrecen las ventajas de la conectividad de red sin las limitaciones que supone estar atado a un sitio determinado mediante conexiones físicas. Además en los últimos años el sector de las telecomunicaciones ha experimentado un crecimiento explosivo, destacándose las redes de tecnología celular y las redes Wi – Fi (*Wireless Fidelity*). Esta última está presente en lugares tales como centros comerciales, aeropuertos, restaurantes y en los hogares, proporcionando acceso a varios servicios basados en Internet de manera inalámbrica. Debido a los bajos costos y facilidad de acceso de este tipo de redes, el Estado ecuatoriano recurre frecuentemente a tecnologías Wi – Fi para proporcionar conectividad en los sectores vulnerables de la sociedad ecuatoriana. Sin embargo este tipo de redes en muchas ocasiones no proporcionan la cobertura requerida para garantizar la inclusión digital de los sectores rurales y urbanos marginales del país, por este motivo se hace evidente la necesidad de hacer uso de nuevos sistemas de acceso inalámbrico que proporcionen una mayor cobertura tales como la tecnología WRAN (*Wireless Regional Area Network*). Este nuevo tipo de tecnología que actualmente está emergiendo en el sector de las telecomunicaciones y que está normado bajo el estándar IEEE 802.22 proporciona acceso a servicios de banda ancha inalámbrica con un alcance teórico de hasta 100 kilómetros (IEEE *Standards Association*, 2011). Esto lo vuelve particularmente útil para su utilización en poblaciones de áreas marginales donde, debido al bajo poder adquisitivo de los pobladores, así como a una distribución poblacional poco favorable, no resulta rentable a las empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones privadas desplegar infraestructura y por lo tanto debe intervenir el Estado como ente obligado a garantizar el acceso universal a las Tecnologías de la Información y Comunicación (Asamblea Constituyente, 2008).

El estándar IEEE 802.22 es una normativa técnica internacional emitida por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, conocido bajo las siglas IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), el mismo que ha publicado importantes

estándares del sector de las telecomunicaciones y que se han implementado exitosamente a nivel mundial tales como:

- IEEE 802.11. Es un estándar de acceso inalámbrico a redes de área local que define los parámetros básicos que se deben implementar a nivel de las capas de enlace de datos y física según el modelo OSI (*Open System Interconnection*). Las tecnologías que operan en este estándar son conocidas como Wi – Fi.
- Red de Área Personal Inalámbrica, conocida como *Bluetooth* (IEEE 802.15)
- Red de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha, llamada Wimax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, estándar IEEE 802.16)

El estándar IEEE 802.22, se basa en el empleo de una porción del espectro de frecuencias VHF (*Very High Frequency*) y UHF (*Ultra High Frequency*) situado entre los 54 MHz y los 862 MHz para establecer una red de área regional, a una tasa de transferencia de datos teórica de hasta 22 Mbps (Mega bits por segundo) por canal.¹

La principal novedad que incorpora el reciente estándar IEEE 802.22 es que se trata del primer estándar inalámbrico que implementa el paradigma de radio cognitiva (Mahmoud, 2007), el cual es un modelo de transmisión en donde los parámetros de la conexión en emisión y/o recepción de señal pueden ser modificados en cualquier momento por los nodos interconectados. Un modo de funcionamiento que hace más eficiente la conexión inalámbrica ya que proporciona al usuario los servicios y recursos de conexión más adecuados a la actividad de cada momento, sin que el usuario tenga que intervenir resultándole totalmente transparente su operatividad.

1.2 Antecedentes

Desde los inicios de la humanidad un tema fundamental con respecto al desarrollo y progreso de los pueblos ha sido la necesidad de comunicación. En los últimos años los avances de la tecnología han permitido contar con redes de telecomunicaciones de altas prestaciones y excelente rendimiento. Sin embargo, aún existen en el país sectores en

¹ (IEEE Standards Association, 2011)

donde no se cuenta con servicios de telecomunicaciones básicos, lo que limita en cierta medida el desarrollo de los pueblos de manera integral.

La problemática para llevar este tipo de servicios a las zonas alejadas de los núcleos urbanos o a zonas de baja densidad poblacional es de sobremanera económica. Para alcanzar las zonas menos pobladas y remotas, los operadores tienen que afrontar importantes inversiones en equipamiento para superar distancias y dificultades orográficas, en unas condiciones de dudosa rentabilidad comercial. Una situación que puede parecer, simplemente, un problema “comercial” de los operadores. Sólo decidir si asumen o no los riesgos de dar cobertura a una determinada zona, dentro de su estrategia de negocio. Sin embargo, en la práctica, para los usuarios afectados es una decisión que condiciona directamente sus posibilidades de desarrollo personal y profesional.

Para todos es evidente la gran diferencia en los servicios que hay disponibles dentro de las infraestructuras de comunicación de las zonas muy pobladas, las ciudades, respecto a aquellas otras en donde la densidad de habitantes es mucho más reducida, el ámbito rural. Un problema que no es exclusivo de Ecuador. Se da en todos los países en mayor o menor medida y el tamaño de esta brecha tecnológica está condicionado por el nivel de desarrollo del país, su extensión geográfica y, por supuesto, el número de habitantes. Afecta por igual a ciudadanos en su actividad privada como a las empresas en su acción de negocio. Mientras que para su ámbito privado los usuarios pueden aclimatarse a las carencias de los servicios de datos que tengan disponibles en su zona de residencia, no ocurre lo mismo en su esfera profesional y mucho menos a nivel empresarial. Hoy por hoy, las posibilidades de acceso que tenga el emplazamiento de las compañías y profesionales a los servicios de datos marcan sus costos y sus posibilidades de negocio. Prácticamente se puede afirmar que sus posibilidades de éxito y supervivencia están en proporción directa a la calidad y uso de sus comunicaciones. En esta “sociedad de la información”, el acceso a los servicios de datos no es algo que pueda ser considerado secundario o accesorio.

1.3 Justificación

Las operadoras del país tienen por obligación como parte del Plan de Servicio Universal, dar cobertura a zonas rurales del área de concesión de sus servicios. Las zonas rurales y principalmente las que se encuentran ubicadas en países en desarrollo son las más afectadas en cuanto a la penetración de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Las tecnologías inalámbricas se han convertido en una vía de solución económica para llevar las telecomunicaciones a estos territorios gracias a sus bajos costos y la capacidad de conectar varios puntos sin la necesidad de emplear conexiones físicas.

Los medios de transmisión que disponen las operadoras para dar solución a esta problemática son los medios guiados (cables) y no guiados (inalámbricos), sin embargo la opción más viable debido a la poca inversión y buen rendimiento que podría presentar la red sería el uso de medios no guiados. En este punto, el problema se presenta, en elegir una tecnología inalámbrica adecuada para este tipo de usuarios, como lo es la tecnología WRAN.

1.4 Problema

Acceso insuficiente a los servicios básicos de telecomunicaciones en las zonas rurales y urbanas marginales de la Provincia del Guayas.

1.5 Objetivo General

Diseñar una red de área regional basada en el estándar IEEE 802.22 que proporcione, a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas, la capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación conformado por:

- Comunicaciones Unificadas
 - Telefonía IP
 - Mensajería unificada
 - Vídeo conferencia

- Tránsito al *Backbone* o conexión troncal de acceso a internet.
- Acceso a Correo Electrónico.
- Búsqueda y transferencia de archivos.
- Acceso a la Red Informática Mundial o World Wide Web.

Objetivos Específicos:

1. Realizar un análisis comparativo de las principales tecnologías de redes de datos inalámbricas.
2. Caracterizar los beneficios de la tecnología WRAN.
3. Diseñar una red WRAN que cubra la necesidad del servicio de Internet en las escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas.

1.6 Campo de acción

El campo de acción de la presente investigación son las redes inalámbricas, específicamente la tecnología WRAN, la cual brinda opciones para proporcionar servicios de telecomunicaciones en zonas donde usuarios están dispersos o alejados, en la cual los medios cableados presentan varias limitantes.

1.7 Impacto social

Al diseñar una red WRAN para proporcionar capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación en las escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia de Guayas, se proporcionaría una solución a la falta de este servicio en los centros educativos de la Provincia y se contribuirá con el cumplimiento del objetivo 4.4 literal j del Plan Nacional del Buen Vivir mencionado a continuación:

- “Crear y fortalecer infraestructura, equipamiento y tecnologías que, junto al talento humano capacitado, promuevan el desarrollo de las capacidades creativas, cognitivas y de innovación a lo largo de la

educación, en todos los niveles, con criterios de inclusión y pertinencia cultural.” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), 2013)

Por este motivo, y con la finalidad de optimizar el impacto social del presente trabajo, se han escogido los centros educativos de los sectores rurales y urbanos marginales de las cabeceras cantonales de la Provincia que, o bien cuentan con un mayor número de estudiantes, o cuentan con una mayor necesidad de mejora en su infraestructura tecnológica, estos centros educativos son los siguientes:

- Escuela Fiscal 12 de Abril, cantón Guayaquil.
- Escuela Fiscal Enriqueta Macías Guadamud, cantón Colimes.
- Escuela Fiscal Huancavilca #74, cantón Eloy Alfaro (Durán)
- Escuela Fiscal Elías Yúnes, cantón Samborondón
- Colegio Fiscal 21 de Julio , cantón Yaguachi
- Colegio Fiscal 15 de Agosto, cantón General Villamil (Playas)
- Colegio Fiscal Presidente Vicente Ramón Roca, cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan)
- Colegio Fiscal Marcelino Maridueña, cantón Marcelino Maridueña
- Escuela Fiscal Mixta Miraflores, cantón Balao
- Escuela Fiscal Abdón Calderón , cantón Naranjal
- Colegio Fiscal Antonio Elizalde, cantón General Antonio Elizalde (Bucay)
- Escuela Fiscal Juan Montalvo, cantón El Triunfo
- Colegio Fiscal Naranjito , cantón Naranjito
- Escuela Fiscal Simón Bolívar, cantón Milagro
- Colegio Fisco-Misional Arsenio López, cantón Simón Bolívar
- Escuela Fiscal Coronel Brito, cantón Urbina Jado (Salitre)
- Escuela Fiscal Hugo Serrano, cantón Daule
- Escuela Fiscal Beata Narcisa de Jesús, cantón Vicente Piedrahita (Nobol)
- Escuela Fiscal 5 de Septiembre, cantón Lomas de Sargentillo
- Colegio Fiscal Isidro Ayora, cantón Isidro Ayora
- Escuela Fiscal José Luis Tamayo, cantón Pedro Carbo

- Escuela Fiscal Rosa Borja de Icaza, cantón Palestina
- Escuela Fiscal Eloy Velásquez Cevallos, cantón Santa Lucía
- Escuela Fiscal 19 de Mayo, cantón Balzar
- Colegio Fiscal 9 de Octubre, cantón Velasco Ibarra (El Empalme)

1.8 Hipótesis

El diseño de una Red WRAN permitirá dotar de capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas, con lo cual se mejora la calidad de vida de las personas que habitan en el sitio antes mencionado.

1.9 Resultado

Diseño de una red WRAN que proporcione capacidad de acceso un servicio integral de comunicación en las escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas.

1.10 Metodología

El presente trabajo corresponde a una propuesta de intervención de carácter técnica que se fundamenta en la teoría metodológica para determinar los resultados en base a la investigación científica.

De acuerdo a la hipótesis planteada previamente, el trabajo corresponde a una investigación de tipo descriptiva, ya que a través de herramientas técnicas junto con la metodología científica correspondiente se busca describir una propuesta de red, haciendo uso de la tecnología WRAN, que permitirá proporcionar capacidad de acceso a las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas. El fin del presente trabajo es describir dicha red, determinar si es capaz de cubrir la demanda insatisfecha de acceso a un servicio integral de comunicación en el territorio objeto de estudio.

El análisis se hará considerando a la investigación como de tipo mixta, es decir que presenta tanto análisis de tipo cualitativo como cuantitativo, sin embargo, debido a la naturaleza del objeto materia de estudio, el trabajo será con un dominio marcado de lo cuantitativo por sobre lo cualitativo.

Los datos analizados corresponderán a observaciones efectuadas bajo la metodología transversal, por lo que los resultados serán válidos únicamente dentro del lapso de tiempo actual y puntualmente en la Provincia del Guayas, ya que la misma ha sido considerada como la zona objeto de estudio. Las variables metodológicas son:

- Dotación de capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas.
- Mejora en la calidad de vida de la población objeto de estudio y su propuesta de diseño.

El diseño de la red WRAN busca dotar de capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas, y en base a ello justificar un incremento en la calidad de vida de la población atendida.

Para demostrar la validez de la hipótesis se han determinado indicadores de cada una de las variables, en base a los cuáles se establecerá una conclusión que permitirá corroborar la hipótesis o en su defecto, categorizar a la misma como una falacia.

Para medir la variable “Dotación de capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas” se ha tomado como base el análisis de cobertura de la señal de radiofrecuencia del sistema diseñado. De acuerdo con la regulación actual, la cobertura de la señal está determinada por el área del territorio nacional donde el nivel de campo eléctrico de la señal emitida es mayor o igual a los 38.5 dBuV/m.

Basándose en este indicador se podrá concluir si es teóricamente factible que la radio base proporcione la cobertura requerida para dotar de la capacidad de acceso a los servicios requeridos a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas.

Para medir la variable “mejora en la calidad de vida de la población objeto de estudio” se ha recurrido a los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir, estos objetivos tienen indicadores bien definidos que buscan medir el nivel de vida de la población y que han sido elaborados por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) y publicados como parte de un Plan Integral Plurianual de metas que buscan mejorar la calidad de vida de la población. En este caso particular se analizará en qué proporción contribuiría el diseño de la red WRAN con los indicadores de desarrollo alineados con las TIC y acceso a Internet.

Debido a que el estándar IEEE 802.22 corresponde a un nuevo tipo de tecnología comercial basada en la Radio Cognitiva, cabe indicar que el diseño es estrictamente de carácter teórico, y que se ha recurrido a supuestos debidamente fundamentados, para el desarrollo del mismo, esto debido a que a la fecha actual no se han lanzado al mercado equipos comerciales que hagan uso del estándar, por lo que se ha hecho uso de equipos genéricos en el diseño de la red, los mismos que operan basados en las características técnicas indicadas en la normativa IEEE respectiva.

CAPÍTULO 2

2.1 Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas proporcionan los beneficios fundamentales de las redes de telecomunicaciones tradicionales pero agregan la capacidad de movilidad a los elementos que integran la misma. Gracias al surgimiento de este nuevo tipo de redes es que el concepto de conectividad actualmente no está relacionado implícitamente a la conexión física, es decir que las dimensiones y topología de la infraestructura tecnológica de una organización puede variar de acuerdo con los requerimientos de la misma. Al evidenciarse la necesidad de un estándar similar a *Ethernet*, los fabricantes de tecnologías inalámbricas se aliaron en 1991 y formaron la WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*). La WECA propuso y construyó un estándar basado en tecnologías contribuyentes. WECA cambió posteriormente su nombre a Alianza Wi – Fi.

2.2 Comité de Estándares IEEE 802

El Comité de estándares IEEE 802 corresponde a grupos de estudio organizados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) encargados de desarrollar estándares y recomendar prácticas para el correcto funcionamiento de redes de área local, metropolitana, entre otras.

Entre los grupos de trabajo principales concernientes a la estandarización y normativa técnica de redes inalámbricas destacan el IEEE 802.11 o Grupo de Trabajo de Redes Inalámbricas de Área Local, IEEE 802.15 o Grupo de Trabajo de Redes Inalámbricas de Área Personal, IEEE 802.16 o Grupo de Trabajo de Redes Inalámbricas de Área Metropolitana y finalmente el IEEE 802.22 o Grupo de Trabajo de Redes Inalámbricas de Área Regional.

En la Tabla 2.1 se detallan los principales estándares publicados para cada uno de estos grupos en lo concerniente a redes inalámbricas.

Tabla 2. 1

Principales estándares IEEE 802 de sistemas de comunicación inalámbricos.

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN	FECHA DE PUBLICACIÓN
IEEE Std P802.11-1997	Normativa IEEE para LAN (<i>Local Area Network</i>) inalámbricas y especificaciones MAC (<i>Media Access Control</i>) y capa física (PHY)	26/06/1997
IEEE Std P802.11a-1999	Alta velocidad en capa física (PHY) en la banda de 5 GHz	16/09/1999
IEEE Std P802.11b-1999	Alta velocidad en capa física (PHY) en la banda de 2,4 GHz	16/09/1999
IEEE Std P802.11g-2003	Tasa de transferencia de datos de nivel superior en la banda 2,4 GHz	12/06/2003
IEEE Std P802.11n-2009	Alta Velocidad (<i>High Throughput</i>)	11/09/2009
IEEE Std P802.11s-2011	Redes en Malla	01/07/2011
IEEE Std P802.11ac-2013	Muy Alta velocidad a 6 GHz	01/11/2013
IEEE Std P802.11ad-2012	Muy Alta velocidad a 60 GHz	01/07/2012
IEEE Std P802.11af-2013	Espacios en blanco de TV	01/11/2013
IEEE Std P802.11ax (en proceso)	WLAN (<i>Wireless Local Area Network</i>) de alta eficiencia	marzo 2019 (estimado)
IEEE Std P802.15.1-2002	Normativa IEEE para PAN (<i>Personal Area Network</i>) inalámbricas especificaciones de capa MAC y física (PHY)	14/04/2002
IEEE Std P802.15.4-2011	Red de área Personal (PAN) de baja velocidad (<i>ZigBee</i>)	05/09/2011
IEEE Std P802.15.6-2012	<i>Wireless Body Area Network</i> (WBAN)	29/02/2012
IEEE Std P802.16-2001	Acceso Fijo Inalámbrico de Banda Ancha (10–66 GHz)	06/12/2001
IEEE Std P802.16d-2004	Mantenimiento y perfiles de sistema para 2–11 GHz	01/10/2004
IEEE Std P802.16e-2005	Sistema de Acceso de Banda Ancha Móvil.	01/01/2006
IEEE Std P802.16m-2011	Interfaz aérea avanzada con tasa de transferencia de 100 Mbps móvil y 1 Gbps sobre punto fijo. También se conoce como Móvil Wimax utilizado en sistemas 4G.	06/05/2011
IEEE Std P802.22-2011	Normativa IEEE para WRAN especificaciones de capa (MAC) y capa física (PHY)	01/07/2011
IEEE Std P802.22-2011	Instalación e implementación de Sistemas IEEE 802.22	28/09/2012

Fuente: (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), 2014).

2.3 Estándares IEEE 802.11

Los estándares IEEE 802.11 trabajan en las bandas de frecuencias denominadas ICM (Investigación, Científica y Médica) e INI (Infraestructura Nacional de Información). Según la Resolución 430-15-CONATEL-2005, la Banda INI será asignada para la operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha a título secundario, con el fin de facilitar el acceso a las TIC. Las frecuencias de la Banda INI son:

5150 – 5250 MHz

5250 – 5350 MHz

5470 – 5725 MHz

5725 – 5850 MHz

Según la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha emitida mediante resolución 417-15-CONATEL-2005, y acogiéndose al Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), dentro del Marco Regulatorio de las Telecomunicaciones del Ecuador se define como la Banda ICM a las comprendidas en los siguientes rangos:

902 – 928 MHz

2400 – 2483.5 MHz

5725 – 5850 MHz

2.4 IEEE Std P802.11-1997

El 26 de junio de 1997 el comité IEEE publicó el estándar 802.11 para las comunicaciones de área local inalámbricas que permitió garantizar la interoperabilidad de los equipos inalámbricos de diferentes fabricantes. El estándar IEEE 802.11-1997, también conocido como IEEE 802.11 *Legacy mode*, trabajaba en 2.4 GHz a 1 y 2 Mbps haciendo uso de FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) y ofrecía un radio aproximado de cobertura de 100 m. Actualmente se encuentra en desuso.

2.5 IEEE Std P802.11a-1999

El estándar IEEE 802.11a se publicó el 16 de septiembre de 1999 y trabaja en la banda de 5 GHz a una velocidad máxima de 54 Mbps y haciendo uso de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) como técnica de espectro ensanchado, utilizando hasta 52 subportadoras y 64 QAM (*Quadrature amplitude modulation*) como esquema de modulación de mayor eficiencia espectral. El radio de cobertura aproximado es de 120 m con configuración de antenas 1x1 SISO (*Single Input - Single Output*) lo cual implica que no hacía uso de la diversidad espacial. Al igual que el estándar 802.11 *legacy mode*, el IEEE 802.11a ha entrado en obsolescencia y por lo tanto ya no es utilizado en ningún sistema de comunicación inalámbrico moderno.

2.6 IEEE Std P802.11b-1999

El estándar IEEE 802.11b se publicó el 16 de septiembre de 1999 y hace uso de DSSS como técnica de espectro ensanchado, proporciona una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y opera en la sub-banda ICM 2400 – 2483.5 MHz con un radio de cobertura aproximado de 140 m. Este estándar utilizaba CCK (*Complementary Code Keying*) como esquema de modulación de mayor eficiencia espectral, con un ancho de banda de 20 MHz y configuración de antenas 1x1 SISO.

2.7 IEEE Std P802.11g-2003

El estándar IEEE 802.11g fue aprobado el 12 de junio de 2003, el nombre oficial del proyecto es “Tasa de transferencia de datos de nivel superior en la banda 2,4 GHz” y tuvo un gran impacto comercial tras su distribución por los principales fabricantes de equipos de comunicaciones inalámbricos. Trabaja en la banda de 2.4 GHz y ofrece una velocidad máxima de transmisión de hasta 54 Mbps y opera tanto con OFDM como con DSSS. El radio de cobertura aproximado es de 140 m y utiliza 64 QAM como esquema de modulación de mayor eficiencia espectral y no hace uso de diversidad espacial, lo cual implica que al igual que los anteriores estándares, ofrece una configuración de antenas de 1x1 SISO.

2.8 IEEE Std P802.11n-2009

El estándar IEEE 802.11n fue aprobado en el año 2007 y ratificado por la IEEE el 11 de septiembre de 2009, el estándar ofrece la posibilidad de uso de las bandas de 2.4 y 5 GHz y es el primero en implementar la diversidad espacial permitiendo una configuración de antenas 4x4 MIMO (*Multiple Input – Multiple Output*) con un ancho de banda que está entre los 20 y 40 MHz, OFDM como técnica de espectro ensanchado y 64 QAM como esquema de modulación de mayor eficiencia espectral.

Este estándar ofrece un radio de cobertura aproximado de 250 m y una tasa de transferencia de datos que va desde los 65 hasta los 600 Mbps.² Actualmente es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones de acceso inalámbrico tanto a nivel corporativo como doméstico.

2.9 IEEE Std P802.11ac-2013

El estándar fue publicado el 01 de noviembre de 2013 el mismo es considerado como una mejora del 802.11n. Opera en las bandas de 2.4, 5 y 6 GHz y ofrece una velocidad que va desde los 78 Mbps hasta los 3.2 Gbps. Utiliza OFDM y 256 QAM como esquema de modulación de mayor eficiencia espectral y permite el uso de la diversidad espacial con un arreglo de antenas superior a 8x8 MU-MIMO (*Multiuser MIMO*)

2.10 IEEE Std P802.11ad-2012

Fue publicado el 01 de julio de 2012, también conocido como WiGig trabaja en la banda de 60 GHz a una velocidad promedio de 6.76 Gbps con OFDM y arreglo de antenas superior a 8x8 MU-MIMO. Es un estándar perteneciente a la denominada quinta generación de Wi – Fi y proporciona un radio de cobertura aproximada de 30 m.

² (IEEE Standards Association, 2014)

2.11 IEEE Std P802.11af-2013

Este estándar fue publicado el 01 de noviembre de 2013, también denominado White – Fi, presenta muchas similitudes con el estándar IEEE 802.22, opera en la banda 470 – 710 MHz y hace uso de los denominados espacios en blanco del espectro de televisión para hacer más eficiente el uso del espectro radioeléctrico. Al igual que WRAN, utiliza la radio cognitiva como técnica de selección del canal óptimo de transmisión. Proporciona una velocidad teórica promedio de 12 Mbps con un ancho de banda de 6 MHz y 256 QAM como esquema de modulación de mayor eficiencia espectral.

2.12 IEEE Std P802.11ax (en proceso)

El estándar IEEE 802.11ax actualmente se encuentra en desarrollo, el mismo operará en la banda de 5 GHz con un ancho de banda de canal que irá desde los 80 a los 160 MHz. Ofrecerá velocidades superiores a los 10 Gbps gracias a la implementación de OFDA también conocida como OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) como técnica de acceso múltiple al medio y junto con la diversidad espacial MU-MIMO, promete ofrecer nuevas capacidades de acceso a la red superiores a sus predecesoras. Se estima que el estándar sea publicado tentativamente en marzo de 2019. En Junio de 2014 la empresa Huawei *Technologies* realizó las primeras pruebas con un prototipo que permitió acceder a la red a 10.53 Gbps. En la figura se puede apreciar el prototipo utilizado por Huawei en las pruebas.



Figura 2. 1

Prototipo de equipo IEEE 802.11ax de Huawei.

Fuente: (Bit-Tech, 2014)

Actualmente se ha hecho uso de los estándares IEEE 802.11 como tecnologías de última milla que proporcionan acceso a los servicios de telecomunicaciones básicos como Internet, telefonía IP, etc.; sin embargo debido a la creciente demanda de acceso a servicios de Internet las bandas de frecuencias INI e ICM empiezan a saturarse por lo que se evidencia la necesidad de buscar alternativas de acceso inalámbrico que proporcionen las ventajas de eficiencia de uso del espectro de los sistemas de modulación digital de banda ancha así como de los bajos costos por regularización.

En la Tabla 2.2 se presenta un resumen de las características técnicas de los principales estándares IEEE 802.11

Tabla 2. 2

Características técnicas de los principales estándares IEEE 802.11.

Estándar	Año	Velocidad	Frecuencia	Modulación de Máx. eficiencia espectral	Técnica de Espectro Ensanchado	Ancho de Banda de canal	Configuración de Antenas	Cobertura estimada (m)
802.11	1997	1 - 2 Mbps	2.4 GHz	-	FHSS - DSSS	-	1x1 SISO	100
802.11a	1999	54 Mbps	5 GHz	64 QAM	OFDM	20 MHz	1x1 SISO	120
802.11b	1999	11 Mbps	2.4 GHz	11 CCK	DSSS	20 MHz	1x1 SISO	140
802.11g	2003	54 Mbps	2.4 GHz	64 QAM	DSSS - OFDM	20 MHz	1x1 SISO	140
802.11n	2009	65 - 600 Mbps	2.4 y 5 GHz	64 QAM	OFDM	20 y 40 MHz	4x4 MIMO	250
802.11ac	2013	78 Mbps - 3.2 Gbps	1 a 6 GHz	256 QAM	OFDM	20, 40, 80 y 160 MHz	Superior a 8x8 MU-MIMO	250
802.11ad	2012	6,76 Gbps	60GHz	64 QAM	OFDM	2.16 GHz	Superior a 8x8 MU-MIMO	30
802.11af	2013	12 Mbps	470 - 710 MHz	256 QAM	OFDM	6 MHz	Superior a 8x8 MU-MIMO	5000
802.11ax (en proceso)	2019 (tentativo)	10.53 Gbps	5 GHz	-	OFDA	80 y 160 MHz	Superior a 8x8 MU-MIMO	-

Fuente: (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), 2014).

2.13 Estándares IEEE 802.15.1-2002, IEEE 802.15.4-2011 e IEEE 802.15.6-2012

El estándar IEEE 802.15.1-2002 fue publicado el 14 de abril de 2002, este estándar proporciona la normativa técnica a nivel de capa física y de control de acceso al medio para las denominadas Redes de Área Personal (PAN). La tecnología *Bluetooth* versión 1.1 se basa en el estándar IEEE 802.15.1, opera en la banda de frecuencias de 2.4 GHz y ofrece un radio de cobertura aproximado entre 1 y 10 metros. Las redes de área personal se utilizan principalmente para aplicaciones de comunicación entre dispositivos tales como teléfonos celulares, computadores portátiles o dispositivos de audio.

El estándar IEEE 802.15.4-2011 se publicó el 05 de septiembre de 2011 y proporciona los fundamentos técnicos para las denominadas redes de área personal de baja velocidad. Las capas Física y de Acceso al medio de la tecnología *ZigBee* se basan en el estándar IEEE802.15.4 las capas superiores, es decir tanto la de aplicación como la de red fueron desarrolladas por la Alianza ZigBee para dar vida a esta nueva tecnología que es ampliamente utilizada fundamentalmente en aplicaciones de domótica e inmótica. Opera en la banda de 2.4 GHz con un radio de cobertura que va desde los 10 hasta los 75 m.

Finalmente el estándar IEEE 802.15.6-2012, publicado el 29 de febrero de 2012 es una nueva normativa que proporciona la base para las denominadas Redes Inalámbricas de Área Corporal o WBAN (*Wireless Body Area Network*), este tipo de red, que aún está en etapas de prueba, puede ser utilizada en el cuerpo humano para fines médicos o de comunicaciones personales. Desde la perspectiva médica, IEEE 802.15.6 ha dado vida a la denominada *eHealth* que consiste en proporcionar el monitoreo y diagnóstico en tiempo real de diferentes tipos de afecciones a la salud. Este estándar opera en la banda de 2.4 GHz y ofrece velocidades de hasta 1 Mbps con un radio de cobertura de hasta 5 metros. En la figura 2.2 se presenta un detalle de las tecnologías inalámbricas de baja potencia.

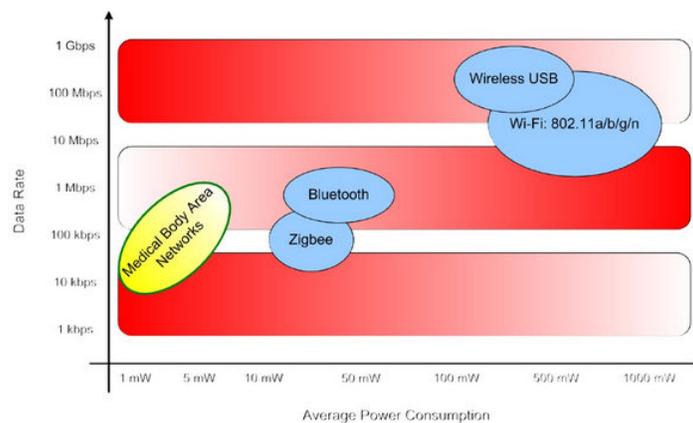


Figura 2. 2

Imagen comparativa de tecnologías inalámbricas de baja potencia.

Fuente: (National Instruments, 2013)

2.14 IEEE Std P802.16-2001

La primera versión del estándar IEEE 802.16, conocido comercialmente como Wimax, fue publicada el 16 de diciembre del 2001, y proporciona especificaciones para la capa física y de control de acceso al medio (MAC) para brindar acceso inalámbrico entre estaciones fijas con Línea de Vista (LOS; *Line of Sight*) en configuraciones punto – punto y punto – multipunto en frecuencias que van desde los 10 hasta los 66 GHz a una tasa de transferencia de datos de hasta 134 Mbps y una cobertura estimada de 5 km.

Wimax fue diseñado como una tecnología que proporcione la capacidad de brindar acceso de última milla, sin embargo debido a limitantes fundamentalmente de tipo regulatorias, esta versión del estándar no tuvo el impacto esperado. Actualmente IEEE 802.16-2001 se considera obsoleta.

2.15 IEEE Std P802.16d-2004

El estándar 802.16d publicado el 01 de octubre de 2004 es otra variante importante de Wimax, conocido comercialmente como *Fixed Wimax* (Wimax Fijo), es la primera variante de este estándar que tuvo gran penetración a nivel comercial en el país. Proporciona acceso a la red a una tasa de transferencia de datos de hasta 54 Mbps en frecuencias que van desde los 2 GHz hasta los 11 GHz, y una cobertura estimada de 10 km en promedio, ofrece conectividad exclusivamente entre puntos fijos de la red pero a diferencia de 802.16-2001, proporciona la posibilidad de operar sin línea de vista.

Este estándar surgió de la incorporación de los estándares 802.16-2001, 802.16a y 802.16c en una sola normativa. Actualmente aún se encuentra en uso y ampliamente difundido en nuestro país.

2.16 IEEE Std P802.16e-2005

El estándar 802.16e fue publicado el 01 de enero de 2006 y es conocido comercialmente como Wimax Móvil. Opera entre los 2 GHz y los 6 GHz a una velocidad superior a los 15 Mbps y proporciona la posibilidad de acceso móvil a redes de área metropolitanas

inalámbricas a una velocidad de hasta 120 km/h y un radio de cobertura estimado de hasta 50 km. El estándar IEEE 802.16e-2005 fue incluido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones dentro de las tecnologías denominadas de Tercera Generación de telefonía móvil celular en mayo de 2010 a través de la publicación de la recomendación ITU-R M.1457-9³ denominada “Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000)”.

2.17 IEEE Std P802.16m-2011

Este estándar fue publicado el 06 de mayo de 2011 bajo el nombre de “Interfaz aérea avanzada con tasa de transferencia de 100 Mbps móvil y 1 Gbps sobre punto fijo”. Comercialmente es conocido como Wimax Móvil 2.0 y al igual que IEEE 802.16e opera entre los 2 y 6 GHz a una velocidad superior a los 300 Mbps, ofreciendo la capacidad de conectividad tanto móvil como fija hasta a 350 km/h de velocidad. El estándar IEEE 802.16m-2011 fue incluido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones dentro de las tecnologías denominadas de Cuarta Generación de telefonía móvil celular o *IMT Advanced (International Mobile Telecommunications – Advanced)* el 18 de enero de 2012.

En la Tabla 2.3 se resumen las principales versiones de Wimax IEEE 802.16 junto con las características técnicas más importantes de cada una de ellas,

Tabla 2.3

Características técnicas de los principales estándares IEEE 802.16.

Estándar	Año	Velocidad	Frecuencia	Modulación de Máx. eficiencia espectral	Técnica de Espectro Ensanchado	Ancho de Banda de canal	Cobertura estimada (km)
802.16	2001	32 - 134 Mbps	10 - 66 GHz	64 QAM	OFDM	20, 25 y 28 MHz	5
802.16d	2004	54 Mbps	2 - 11 GHz	64 QAM	OFDM	1.5 - 20 MHz	10
802.16e	2005	> 15 Mbps	2 - 6 GHz	256 QAM	OFDMA	1.5 - 20 MHz	50
802.16m	2011	>300 Mbps	2 - 6 GHz	256 QAM	OFDMA	5, 10, 20 y 40 MHz	50

Fuente: (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), 2014).

³ (Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), 2010)

2.18 IEEE Std P802.22-2011

En Julio de 2011 la IEEE publicó oficialmente el estándar IEEE 802.22 conocido como WRAN, este estándar es el primero en emplear el paradigma de Radio Cognitiva como técnica de acceso al medio, haciendo uso eficiente del espectro radioeléctrico. La Radio Cognitiva hace uso de los espacios no vacantes o “*White spaces*” dentro de las bandas de frecuencias ubicadas en el rango de operación 802.22 el cual corresponde a las frecuencias entre los 54 y 862 MHz (Mahmoud, 2007).

Este estándar opera con tasas de datos comparables a los ofrecidos por muchos servicios DSL/ADSL (*Digital Subscriber Line/Asimetric Digital Subscriber Line*), por lo que puede proporcionar conectividad de banda ancha empleando el espectro que normalmente es asignado a otros servicios de telecomunicaciones, sin causar interferencias perjudiciales a las frecuencias asignadas a título primario. Por lo anteriormente mencionado, el estándar 802.22 promete proporcionar tasas de transferencia aceptables con una alta eficiencia espectral.

2.19 Fundamentos Técnicos.

El estándar proporciona parámetros técnicos básicos que permitirán a los fabricantes introducir al mercado equipos que garanticen la interoperabilidad sin importar la marca, estos parámetros son la topología de la red, la capacidad del sistema y cobertura.

- **Topología del Sistema:** La topología de una red WRAN presenta la configuración de un sistema punto a multipunto, es decir, tiene una estación base con un número de usuarios o equipos locales de atención al cliente.

La estación base permite el acceso a la red principal y transmite los datos en el enlace descendente a los diferentes usuarios y receptores de la CPE (*Customer-Premises Equipment*) en el canal ascendente. También controla el acceso al medio y además de estos roles tradicionales para una estación base, también gestiona los aspectos de "radio cognitiva" del sistema. Utiliza las evaluaciones

para realizar una medición distribuida de las señales en los niveles posibles. Estas mediciones se recogen y se procesan de tal manera que la estación base pueda decidir si van a mantenerse operativas bajo las condiciones espectrales al momento de la medición o si se traslada a otra porción del espectro.

- **Área de Cobertura:** El área de cobertura para el estándar IEEE 802.22 es mucho mayor que el ofrecido por los otros estándares 802 de IEEE. El rango especificado en 802.22 para un CPE es de 33 km de radio en condiciones normales y en condiciones ideales la cobertura de la estación base puede extenderse hasta a 100 km de radio.
- **La capacidad del sistema:** El sistema ha sido definido para permitir a los usuarios alcanzar un nivel de rendimiento similar al de los servicios DSL. Esto equivale a una velocidad descendente o descarga de alrededor 1,5 Mbps en la periferia y un enlace ascendente de 384 Kbps. Estas cifras suponen 12 usuarios simultáneos. Para lograr esto el sistema en general debe tener una capacidad de 18 Mbps en dirección descendente.⁴

2.20 Características de IEEE 802.22

Los parámetros básicos del estándar IEEE 802.22 pueden verse en la Figura 2.3:

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Radio de celda típico (km)	30 - 100 km
Metodología	Espectro de detección para identificar canales libres
Ancho de banda de canal (MHz)	6, (7, 8)
Modulación	OFDM
Capacidad de canal	18 Mbps
Capacidad de usuario	Downlink: 1,5 Mbps Uplink: 384 kbps

Figura 2. 3

Parámetros Básicos del Estándar IEEE 802.22.

Fuente: (Churchill, 2012)

⁴ (IEEE Standards Association, 2011)

Recuperado de: <http://www.dailywireless.org/2012/11/13/weightless-m2m-standard-version-0-9/>

El estándar IEEE 802.22 debe proporcionar el uso adicional de grandes cantidades de emisión de espectro que está disponible en muchos países. Como resultado el hecho de que 802.22 utiliza tecnología de radio cognitiva, será posible asegurar que ninguna injerencia indebida es causada a cualquiera de los servicios existente y los usuarios no deben sufrir ninguna degradación en el rendimiento de la recepción. En consecuencia, el uso de la tecnología IEEE 802.22 WRAN debe permitir un uso más eficiente del espectro, así como ofrecer nuevos servicios para los usuarios, especialmente en las zonas rurales.⁵

IEEE 802.22 permite una variedad de esquemas de modulación para usarse dentro de la señal OFDMA, las modulaciones QPSK, 16-QAM y 64-QAM pueden seleccionarse con tasas de 1/2, 3/4 y 2/3 de codificación convolucional. Los tipos de corrección de error y modulación requeridos son elegidos según las condiciones imperantes.

Con el fin de cumplir con los requisitos para los usuarios individuales que pueden estar experimentando diferentes condiciones de la señal, es necesario adaptar dinámicamente la modulación, codificando sobre una base por CPE y su ancho de banda.

Para poder obtener el nivel deseado de rendimiento, ha sido necesario que el IEEE 802.22 adopte un sistema de lo que se denomina "*Channel Bonding*". Esto es un esquema donde el sistema IEEE 802.22 es capaz de utilizar más de un canal a la vez para proporcionar el rendimiento requerido. A menudo es posible utilizar canales adyacentes porque en muchos países las autoridades reguladores y planificadores de frecuencia permiten dos o más canales vacíos entre las estaciones de transmisión de señales de alta potencia como esto, evita la interferencia en las señales de Televisión. Estos múltiples canales libres, permiten el uso de canal contiguo "*bonding*". En la práctica el número máximo de canales que estén adheridos suele limitarse a tres como consecuencia de las limitaciones de ancho de banda de "*front-end*".⁶

⁵(Churchill, 2012)

⁶ (IEEE Standards Association, 2011)

2.21 Radio Cognitiva

Radio Cognitiva es una tecnología que permite que el transmisor/receptor de radio de un dispositivo se adapte y conozca las características espectrales del medio circundante, para, de esta manera, tomar decisiones sobre la porción de espectro a utilizar durante la transmisión de información.

Debido a la versatilidad de este estándar, su aplicación resulta ideal en entornos en donde hay frecuencias que no se utilizan, o que en un determinado momento no están siendo utilizadas, o cuando haya una señal de recepción insuficiente.

Sin embargo, la tecnología de Radio Cognitiva no está limitada a utilizar frecuencias conocidas para servicios conocidos, sino que en teoría podría funcionar de manera ad-hoc, utilizando cualquier tipo de frecuencia encontrada para maximizar el flujo de datos.

En otras palabras, este estándar permite, en teoría, hacer uso eficiente del espectro de tal manera que la tecnología implícita de capa física que se utilice para la transmisión sea intrascendente ya que la misma se ajustaría a las necesidades de manera automática haciendo uso de cualquier recurso inalámbrico que se encuentre a disposición.⁷

2.22 Área de cobertura de WRAN

WRAN cuenta con una amplia cobertura, mucho mayor que otros estándares IEEE 802. Puede tener un alcance de hasta 100 km, lo que proporciona una ventaja adicional sobre los estándares actuales, ya que permite acceder a la red pública de telecomunicaciones haciendo uso de un menor número de radio bases. Esto es ampliamente útil para zonas de baja densidad poblacional, como áreas rurales y urbanas marginales, las cuales corresponden a la población objetivo del presente trabajo. Por este motivo se ha adoptado este estándar como fundamento tecnológico para dar acceso a un perfil de servicios integral de comunicación a los sectores vulnerables de la Provincia del Guayas.

⁷ (Cordeiro, Challapali, & Birru, 2006)

Finalmente cabe indicar que si bien la tecnología 802.22 puede proporcionar las características técnicas requeridas para proporcionar una solución alternativa al despliegue de infraestructura de acceso, actualmente no se cuenta con el marco regulatorio requerido para que se proceda a su inmediata implementación, ya que el uso de la porción del espectro en la que opera este estándar actualmente requiere del otorgamiento de licencias de uso de frecuencias, y adicionalmente dichas bandas no se encuentran atribuidas en el Plan Nacional de Frecuencias, al servicio en cuestión por lo que adicionalmente se requeriría de una reforma regulatoria que debería ser aprobada por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, ente rector del sector en el país.

2.23 Diferencias entre IEEE 802.11af e IEEE 802.22.

Los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22, si bien es cierto operan haciendo uso de los denominados espacios en blanco espectrales de TV, tienen varias diferencias que se detallan a continuación, las mismas serán abordadas desde 3 perspectivas diferentes: La capa Física (PHY), la capa de Control de Acceso al Medio y la capa Cognitiva.

2.24 Diferencias en la capa física (PHY).

Ambos estándares hacen uso de la misma tecnología a nivel de capa física, es decir que ambos utilizan OFDM como técnica de espectro ensanchado junto con la modulación adaptativa que incluye QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16-QAM y 64-QAM. La técnica de modulación BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) está incorporada exclusivamente en el estándar IEEE 802.11af. La WRAN presenta un mayor retardo de propagación en comparación con IEEE 802.11af siendo de 25 a 60 μ s en IEEE 802.22 mientras que en exteriores WLAN IEEE 802.11af de entre 1 a 10 μ s. Una diferencia importante entre ambos estándares a nivel de capa física es su cobertura y tasa de transferencia de datos, WRAN ofrece una cobertura teórica superior a los 100 km y 22.69 Mbps de tasa de transferencia de datos máxima, mientras que IEEE 802.11af ofrece una cobertura en exteriores de hasta 1 km y una tasa de transferencia de datos máxima de 12 Mbps. En la Tabla 2.4 se resume lo anteriormente indicado.

Tabla 2. 4

Comparación de los parámetros de capa física de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22.

	802.11af (WLAN)		802.22 (WRAN)
Características de Capa Física			
Cobertura	En interiores 100m	En exteriores 1000 m	Superior a 100 km
Máximo Retardo de Propagación (μs)	< 1	1 a 10	25 a 60
Ancho de Banda (MHz)	6		6
Máxima Tasa de Transferencia de datos	12 Mbps		22,69 Mbps
Técnica de Espectro Ensanchado	OFDM		OFDM
Modulación	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM		QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Código de corrección de errores	Código Convolutacional		Código Convolutacional

Fuente: (Lekomtcev & Maršálek, 2012)

En la Tabla 2.5 se indican los parámetros de tasa de codificación y duración de símbolo de ambos estándares.

Tabla 2. 5

Parámetros de Tasa de Codificación y duración de símbolo de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22.

	802.11af (WLAN)	802.22 (WRAN)
Modulación	64 - QAM	64 - QAM
Tasa de Codificación	3/4	5/6
Bits Codificados por Subportadora (N_{BPSK})	6	6
Número de Subportadoras de datos	48	1440
Duración de Símbolo (μs)	4	317,39

Fuente: (Lekomtcev & Maršálek, 2012)

2.25 Diferencias en la capa de Control de Acceso al Medio (MAC).

En la capa de Control de Acceso al Medio resalta el hecho de que IEEE 802.22 utiliza como método de acceso múltiple OFDMA, mientras que IEEE 802.11af usa el protocolo de acceso múltiple por detección de portadora y evasión de colisiones o CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), esto implica que IEEE 802.22 no necesita “escuchar” el medio antes de realizar una transmisión. Adicionalmente se puede apreciar que IEEE 802.22 proporciona mejor rango de cobertura que IEEE 802.11af lo que lo hace ideal para aplicaciones de acceso en zonas alejadas de la estación base. En la tabla 2.5 se presenta el resumen de las características a nivel de capa MAC de ambos estándares.

Tabla 2. 6

Comparación de los parámetros de capa MAC de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22.

	802.11af (WLAN)	802.22 (WRAN)
Características de Capa MAC		
Topología Celular	No	Sí
Movilidad y traspaso (Handover)	No	No
Soporte de Topología de Malla	Sí	No
Rango para eficiencia MAC	Corto alcance	17 - 33 km
Método de Acceso Múltiple	CSMA/CA, TDMA (<i>Time Division Multiple Access</i>)	OFDMA

Fuente: (Lekomtcev & Maršálek, 2012)

A nivel de capa cognitiva, según se puede apreciar en la Tabla 2.7, el estándar IEEE 802.22 ofrece más características cognitivas que IEEE 802.11af.

Tabla 2. 7

Comparación de los parámetros de capa Cognitiva de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22.

	802.11af (WLAN)	802.22 (WRAN)
Características de Capa Cognitiva		
Interface con sensores espectrales	No	Sí
Interface con dispositivos de geolocalización	Sí	Sí
Períodos de Silencio (<i>Quiet Period</i>) para monitoreo espectral	No	Sí
Interfaz con Base de Datos de Espacios en Blanco de TV (TV - WS)	Sí	Sí

Fuente: (Lekomtcev & Maršálek, 2012).

El estándar WLAN ofrece soporte a la interfaz con dispositivo de geolocalización y de acceso a la Base de Datos de TV – WS (*Television – White Spaces*), mientras IEEE 802.22 ofrece soporte de interfaz con sensores espectrales, con dispositivos de geolocalización, *Quiet Periods* para monitoreo espectral e interfaz con Base de datos TV – WS. Específicamente en esta capa, el estándar WRAN ofrece ventajas sobre el IEEE 802.11af.

2.26 Interfaz con dispositivos de Geolocalización.

Ambos estándares requieren un método para determinar los recursos de espectro disponibles, para ello ambas tecnologías requieren obtener información de posicionamiento de los transeptores de radio cognitiva. Tanto en IEEE 802.11af como en WRAN, el Punto de Acceso o estación base disponible obtiene información de su localización geográfica haciendo uso de satélites (GPS), con esta información el Punto de Acceso o estación base remite una solicitud a la base de datos de TV – WS de canales disponibles dentro de la localidad, luego procesa la información para determinar el canal apropiado en el que pueden operar los CPE en la localidad sin que existan

interferencias perjudiciales. Tanto el Punto de Acceso como los CPE confirman su posición cada 60 segundos.

Adicionalmente a la Geolocalización basada en satélites, IEEE 802.22 ofrece soporte para geolocalización terrestre, esta capacidad le permite a la estación base WRAN determinar su propia ubicación y la de los CPE a través de un proceso complejo de triangulación que es posible realizar gracias al uso de la técnica de acceso múltiple OFDMA y de un software denominado geolocalizador que permite a la estación base construir una representación gráfica precisa de la localización geográfica de los CPE que se encuentran dentro de la celda que está bajo el control de la estación base.

La principal ventaja de los estándares IEEE 802.11af e IEEE 802.22 es su capacidad de utilizar la radio cognitiva como mecanismo de uso eficiente del espectro disponible, Las propiedades más importantes de la capa cognitiva son la capacidad de censar el espectro, capacidades de geolocalización y acceso a la base de datos TV – WS. De lo mencionado con anterioridad se aprecia que IEEE 802.22 proporciona el conjunto de propiedades de radio cognitiva más completo, lo cual implica que el equipamiento de WRAN es más complejo y costoso que el de IEEE 802.11af, sin embargo, características de capa física de WRAN como la tasa de transferencia de datos y la cobertura, así como la utilización de OFDMA como técnica de acceso múltiple y capacidades superiores de capa cognitiva hacen que IEEE 802.22 sea más prometedora para aplicaciones de acceso a zonas remotas y rurales.

CAPÍTULO 3

3.1 Determinación de la población a atender

El acortamiento de la brecha digital en grupos marginales impulsado por el Gobierno Nacional tiene un potencial de gran impacto social. Proveer acceso a Internet en las zonas rurales y urbanas marginales del Ecuador, según el Plan Nacional del Buen Vivir elaborado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), es requisito indispensable para alcanzar la Construcción de la sociedad del Buen Vivir el establecimiento de la Sociedad de la Información y el Conocimiento como herramienta dinamizadora de los procesos productivos y como plataforma fundamental para garantizar la apertura de oportunidades y la integración e inclusión social de los sectores más vulnerables del país.

Entre los 7 objetivos que conforman el eje principal del Plan Nacional del Buen Vivir relacionados con el Sector de las Tecnologías de la Información y la Comunicación se encuentran los siguientes (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2009):

Objetivo 2: Mejorar las capacidades y potencialidades de la ciudadanía.

2.7 Promover el acceso a la información y a las nuevas tecnologías de la información y comunicación para incorporar a la población a la sociedad de la información y fortalecer el ejercicio de la ciudadanía.

- a) Democratizar el acceso a las tecnologías de información y comunicación, especialmente a Internet, a través de la dotación planificada de infraestructura y servicios necesarios a los establecimientos educativos públicos de todos los niveles y la implantación de telecentros en las áreas rurales.

Objetivo 10: Garantizar el acceso a la participación Pública y Política.

10.4 Garantizar el libre acceso a Información Pública oportuna

- f) Ampliar la cobertura de Internet y fortalecer las capacidades de la población para acceder a la rendición de cuentas y el seguimiento de la Gestión Pública en los territorios.

Objetivo 12: Construir un Estado democrático para el Buen Vivir

12.5 Promover la Gestión de Servicios Públicos de calidad, oportunos, continuos y de amplia cobertura y fortalecer los mecanismos de regulación

b) Desarrollar una Arquitectura Nacional de Información que posibilite a las y los ciudadanos obtener provecho de los servicios estatales provistos a través de las Tecnologías de la Información y Comunicación e incluyan al Gobierno Electrónico.

Los objetivos del Buen Vivir son Políticas de Estado cuyo cumplimiento es de carácter obligatorio para las Instituciones Públicas de cada uno de los Sectores correspondientes, en este caso el cumplimiento de los objetivos previamente mencionados es responsabilidad del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información y de sus Instituciones adscritas y Empresas Públicas relacionadas, tales como la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P.

3.2 Determinación de los sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas.

La Provincia del Guayas cuenta con 3'309.024 habitantes de acuerdo a información del censo de Población y Vivienda 2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010), siendo Guayas la Provincia más poblada del Ecuador, constituyendo el 30% de la población nacional, contando con el 24% de la misma en zonas rurales y el 76% en las urbanas como se puede apreciar en la Figura 3.1.

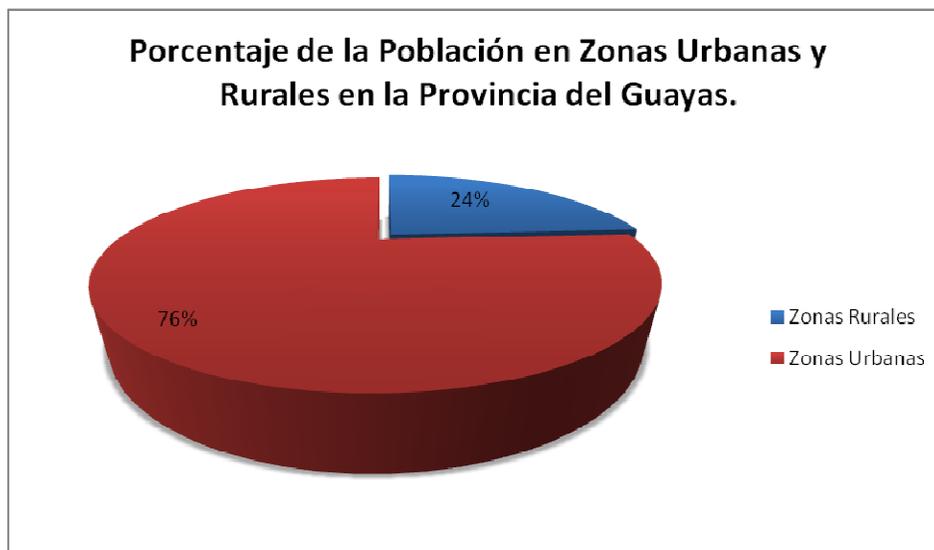


Figura 3 1

Porcentaje de la Población en Zonas Urbanas y Rurales en la Provincia del Guayas.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

En la Figura 3.2 se presenta la Disponibilidad de Internet en las Zonas Urbanas de la Provincia del Guayas, de los 808,766 Hogares ubicados en las zonas urbanas de la Provincia, 131,000 tienen acceso al servicio de Internet, es decir un 16.2%.

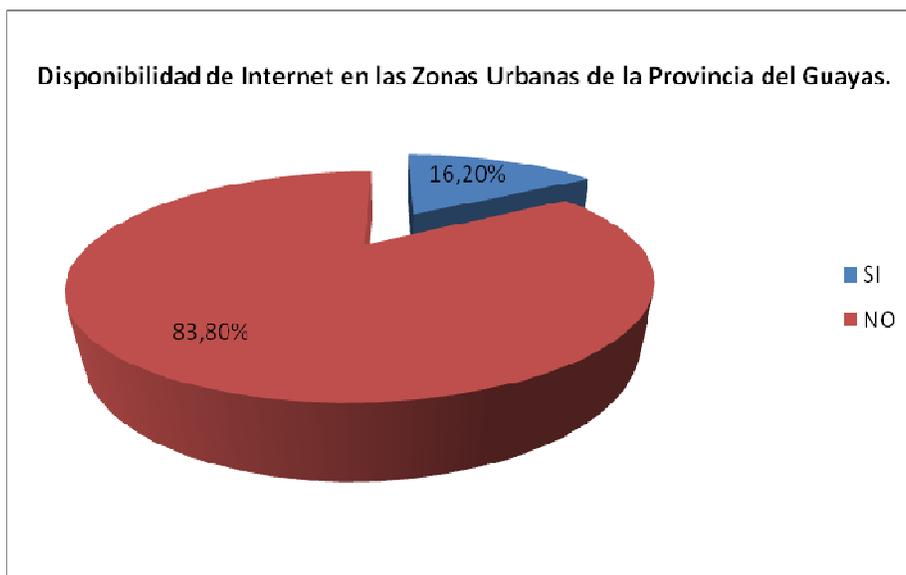


Figura 3 2

Disponibilidad de Internet en las Zonas Urbanas de la Provincia del Guayas.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

El 98.24% de los hogares en las zonas rurales de la provincia del Guayas no poseen acceso al servicio de Internet, es decir de los 150,199 hogares que se encuentran en esta zona, 147,558 no acceden al servicio de acuerdo al censo de Población y vivienda 2010, según se puede apreciar en la Figura 3.3.

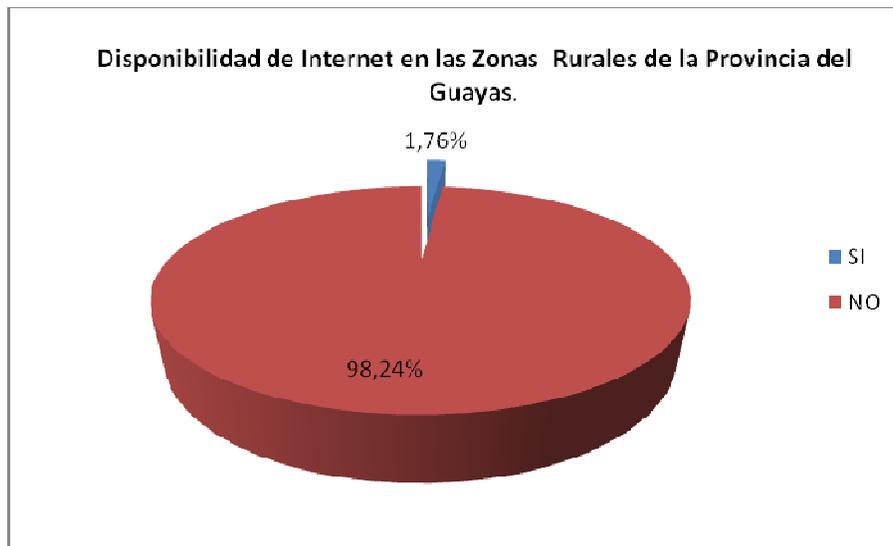


Figura 3 3

Disponibilidad de Internet en las Zonas Rurales de la Provincia del Guayas.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

Según los datos del INEC, 24 de cada 100 habitantes de la provincia del Guayas vive en las zonas rurales, es decir que la cuarta parte del territorio guayasense posee un limitado acceso al servicio de Internet, siendo este de gran relevancia para el desarrollo social y económico.

El porcentaje de hogares con acceso a Internet en las zonas rurales es 1.76%, existiendo una marcada diferencia entre estos dos sectores de la provincia y creando de esta forma una desventaja para el desarrollo en las zonas rurales. En la Figura 3.4 se muestra gráficamente la disponibilidad de Internet en las zonas rurales y urbanas de la provincia.

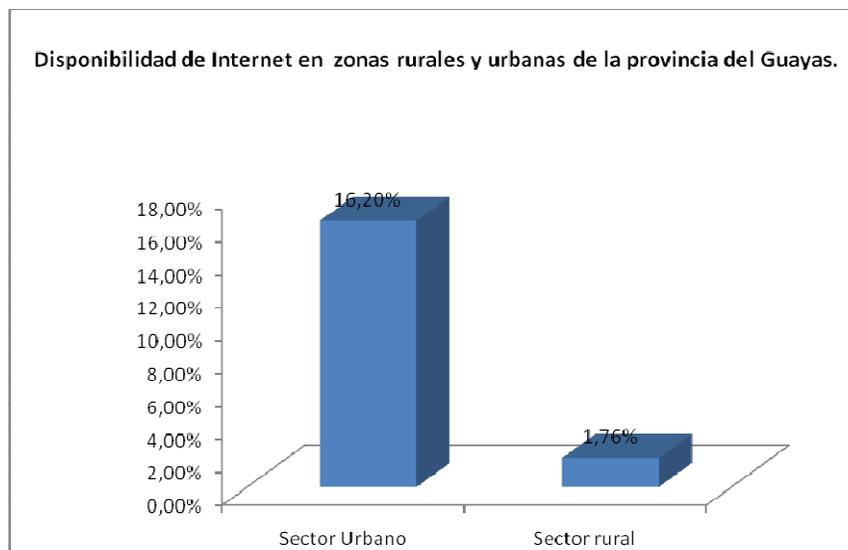


Figura 3 4

Disponibilidad de Internet en las Zonas Rurales de la Provincia del Guayas.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

3.3 Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas.

Las estadísticas de disponibilidad de Internet en las zonas rurales de la Provincia del Guayas, desagregado por cantones, han sido divididas en siete partes, las mismas que se presentan desde la Tabla 3.1 hasta la Tabla 3.7.

Tabla 3. 1

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 1

AREA # 0901		GUAYAQUIL		
Disponibilidad	de			Acumulado
Internet	Casos	%		%
Si	490	3		2,63
No	18151	97		100,00
Total	18641	100		100,00
NSA :	63			

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Tabla 3.2

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 2

AREA # 0902		ALFREDO BAQUERIZO MORENO		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %	
Si	60	1	1,31	
No	4519	99	100,00	
Total	4579	100	100,00	
NSA :	1			
AREA # 0903		BALAO		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %	
Si	59	2	1,93	
No	2994	98	100,00	
Total	3053	100	100,00	
AREA # 0904		BALZAR		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %	
Si	58	1	0,92	
No	6223	99	100,00	
Total	6281	100	100,00	
NSA :	1			
AREA # 0905		COLIMES		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %	
Si	58	1	1,24	
No	4603	99	100,00	
Total	4661	100	100,00	

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Tabla 3.3

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 3.

AREA # 0906		DAULE	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	215	1	1,45
No	14620	99	100,00
NSA :	5		
AREA # 0907		DURAN	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	15	1	1,09
No	1362	99	100,00
Total	1377	100	100,00
AREA # 0908		EL EMPALME	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	128	1	1,34
No	9459	99	100,00
Total	9587	100	100,00
NSA :	5		
AREA # 0909		EL TRIUNFO	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	69	3	2,70
No	2485	97	100,00
Total	2554	100	100,00
NSA :	2		

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Tabla 3. 4

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 4.

AREA # 0910		MILAGRO	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	246	3	2,70
No	8866	97	100,00
Total	9112	100	100,00
NSA :	4		
AREA # 0911		NARANJAL	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	205	2	1,97
No	10191	98	100,00
Total	10396	100	100,00
NSA :	69		
AREA # 0912		NARANJITO	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	26	1	1,13
No	2265	99	100,00
Total	2291	100	100,00
AREA # 0913		PALESTINA	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	22	1	1,05
No	2076	99	100,00
Total	2098	100	100,00

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Tabla 3. 5

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 5.

AREA # 0914		PEDRO CARBO		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado	%
Si	61	1	0,89	
No	6826	99	100,00	
Total	6887	100	100,00	
NSA :	1			
AREA # 0916		SAMBORONDON		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado	%
Si	141	2	2,13	
No	6474	98	100,00	
Total	6615	100	100,00	
NSA :	2			
AREA # 0918		SANTA LUCIA		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado	%
Si	116	1	1,39	
No	8226	99	100,00	
Total	8342	100	100,00	
AREA # 0919		URBINA JADO		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado	%
Si	124	1	1,00	
No	12327	99	100,00	
Total	12451	100	100,00	
NSA :	4			

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Tabla 3. 6

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 6.

AREA # 0920		YAGUACHI	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	294	3	2,58
No	11081	97	100,00
Total	11375	100	100,00
NSA :	7		
AREA # 0921		PLAYAS	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	47	3	2,53
No	1810	97	100,00
Total	1857	100	100,00
NSA :	5		
AREA # 0922		SIMON BOLIVAR	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	86	2	1,70
No	4968	98	100,00
Total	5054	100	100,00
NSA :	1		
AREA # 0923		CORONEL MARCELINO MARIDUEÑA	
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	29	2	2,24
No	1263	98	100,00
Total	1292	100	100,00

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Tabla 3.7

Disponibilidad de Internet en las zonas rurales de los cantones de la Provincia del Guayas. Parte 7.

AREA # 0924	LOMAS	DE	
	SARGENTILLO		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	16	1	1,26
No	1253	99	100,00
Total	1269	100	100,00
NSA :	1		
AREA # 0925	NOBOL		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	48	2	1,58
No	2981	98	100,00
Total	3029	100	100,00
AREA # 0927	GENERAL ANTONIO ELIZALDE		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	15	1	1,29
No	1150	99	100,00
Total	1165	100	100,00
AREA # 0928	ISIDRO AYORA		
Disponibilidad de Internet	Casos	%	Acumulado %
Si	13	1	0,93
No	1385	99	100,00
Total	1398	100	100,00

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010).

Entre los cantones con más alto índice de Acceso a Internet en las zonas rurales se encuentran El Triunfo y Milagro con un 2.70%, a diferencia de Pedro Carbo con un

índice del 0,89 % constituyéndose el índice más bajo de toda la provincia del Guayas. En la Figura 3.5 se presenta una gráfica que ilustra el comportamiento del índice de acceso a Internet en los sectores rurales de la provincia.

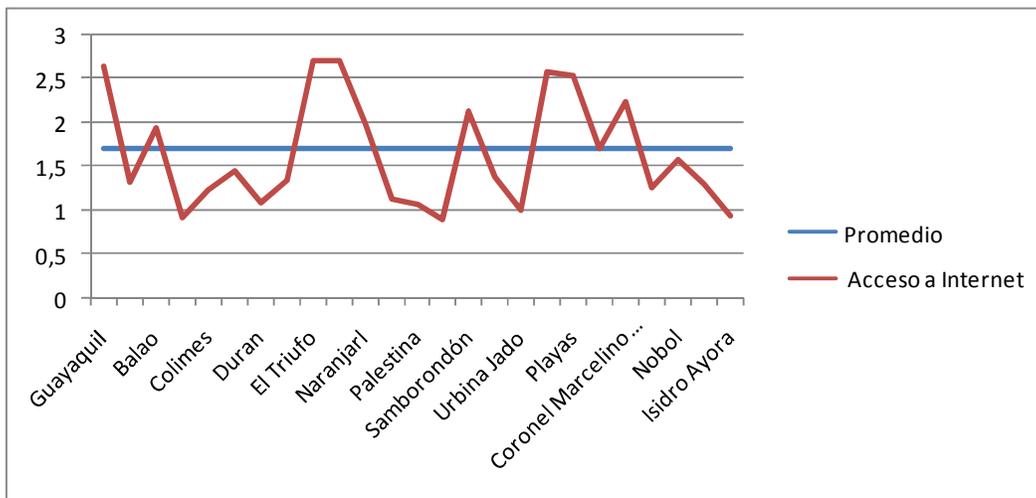


Figura 3 5

Índice de Acceso a Internet en los sectores rurales de los Cantones de la Provincia del Guayas.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

De acuerdo a la información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, la población económicamente activa de la Provincia del Guayas es del 37%, es decir que 37 de cada 100 habitantes esta en edad para trabajar, en la Figura 3.6 se ilustra el PEA (Población Económicamente Activa) y el PEI (Población Económicamente Inactiva) de la provincia.

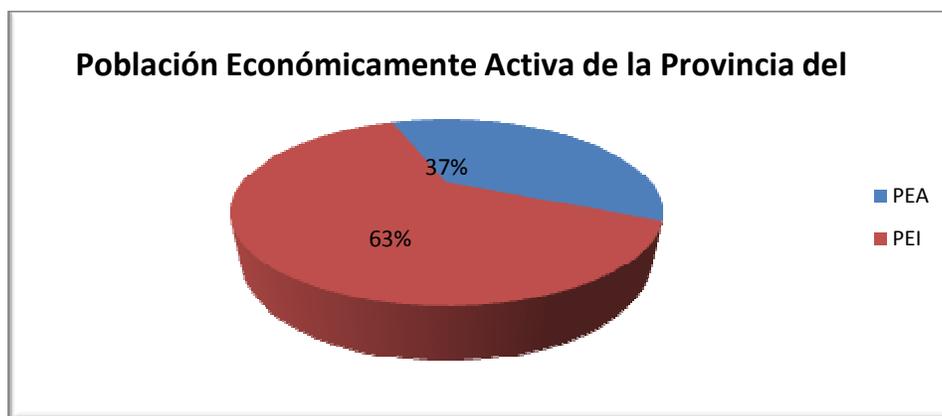


Figura 3 6

Población Económicamente Activa de la Provincia del Guayas.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

Cabe recalcar que el 31.5% de la población rural de la Provincia del Guayas asiste actualmente a un establecimiento de enseñanza regular, es decir que 31 de cada 100 habitantes en las zonas rurales se encuentran estudiando, por lo que el acceso a Internet constituye una herramienta fundamental para el desarrollo de este sector de la población. En la Figura 3.7 se presentan las estadísticas porcentuales de la población rural de la Provincia del Guayas que acude a un establecimiento de enseñanza regular.

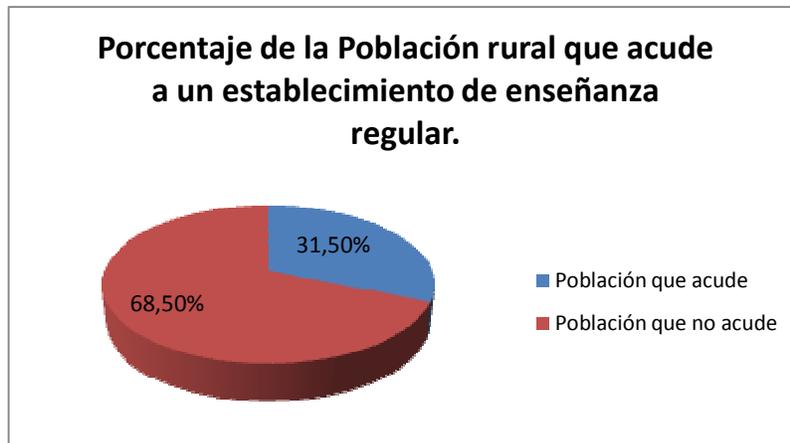


Figura 3 7

Porcentaje de la Población Rural de la Provincia del Guayas que acude a un establecimiento de enseñanza regular.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

En la Figura 3.8 se visualiza la Proyección de Acceso a Internet en las Zonas Rurales de la Provincia del Guayas, tomando en consideración un radio de cobertura de la red de 100 km, de acuerdo con lo especificado en el estándar IEEE 802.22.

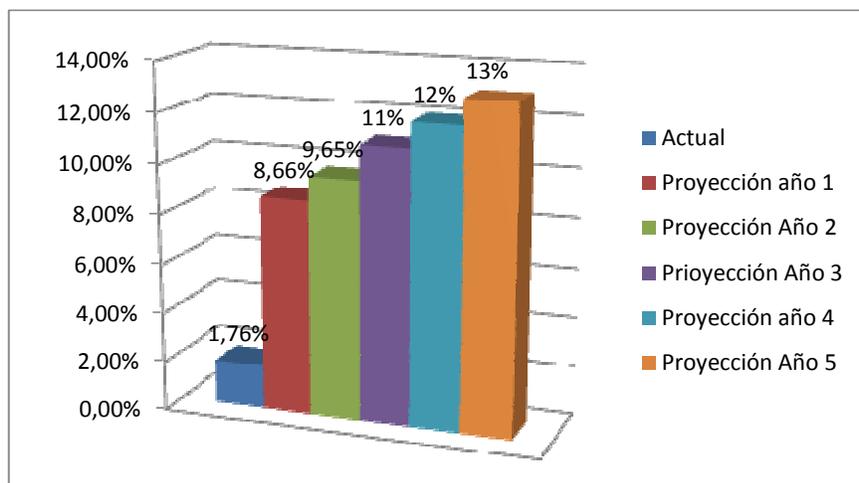


Figura 3 8

Proyección de Acceso a Internet en las Zonas Rurales de la Provincia del Guayas con la Red WRAN.

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

Según lo indicado se espera poder brindar la capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación basado en Internet al menos a 10,000 hogares en el primer año de funcionamiento de la red, incrementando así en 7 puntos porcentuales el acceso a este servicio en la provincia del Guayas y en un 11% en el año 5.

CAPÍTULO 4

4.1 El Estándar IEEE 802.22.

El estándar IEEE 802.22 define un conjunto de normativas de carácter técnico enfocadas fundamentalmente en las capas inferiores del modelo OSI, es decir que la estandarización de la WRAN define la manera en que se establecen las conexiones de datos entre los dispositivos de una red WRAN, su control y terminación, así como las conexiones físicas como cableado y conectores e interfaces de conexión inalámbricas.

Las especificaciones de la capa física de la red WRAN normadas en el estándar indican que el esquema de Modulación utilizado para la operación de las redes que trabajen haciendo uso de esta tecnología es OFDMA. Esta técnica de compartición de espectro permite hacer un uso más eficiente del limitado ancho de banda en el que un sistema de radiocomunicaciones opera, esto se logra ubicando las subportadoras del canal de comunicaciones de tal manera que las mismas estén separadas 90° entre sí, según se puede observar en la Figura 4.1, logrando de esta manera que las componentes con mayor densidad espectral de potencia de cada una de las subportadoras optimicen el uso de la porción del espectro radioeléctrico utilizado.

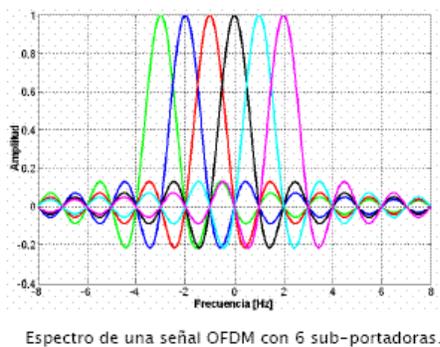


Figura 4. 1

Espectro de una señal OFDM.

Fuente: (Universidad Católica Boliviana, 2014)

Recuperado de: <http://www.revistasbolivianas.org.bo>

La banda de frecuencia de operación especificada en el estándar corresponde al rango que va desde los 54 MHz hasta los 862 MHz. Debido a las características de propagación de las ondas que trabajan a estas frecuencias es posible que una sola radio base proporcione una mayor cobertura para transmisión de datos, ya que las ondas terrestres tienen un alcance mucho mayor a las utilizadas con la tecnología del Wi – Fi tradicional.

Esto implica que una radio base WRAN proporciona una amplia cobertura, muy superior a cualquiera de las proporcionadas por los estándares IEEE 802, el alcance máximo teórico de una base transmisora WRAN sería de aproximadamente 100 km teniendo como distancia de alcance promedio de 33 km. cuando el CPE transmite a 4W de PIRE (Potencia Isótropa Radiada Equivalente).

Adicionalmente como parte de las características de la capa física de esta tecnología, el estándar IEEE 802.22 especifica que la WRAN utilizará esquemas de modulación adaptativa, este sistema ajusta dinámicamente el ancho de banda, la modulación y el esquema de codificación según la relación señal/ruido percibida, de esta manera la red proporcionará velocidades de transferencia de datos mayores cuando la relación señal/ruido proporcione las condiciones óptimas para que el esquema de modulación utilizado sea el más eficiente, según se puede apreciar en la Figura 4.2.

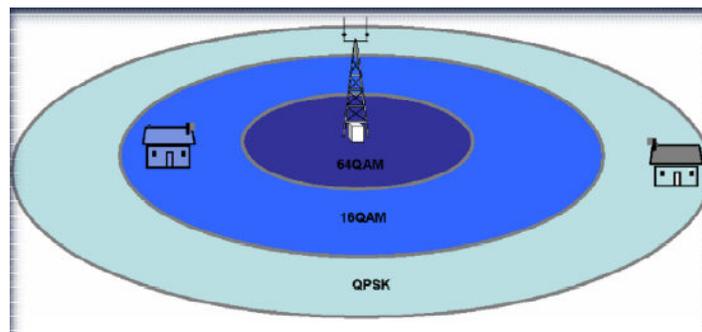


Figura 4. 2

Modulación Adaptativa

Fuente: (IEEE Standards Association, 2011)

Las bandas de frecuencias de operación se encuentran en el rango que va desde los 54 a 862 MHz. Actualmente esta banda de frecuencias corresponde a la utilizada por las televisoras y radiodifusoras del país, sin embargo se espera que luego de la migración a las bandas de la Televisión Digital Terrestre (TDT) de los concesionarios de este servicio, y luego de que se haya realizado el apagón analógico, sea factible la utilización de la tecnología WRAN en las bandas VHF – UHF. Por lo anteriormente expuesto se deduce que es necesario implementar una normativa regulatoria apropiada para que la tecnología WRAN pueda desarrollarse en Ecuador.

La capa física de la tecnología WRAN e indicada en el estándar IEEE 802.22 establece que se requiere al menos de 3 canales de TV analógica para la separación de un canal WRAN, esto se debe a que por efectos de limitación de interferencias es necesario que el canal WRAN se encuentre ubicado entre 2 canales vacíos, según se puede observar en la figura 4.3.

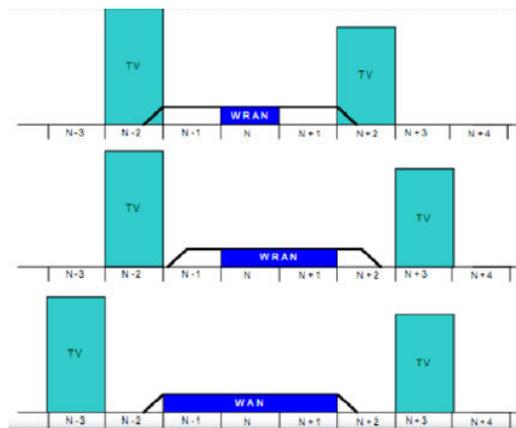


Figura 4. 3

Canales WRAN

Fuente: (IEEE Standards Association, 2011)

Los sistemas WRAN tienen la capacidad de monitorear el espectro radioeléctrico y determinar la banda de frecuencias apropiada para operar óptimamente, sin embargo esta característica denominada radio cognitiva necesita ser muy dinámica y responder rápidamente a los cambios del sistema, para ello se ha desarrollado el concepto de supertrama que está definida en el estándar y que proporciona el dinamismo requerido para garantizar la operatividad idónea del Sistema.

La Supertrama SCH (*Superframe Control Header*) contiene:

- Enlace de Canal de TV
- Convivencia e información de la supertrama.
- El número y tamaño de la trama.
 - Información de Periodos de Silencio
 - ID de potencia del transmisor
- Ubicación de la información de configuración

La cabecera de Supertrama contiene un preámbulo para el tiempo de sincronización y estimación de canal, según se puede apreciar en la Figura 4.4.

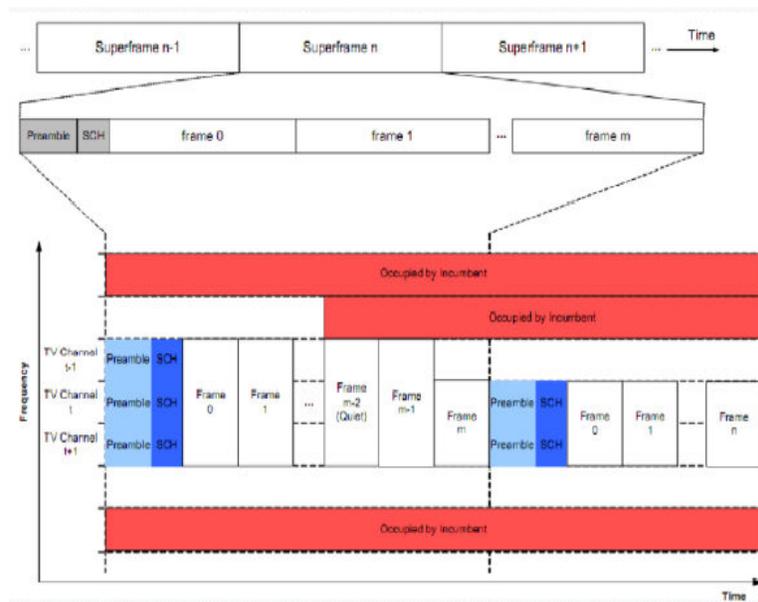


Figura 4. 4

Supertrama IEEE 802.22

Fuente: (IEEE Standards Association, 2011)

La estructura de la trama MAC tiene dos partes, según se puede apreciar en la figura 4.5:

- **Subtrama de Bajada de Información (DS).**- Contiene el PDU (*Protocol Data Unit*) de la capa PHY.
- **Subtrama de Subida de Información (US).**- Contiene el PDU, USC (*Urgent Coexistence Situation*), notificación, ancho de banda, entre otros campos.

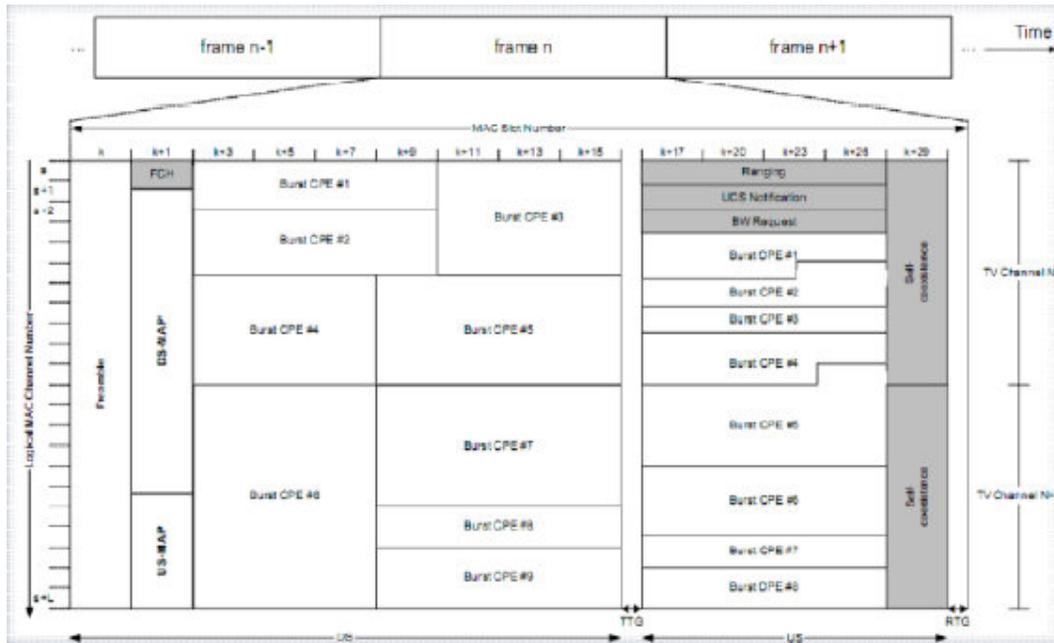


Figura 4. 5

Trama MAC IEEE 802.22

Fuente: (IEEE Standards Association, 2011)

- **Período de Silencio (Quiet Period).**- Es el mecanismo de detección obligatorio utilizado en esta tecnología y está compuesto por:
 - **Detección rápida:** la detección de este nivel de energía dura normalmente menos de 1 ms/canal y el resultado de la estación base decide sobre la necesidad de las siguientes etapas.
 - **Detección Propia:** Determinado dinámicamente por el resultado de la detección rápida, durante esta fase los algoritmos correspondientes se ejecutan a 25 ms/canal.

En la Figura 4.6 se puede apreciar la representación de los canales IEEE 802.22.



Figura 4. 6

Canales IEEE 802.22

Fuente: (IEEE Standards Association, 2011)

Adicionalmente, dado que el Sistema WRAN se estructura haciendo uso de una topología de tipo Punto – Multipunto el mismo requiere del uso de dos tipos de antenas independientes para cada radio CPE:

- **Antena Directiva:** El uso de este tipo de antena le permite al CPE comunicarse con la Estación Base haciendo un uso más eficiente de la energía radiada, ya que la antena se debe orientar apuntando al punto fijo de la estación base de tal manera que el patrón de radiación de la antena concentre la mayor cantidad de energía hacia la Radio base WRAN.
- **Antena de la Estación Base:** La antena de la estación base puede ser de tipo omnidireccional o un arreglo de antenas sectoriales, y tiene como objetivo distribuir la energía radioeléctrica en iguales proporciones alrededor de los 360° del punto central de radiación de la Radio base WRAN, esto permite que la misma pueda comunicarse simultáneamente con todos los CPE, como se puede apreciar en la Figura 4.7.

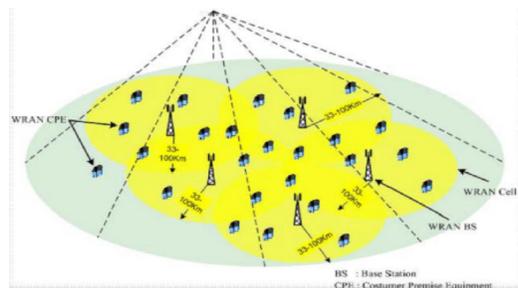


Figura 4. 7

Cobertura WRAN

Fuente: (IEEE Standards Association, 2011)

De acuerdo con el estándar IEEE 802.22, el sistema desocupa un canal de radiocomunicaciones si se detectan señales licenciadas superiores a los límites indicados en la figura 4.8.

	Analog TV	Digital TV	Wireless Mics
Sensitivity	-94 dBm	-116 dBm	-107 dBm
SNR	1 dB	-21 dB	-12 dB

Figura 4. 8

Parámetros Básicos del Estándar IEEE 802.22.

Fuente: (Churchill, 2012)

Recuperado de: <http://www.dailywireless.org/2012/11/13/weightless-m2m-standard-version-0-9/>

La Radio base ubicada en el punto central del Sistema Punto Multipunto opera a una potencia límite de 36 dBm de PIRE, esto es aproximadamente 3.981 W PIRE, sin embargo la potencia de operación debe ser limitada en la regulación que el Consejo Nacional de Telecomunicaciones emita en caso de considerar que la tecnología WRAN se deba incorporar a la red de telecomunicaciones del Ecuador.

4.2 Uso de Tecnologías de Espectro Ensanchado en el Ecuador.

Según lo indicado en secciones anteriores, el estándar IEEE 802.22 indica que las redes WRAN trabajan en topologías de tipo Punto – Multipunto y haciendo uso de OFDMA como técnica de Acceso Múltiple al espectro radioeléctrico.

Según la Normativa regulatoria vigente en el Ecuador, el uso de técnicas de espectro ensanchado se encuentra regulado en la Norma para la implementación y operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, emitida mediante resolución TEL-560-18-CONATEL-2010, el 24 de septiembre de 2010 por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

Esta Norma establece un marco regulatorio que podrá servir de guía para proponer un posible mecanismo de regulación para la tecnología IEEE 802.22 emergente. Según la resolución TEL-560-18-CONATEL-2010, la atribución de los Sistemas de Modulación

Digital de Banda Ancha es a título secundario, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y en el Plan Nacional de Frecuencias. Esto implica que el poseedor de un título habilitante para la instalación de Sistemas de Espectro Ensanchado está facultado a hacer uso del espectro radioeléctrico pero no de manera exclusiva, por lo que en caso de que su sistema de radiocomunicaciones afecte la operación de un sistema autorizado que opera a título primario, deberá dejar de funcionar hasta que solucione, a su costo, el origen de la afectación de los sistemas primarios mencionados. Debido a que el estándar IEEE 802.22 hace uso de una tecnología que monitorea el uso del espectro radioeléctrico y al detectar frecuencias atribuidas a título primario dentro de su banda de operación migra a un canal dentro del espectro permitido de operación, donde no existan frecuencias atribuidas a título primario haciendo uso del mismo, se concluye que la figura regulatoria apropiada para normar el levantamiento de redes WRAN en el país es el de la asignación de títulos habilitantes o autorización de operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha a título secundario.

Las características de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha son:

- a) Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional y con un nivel relativamente bajo de potencia.
- b) La utilización de técnicas de modulación que proporcionan una señal resistente a las interferencias.
- c) Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias.
- d) Coexistir con Sistemas de Banda Angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del Espectro Radioeléctrico.
- e) Operar en bandas de frecuencias inscritas en el cuadro de Atribución de bandas de frecuencias.

Adicionalmente a la autorización de permisos de levantamiento de redes otorgados a título secundario será necesario especificar tanto en la Normativa correspondiente a la implementación y operación de Sistemas WRAN, como en el Plan Nacional de Frecuencias, la banda de frecuencias atribuida a este nuevo servicio, el cual deberá ser desde los 54 MHz hasta los 862 MHz, estos sistemas coexistirían con sistemas autorizados a operar a título primario.

La configuración de los Sistemas WRAN autorizados por el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) deberá ser en topología Punto – Multipunto según lo indicado en el estándar IEEE 802.22. Según el marco regulatorio actual, el título habilitante que autoriza el levantamiento de infraestructura de radiocomunicaciones haciendo uso de técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha (MDBA), es el Certificado Registro, por lo cual el interesado en levantar este tipo de redes deberá realizar formalmente una solicitud a la SENATEL indicando que desea registrar el levantamiento de un sistema MDBA a operar en las bandas 54 – 862 MHz previo al registro de esta banda con las atribuciones correspondientes, por parte del CONATEL, en el Plan Nacional de Frecuencias.

Actualmente el CONATEL ha especificado una tarifa a cancelar por la autorización del uso de frecuencias bajo la modalidad MDBA en las bandas correspondientes, luego de incorporar las nuevas bandas de 54 – 862 MHz como sistemas MDBA a título secundario, se deberá determinar la tarifa correspondiente a cancelar por parte de los usuarios de esa porción del espectro bajo la modalidad previamente mencionada, esta tarifa deberá incluirse en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, el cual deberá ser modificado para permitir la inclusión de este nuevo servicio, esta modificación deberá realizarse previa autorización del Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

De acuerdo con el Reglamento actual los sistemas Punto – Multipunto MDBA deben cancelar una tarifa por uso del espectro radioeléctrico que está expresado según la siguiente ecuación:

$$T_{TOTAL} = T_A + T_C$$

Donde TA está definido como:

$$T_A(USD\$) = k_a * \alpha_4 * \beta_4 * A * D^2$$

Y TC está definido como:

$$T_C(USD\$) = k_a * \alpha_4 * Fd$$

Donde:

k_a : *Factor de Ajuste por Inflación*

α_4 : *Coficiente de Valoración del Espectro*

β_4 : *Coficiente de Corrección*

A : *Anchura de Banda (MHz)*

D : *Radio de Cobertura de la Estación Fija Central*

Fd : *Factor de Capacidad*

De las ecuaciones previamente indicadas y que constan en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico vigente se concluye que la tarifa por el levantamiento de Sistemas que hacen uso de tecnología de Modulación Digital de Banda Ancha depende de los siguientes factores:

- Factor Inflacionario (k_a)
- Valoración de la porción del Espectro a utilizar (α_n)
- Zona Geográfica en la que se proporcionará el servicio (β_n)
- Ancho de Banda (A)
- Radio de Cobertura (D)
- Número de Estaciones (Fd)

Las tarifas se cancelan de manera mensual según el Reglamento anteriormente indicado y oscilan entre los \$12 y \$60 mensuales, según las características del Sistema y la banda

de frecuencias de operación. Por lo anteriormente indicado se concluye que la modificación al reglamento que se deberá aprobar por CONATEL deberá considerar los factores antes indicados y los montos a cancelar por los usuarios que deseen operar en las bandas WRAN estarán dentro del orden de magnitud de las tarifas de los Sistemas actuales de Modulación Digital de Banda Ancha.

El CONATEL también deberá contemplar la posibilidad de que el Sistema WRAN produzca interferencias a frecuencias atribuidas a título primario que operen a Título Primario en la Banda, si un CPE de la WRAN ocasiona dicho tipo de interferencia, aún si dicho equipo cumpliera con las características técnicas establecidas en los Reglamentos y Normativas pertinentes, deberá suspender inmediatamente la operación del mismo, y la operación no podrá reanudarse hasta que la Superintendencia de Telecomunicaciones remita Informe Técnico favorable indicando que se ha subsanado la interferencia perjudicial.

Finalmente será necesario la autorización por parte del CONATEL para la realización de un estudio Técnico – Regulatorio que defina los límites de potencias bajo los cuales deberán operar Sistemas WRAN, estos límites de potencias deberán cumplir con lo establecido en el Reglamento de Protección de Radiaciones No Ionizantes generadas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico emitido por el CONATEL mediante resolución 01-01-CONATEL-2005.

Como se mencionó previamente, el Título Habilitante que autoriza el levantamiento de Sistemas de Radiocomunicaciones que hacen uso de Técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha es el Certificado de Registro, de acuerdo con el Marco Regulatorio actual, en la Figura 4.9 se presenta un ejemplo de un Certificado de Registro de una empresa Portadora legalmente establecida en el Ecuador:

		CERTIFICADO DE REGISTRO DE ENLACES DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA		DGGER					
REGISTRO									
La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en cumplimiento de las Resoluciones 417-15-CONATEL-2005 del 13 de octubre de 2005 (R.O. No. 143 del 11 de noviembre de 2005); 165-04-CONATEL-2008 del 6 de marzo de 2008 (R.O. No. 335 del 14 de mayo de 2008); SNT-2008-046 del 20 de marzo de 2008 y 485-20-CONATEL-2008 del 8 de octubre de 2008 (R.O. No. 463 del 10 de noviembre de 2008), otorga el presente certificado a favor de:									
[Redacted Name]									
Código SNT: 0951050		Dirección: [Redacted]							
TIPO DE SISTEMA: Explotación		No. Registro: SNT-DRL-2010-018070		No. Trámite: [Redacted]					
PAGOS A EFECTUAR:									
TARIFA TOTAL POR USO DE FRECUENCIAS (USD): 38,40									
NOTAS:									
1. La operación de sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha es a Título Secundario (Art. 4 de la Norma vigente). 2. La duración para cada enlace es de 5 años en concordancia y de acuerdo al tiempo de vigencia del Título Habilitante del Servicio previamente concesionado. 3. La(s) estación(es) terrena(s) que tiene(n) un asterisco en la columna de RNI, teóricamente sobrepasa(n) los límites de RNI establecidos en el Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante Generada por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, por lo que si la Superintendencia de Telecomunicaciones comprueba en las mediciones de campo realizadas de conformidad con los artículos 11, 12 y 13 del mismo, que la radiación sobrepasa los límites permitidos, se deberá implementar la respectiva señalización de advertencia de acuerdo a lo establecido en el Artículo 16 del mencionado Reglamento. La(s) estación(es) terrena(s) que no tiene(n) un asterisco en la columna de RNI, teóricamente no sobrepasa(n) dichos límites.									
ENLACE PUNTO-PUNTO 1									
CARACTERISTICAS DEL ENLACE:									
Banda de Frecuencias (MHz)		Tipo de Operación		Distancia (Km)					
5725 MHz - 5850 MHz		OFDM		3,34					
Tarifa Mensual (USD)		12,80							
CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS:									
No.	Código	Provincia	Cantón	Ciudad, Calle No. / Localidad	Latitud	Longitud			
1.	SED0687	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO, CALLE MEDARDO CEVALOS Y 15 DE ABRIL (ISP BECKER ZAMBRANO).	01°03'56,30" S	80°27'04,70" W			
2.	SED0688	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO, CDLA. LUZ DE AMERICA NUMERO S/N KM 1, VIA A CRUCITA REFERENTE A LA ESTACION DE SERVICIO UNISER S.A. NODO PRINCIPAL (ISP BECKER ZAMBRANO).	01°02'17,30" S	80°27'48,30" W			
CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ESTACIONES:									
Indicativo	Estructura	Antena	Gan. de Ant (dB)	Azmut de Ant. (°)	Pol.	Altura Base-Ant.(m)	Equipo	Potencia (mW)	RNI
HC124406	SED0687	HYPERLINK HG582TG	27,000	338,20	V	33	TELETRONICS TT 5800	200,000	*
HC124406	SED0688	HYPERLINK HG582TG	27,000	196,00	V	30	TELETRONICS TT 5800	200,000	*
ENLACE PUNTO-PUNTO 2									
CARACTERISTICAS DEL ENLACE:									
Banda de Frecuencias (MHz)		Tipo de Operación		Distancia (Km)					
5725 MHz - 5850 MHz		OFDM		3,18					
Tarifa Mensual (USD)		12,80							
CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS:									
No.	Código	Provincia	Cantón	Ciudad, Calle No. / Localidad	Latitud	Longitud			
1.	SED0689	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO, AV. NUEVA CALIFORNIA Y SAN LUIS, CIUDADELA CALIFORNIA 2 (ISP BECKER ZAMBRANO).	01°03'52,70" S	80°28'27,00" W			
2.	SED0688	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO, CDLA. LUZ DE AMERICA NUMERO S/N KM 1, VIA A CRUCITA REFERENTE A LA ESTACION DE SERVICIO UNISER S.A. NODO PRINCIPAL (ISP BECKER ZAMBRANO).	01°02'17,30" S	80°27'48,30" W			
CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ESTACIONES:									
Indicativo	Estructura	Antena	Gan. de Ant (dB)	Azmut de Ant. (°)	Pol.	Altura Base-Ant.(m)	Equipo	Potencia (mW)	RNI
HC124406	SED0689	HYPERLINK HG582TG	27,000	22,70	V	24	TELETRONICS TT 5800	200,000	*
HC124406	SED0688	HYPERLINK HG582TG	27,000	202,00	V	27	TELETRONICS TT 5800	200,000	*
ENLACE PUNTO-PUNTO 3									
CARACTERISTICAS DEL ENLACE:									
Banda de Frecuencias (MHz)		Tipo de Operación		Distancia (Km)					
5725 MHz - 5850 MHz		OFDM		2,94					
Tarifa Mensual (USD)		12,80							
Elaborado por: [Redacted] Revisado por: [Redacted] Subdirector: [Redacted] Aprobado: [Redacted]									
No. Registro: [Redacted]					Página 1 de 2				

Figura 4. 9
Certificado de Registro de Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha Parte 1.
 Fuente: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

		CERTIFICADO DE REGISTRO DE ENLACES DE MODULACION DIGITAL DE BANDA ANCHA				DGGER			
REGISTRO									
La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en cumplimiento de las Resoluciones 417-15-CONATEL-2006 del 13 de octubre de 2006 (R.O. No. 143 del 11 de noviembre de 2005); 165-04-CONATEL-2008 del 6 de marzo de 2008 (R.O. No. 336 del 14 de mayo de 2008); SNT-2008-046 de 20 de marzo de 2008 y 485-20-CONATEL-2008 del 8 de octubre de 2008 (R.O. No. 463 del 10 de noviembre de 2008), otorga el presente certificado a favor de:									
[Redacted Name]									
CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS:									
No.	Código	Provincia	Cantón	Ciudad, Calle No. / Localidad		Latitud	Longitud		
1.	SED0688	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO, CDLA LUZ DE AMERICA NUMERO SIN KM 1 VIA A CRUCITA REFERENTE A LA ESTACION DE SERVICIO UNISER S.A. NODO PRINCIPAL (ISP BECKER ZAMBRANO).		01°02'17.30" S	80°27'48.30" W		
2.	SED0690	MANABI	PORTOVIEJO	PORTOVIEJO, CALLE JORGE POLIT Y CESAR CHAVEZ CIUDADELA MUNICIPAL (ISP BECKER ZAMBRANO).		01°00'44.20" S	80°28'07.50" W		
CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ESTACIONES:									
Indicativo	Estructura	Antena	Gan. gg Ant (dB)	Azmut de Ant. (°)	Pol.	Altura Base-Ant.(m)	Equipo	Potencia (mW)	RNI
HC124406	SED0688	HYPERLINK HG5827G	27,00	348,40	V	25	TELETRONICS TT 5800	200,00	
HC124406	SED0690	HYPERLINK HG5827G	27,00	168,30	V	21	TELETRONICS TT 5800	200,00	
SUBDIRECTOR GENERAL DE GESTION DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO									
[Redacted Signature]									
Fecha de realización: [Redacted]									
Elaborado por: [Redacted]				Revisado por: [Redacted]					
Subdirector: [Redacted]				Aprobado: [Redacted]					
No. Registro: [Redacted]				Página 1 de 2					

Figura 4. 10

Certificado de Registro de Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha Parte 2.

Fuente: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

Los Certificados de Registro de Sistemas MDBA son autorizados por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) previa solicitud del usuario y análisis correspondiente del equipo técnico de esta institución, en dicho análisis se determina si el Sistema opera dentro de las Bandas atribuidas a este servicio, si operan dentro de los límites de Potencia determinados en el Reglamento de Protección de Radiaciones No Ionizantes generadas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico, y la tarifa a cancelar por la autorización de dicho Sistema.

Según el análisis realizado, se puede concluir que la figura regulatoria que más se ajusta al método de funcionamiento de la tecnología WRAN es la del Certificado de Registro de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, Título Habilitante que se otorga al beneficiario en modalidad de título secundario, permitiendo de esta manera que las frecuencias atribuidas a título primario de la porción del espectro operen simultáneamente con los Sistemas WRAN, ya que esta modalidad de autorización proporciona prioridad a los sistemas que operan a título primario. Adicionalmente cabe mencionar que previo a la definición de una modificación a la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, debería aprobarse el uso de las bandas de frecuencias correspondientes en el Plan Nacional de Frecuencias, mismo que debe ser autorizado por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, preferiblemente posterior al apagón analógico previsto para el 2017.

CAPÍTULO 5

5.1 Diseño de la Red WRAN para la Provincia del Guayas.

Para el diseño de la red WRAN se procederá a realizar un análisis de capacidad, costo y cobertura de la red de acuerdo con el modelo presentado en la Figura 5.1.

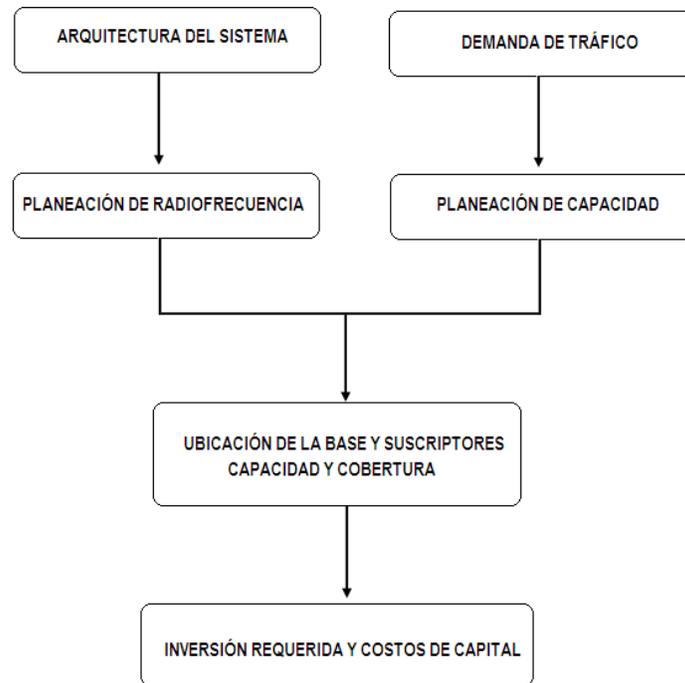


Figura 5. 1

Modelo de diseño de la red WRAN.

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), 2008)

5.2 Arquitectura del Sistema.

La arquitectura de la red WRAN propuesta es la de un Sistema Punto – Multipunto donde los suscriptores accederán a un servicio integral de comunicación a través de un CPE enlazado inalámbricamente a la estación base, según se puede apreciar en la Figura 5.2.

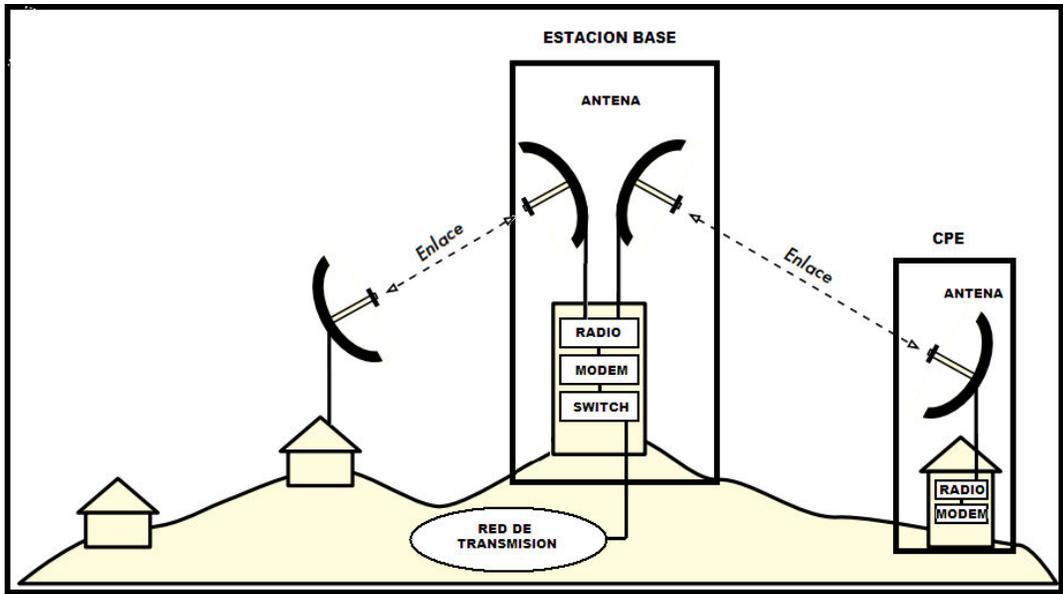


Figura 5. 2

Arquitectura del Sistema.

Fuente: (wndw project, 2008)

En la figura 5.3 se puede apreciar la configuración del extremo suscriptor del sistema, el cual estará ubicado en una Institución Educativa Fiscal de la cabecera cantonal, con la finalidad de dar acceso durante horas de clases a los estudiantes de las parroquias más pobladas de cada cantón y fuera de horarios de clases se prestaría el servicio a los miembros de la comunidad que así lo requieran de manera gratuita.

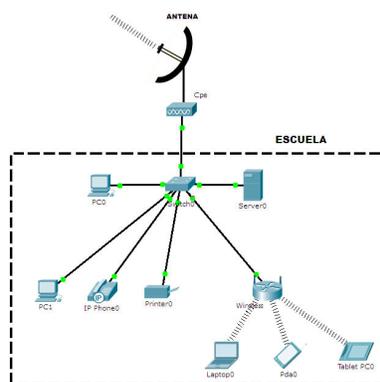


Figura 5. 3

Configuración del Suscriptor.

Fuente: Autor.

El extremo suscriptor del enlace estaría compuesto por una antena marca Cabletech modelo ANT0559 que proporciona una ganancia de 30 dBi y opera en la banda UHF 470 – 862 MHz, el detalle de la antena se presenta en la figura 5.4.



Figura 5. 4

Antena CableTech modelo ANT0559.

Fuente: (Cabletech, 2014)

Recuperado de: <http://www.cabletech.pl/>

Un conmutador marca Cisco Systems modelo Catalyst 3560 de 48 puertos, el cual será el elemento de conmutación del sistema y permitirá conectar los equipos terminales a la red. El detalle del conmutador se presenta en la figura 5.5.



Figura 5. 5

Conmutador Cisco *Catalyst* 3560.

Fuente: (Cisco Systems, Inc, 2014)

Recuperado de: <http://www.cisco.com>

En la figura 5.6 se puede apreciar la configuración de la estación base del sistema la cual estará estratégicamente ubicada en una localidad que proporcione la mejor cobertura posible con el menor número de recursos invertidos.

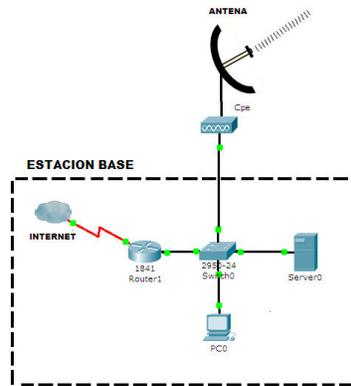


Figura 5. 6

Configuración de la Estación Base.

Fuente: Autor.

La estación base estará conformada por una antena omnidireccional marca PCTEL modelo MFB81358 con una ganancia de 5 dBi que opera en la banda 806 – 866 MHz, la misma se presenta en la figura 5.7.



Figura 5. 7

Antena PCTEL MFB8135.

Fuente: (Pctel, 2014)

Recuperado de: www.pctel.com

La estación base hará uso de un ruteador marca Cisco serie 3800 modelo 3845 el cual proporcionará servicios de enrutamiento de paquetes a una alta tasa de transferencia de datos, posee un diseño modular que permite expandir las capacidades de la red según sea necesario. Adicionalmente posee un conmutador integrado con soporte PoE (*Power*

⁸ (Pctel, Inc., 2014)

Over Ethernet) con 36 puertos Ethernet disponibles que proporcionan capacidades de conmutación a nivel de capa 2 de hasta 1000 Mbps.

El ruteador Cisco 3845 proporciona características de seguridad como encriptación de datos, soporte de defensa antivirus NAC (*Network Admission Control*) y una versión de Sistema Operativo IOS (*Internetwork Operating System*) con capacidad de Cortafuegos (*Firewall*) incorporada que previene el ingreso de intrusos de manera no autorizada al sistema. Finalmente el Sistema proporciona soporte para llamadas de voz, gestión de Calidad de Servicio QoS (*Quality of Service*) y priorización de tráfico que facilita la implementación del Servicio de telefonía IP a través de la red.

El ruteador Cisco 3845 proporciona acceso a la red extendida WAN (*Wide Area Network*) a través de las ranuras WIC (*WAN Interface Card*) que permiten la inserción de módulos de acceso WAN al sistema. En la figura 5.8 se puede apreciar una imagen del ruteador.



Figura 5. 8

Ruteador Cisco 3845.

Fuente: (*Cisco Systems, Inc*, 2014)

Recuperado de: <http://www.cisco.com>

Al diseño de la estación base se ha incorporado un servidor de gestión marca Hewlett-Packard modelo ProLiant DL320e Gen8⁹ que permite realizar el monitoreo y control de la red de manera centralizada a través del Sistema Operativo Linux Ubuntu Server

⁹ (Hewlett-Packard , 2014)

versión 14.04 y la herramienta informática WebSense10 que proporciona las capacidades de administración de privilegios de acceso al sistema, protección contra amenazas potenciales de intrusión y robo de datos, administración y optimización del ancho de banda y administración de los recursos de internet y de almacenamiento de información.

El servidor ha sido diseñado para ser montado en un bastidor o *Rack*, tiene un procesador Intel Xeon Quad-Core E3 de 3.1 GHz y 4 GB de memoria RAM (*Random Access Memory*). En la figura 5.9 se puede apreciar la imagen del servidor.



Figura 5. 9

Servidor HP ProLiant DL320e Gen8.

Fuente: (Hewlett-Packard, 2014)

Recuperado de: www.hp.com

En lo que respecta al CPE y a la base, en vista que el estándar IEEE 802.22 corresponde a una nueva tecnología, en la actualidad no existen equipos de distribución comercial por lo que se procederá a incorporar dentro del diseño del sistema a los prototipos de CPE y base IEEE 802.22 implementados por el Instituto Nacional de Tecnologías de la Información y Comunicación o NICT (*National Institute of Information and Communications Technology*), por sus siglas en inglés.

La NICT es una entidad de nacionalidad japonesa encargada de la investigación en el campo de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información y en conjunto con la empresa, también de origen japonés, Hitachi-Kokusai Electric, Inc. han implementado una estación base IEEE 802.22, la misma que fue presentada al público

¹⁰ (Websense, Inc, 2014)

el 30 de enero de 2013¹¹, el equipo en cuestión puede apreciarse en la figura 5.10 y sus características técnicas se indican en la Tabla 5.1.

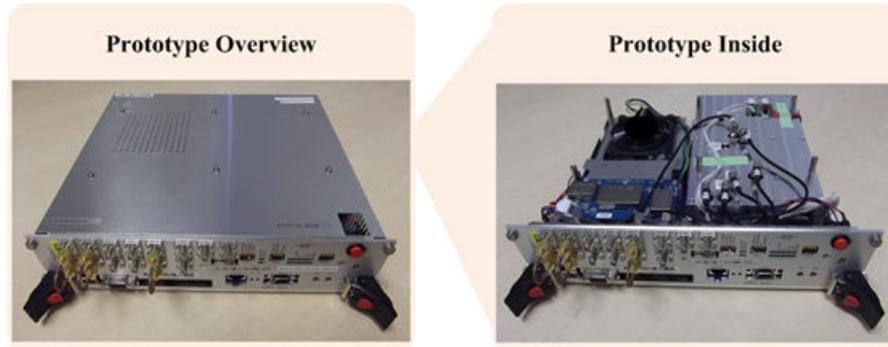


Figura 5. 10

Prototipo de Radio Base IEEE 802.22 desarrollado por NICT y Hitachi-Kokusai Electric, Inc.

Fuente: (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

Recuperado de: www.nict.go.jp

Tabla 5. 1

Especificaciones del prototipo de Equipo Base.

ÍTEM	CARACTERÍSTICA
Banda de frecuencias	470 - 710 MHz
Ancho de Banda	6 MHz
Potencia	4 W
Tecnología de Acceso Múltiple	OFDMA/TDD
Modulación de subportadora	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Velocidad de codificación	1/2, 2/3, 3/4, 5/6

Fuente: (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

Recuperado de: www.nict.go.jp

¹¹ (Hitachi-Kokusai Electric, Inc., 2014)

En enero de 2014 se puso a prueba la comunicación entre el prototipo de estación base IEEE 802.22 y un CPE móvil en las instalaciones del Yokosuka Research Park¹² ubicado en la ciudad japonesa de Yokosuka a 45 km de Tokio.

Para la prueba se utilizó un prototipo de CPE desarrollado por NICT y Hitachi-Kokusai Electric e implementado en un teléfono móvil inteligente capaz de hacer uso de los espacios en blanco del espectro de TV según el estándar IEEE 802.22. En la figura 5.11 se puede observar el equipo en cuestión y en la Tabla 5.2 las características técnicas.



Figura 5. 11

Prototipo de CPE móvil.

Fuente: (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

Recuperado de: www.nict.go.jp

Tabla 5. 2

Especificaciones del prototipo de CPE.

ÍTEM	CARACTERÍSTICA
Banda de frecuencias	470 - 710 MHz (Espacios en Blanco de TV)
Ancho de Banda	6, 10, 20 MHz
Potencia	20 dBm máx.
Tecnología de Acceso Múltiple	OFDMA/TDD
Modulación	QPSK, 16-QAM, 64-QAM

Fuente: (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

Recuperado de: www.nict.go.jp

¹² (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

TV White Space Database		Request Information			
Host Address	192.168.1.100	Station Class	TxRx	FCCID	a1b2c3d4
Authority Type	FCC	Network Type	Portable Access Point	Serial Number	t452
Protocol	HTTPS	WS Type	UHF[470 - 770 MHz]	Antenna Height	0.15(meter)
Connected	Yes				

Available Channel List					
	WS Channel	Frequency (MHz)	Start Time	Duration (Second)	Tx Power Limit (dBm)
1	34	596-602	Tue Apr 24 18:10:30 2012	20000	20
2	42	644-650	Tue Apr 24 18:10:30 2012	20000	20
3	46	668-674	Tue Apr 24 18:10:30 2012	20000	20

© NICT

Figura 5. 13

Detalle de la Base de datos desarrollada por NICT para el Japón.

Fuente: (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

Recuperado de: www.nict.go.jp

La Base de datos del espectro deberá ser desarrollada y administrada por la entidad reguladora de las telecomunicaciones de cada país o en su defecto con una empresa o institución pública o privada debidamente autorizada por el órgano regulador del sector.

El acceso a la misma deberá ser normado por las autoridades competentes y el mantenimiento y actualización de la base de datos será competencia y responsabilidad exclusiva del Estado.

En el caso del Ecuador, de acuerdo con la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, la Institución encargada de la administración y gestión del espectro radioeléctrico y por ende del manejo de la base de datos de frecuencias a nivel nacional es la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

En caso de que las autoridades pertinentes decidan implementar un Sistema WRAN haciendo uso de la Radio Cognitiva, la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones deberá brindar las facilidades de acceso a la base de datos del espectro a nivel nacional, debido a ello, no se ha incluido el desarrollo, gestión y administración de la base de datos del espectro, como parte del análisis de costos del diseño del sistema WRAN para la Provincia del Guayas.

Como muestra del avance en el desarrollo de la tecnología IEEE 802.22 y de la importancia que está tomando la implementación y uso de la radio cognitiva a nivel

mundial la FCC (*Federal Communications Commission*), Órgano regulador del sector de las telecomunicaciones en los Estados Unidos, ha aprobado la elaboración y publicación de la base de datos del espectro.

En el enlace <https://www.google.com/get/spectrumdatabase/channel/> se puede apreciar la base de datos del espectro desarrollada por Google para los Estados Unidos. En la figura 5.14 se puede apreciar la captura de imagen del sitio web mencionado.

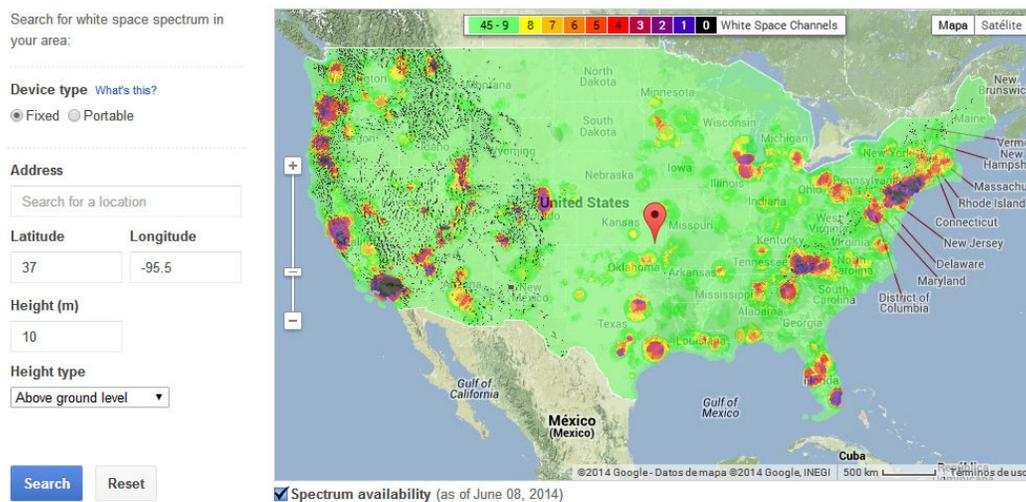


Figura 5. 14

Base de datos del espectro desarrollada por Google para Estados Unidos.

Fuente: (*Google Spectrum Database, 2014*)

Recuperado de: <https://www.google.com/get/spectrumdatabase/channel/>

A diferencia de la base de datos desarrollada por NICT para Japón, la base de datos de Google es de acceso público y en ella se puede apreciar la disponibilidad de espectro en cada sector del país, haciendo uso de un código de colores que indica el número de espacios en blanco del espectro geográficamente referenciados.

En la prueba de campo del primer sistema WRAN, el prototipo de la estación base se conecta con la base de datos de espacios en blanco del espectro para correlacionar la información y poder implementar la radio cognitiva. En la figura 5.15 se muestra el detalle del sistema implementado por NICT.

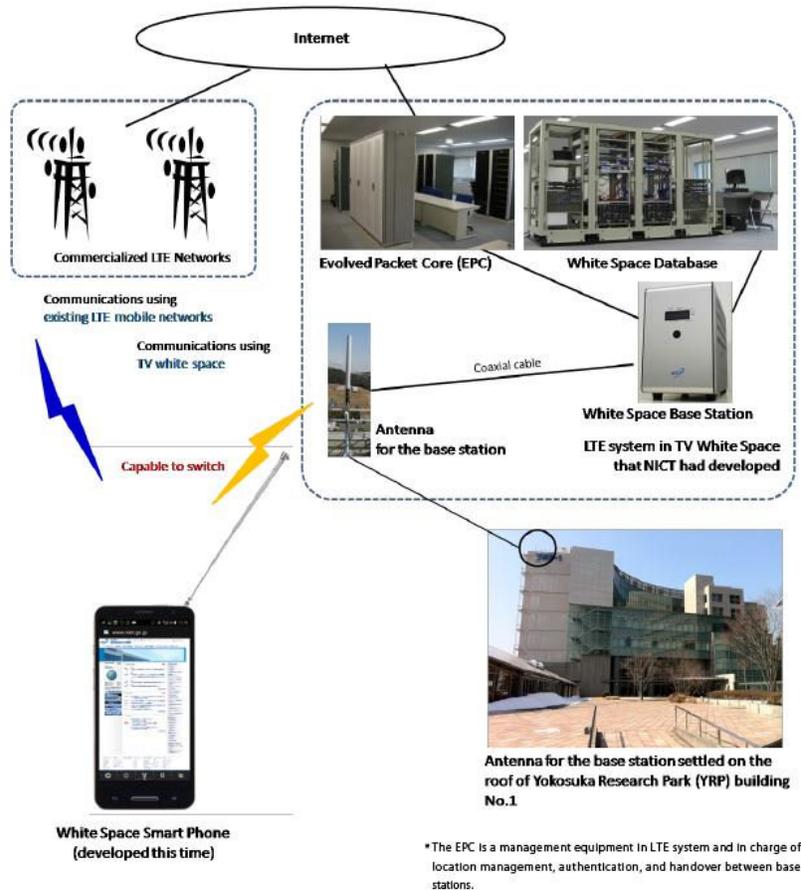


Figura 5. 15

Prueba de campo del primer sistema WRAN.

Fuente: (National Institute of Information and Communications Technology (NICT), 2014)

Recuperado de: www.nict.go.jp

El prototipo de CPE móvil permite la conmutación entre el acceso a internet a través de la red LTE (*Long Term Evolution*) ya existente en el Japón o a través de la red WRAN. Como se puede apreciar en la imagen el sistema tiene acceso al EPC (*Evolved Packet Core*) o núcleo de la red LTE a través del cual accede a internet.

Para fines de diseño de la red WRAN para la provincia del Guayas se utilizará un CPE ficticio con las características del prototipo de CPE móvil presentadas en la Tabla 5.2 con la diferencia de que el mismo corresponderá a un CPE fijo conectado a la antena CableTech modelo ANT0559 y ubicado en el extremo suscriptor de la red.

5.3 Planeación de Radiofrecuencia.

El Sistema se basa en el estándar IEEE 802.22 y hace uso de la tecnología OFDM como mecanismo de multiplexación, a su vez utiliza la modulación adaptativa que va desde QPSK para los puntos más distantes de la estación base con una eficiencia espectral de 0.5 bit/s/Hz, hasta 64 QAM para los más próximos, con una eficiencia espectral de 5 bit/s/Hz. El ancho de banda del canal es de 6 MHz, lo que da como resultado una capacidad de canal promedio de 18 Mbps, según se puede apreciar en la Tabla 5.3.

Tabla 5. 3

Capacidad del Canal.

Modulación	QPSK	16 QAM	64 QAM
Ancho de banda de canal	6 MHz	6 MHz	6 MHz
Reutilización de frecuencia	1	1	1
Eficiencia espectral (b/s/Hz)	0,5	3	5
Capacidad por canal de 6 MHz. (Mbps)	3	18	30

Fuente: Autor.

5.4 Demanda del tráfico.

Para fines del diseño se establecen como condiciones mínimas para un desempeño que cubra las demandas requeridas, una capacidad del sistema por suscriptor en envío de 1.5 Mbps, lo cual corresponde a un T1 de capacidad, y una capacidad del sistema de suscriptor en retorno de 384 Kbps, suficiente para garantizar una buena calidad en video conferencia.

5.5 Planeación de Capacidad.

A partir de estos valores se determina la razón de Envío/Retorno de la siguiente manera:

$$\text{Razón(Envío/Retorno)} = \frac{\text{Capacidad del sistema por suscriptor en envío}}{\text{Capacidad del sistema por suscriptor en retorno}}$$

$$\text{Razón(Envío/Retorno)} = \frac{1500 \text{ kbps}}{384 \text{ kbps}}$$

$$\text{Razón(Envío/Retorno)} = 3.9$$

La capacidad típica del sistema por suscriptor en envío de ADSL es de 8 Mbps y la capacidad típica del sistema de suscriptor en retorno de ADSL es de 1.5 Mbps. La razón de Envío/Retorno de un sistema ADSL es de 5.33, por lo que se puede apreciar que la capacidad del sistema WRAN se encuentra dentro del mismo orden de magnitud que la tecnología ADSL y tecnologías similares.

5.6 Razón de Sobresuscripción:

La sobresuscripción relaciona la capacidad que un determinado equipo tiene disponible frente a la capacidad total que podría requerir en el peor de los casos.¹³ Este valor se fundamenta en estimaciones basadas en el comportamiento estadístico de acceso a banda ancha y para fines del diseño del Sistema se estima una razón de sobresuscripción de 50.

5.7 Número de suscriptores por canal de envío:

Para el cálculo del Número de suscriptores por canal de envío se hace uso de la siguiente ecuación¹³:

$$\# \text{ de susc. por canal de envío} = \left(\frac{\text{Capacidad promedio de canal}}{\text{Cap. del sistema por susc. en envío}} \right) * \text{Razón de Sobresuscripción}$$

$$\# \text{ de susc. por canal de envío} = \left(\frac{18}{1.5} \right) * 50$$

$$\# \text{ de susc. por canal de envío} = 600$$

¹³ (Chouinard, 2011)

De acuerdo con este cálculo, teóricamente el sistema puede albergar a 600 suscriptores por cada canal de envío de 6 MHz de ancho de banda.

Asumiendo un número promedio de 4 personas por grupo familiar a atender dentro de la Provincia del Guayas, valor que está dentro del orden de magnitud de las estadísticas del censo poblacional del 2010 publicadas por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)¹⁴, se estima una capacidad promedio de 2400 personas atendidas por cada canal de 6 MHz ocupado. A continuación se resume lo anteriormente mencionado en la Tabla 5.4.

Tabla 5. 4

Cobertura y Capacidad del Sistema WRAN.

Ancho de Banda del canal de RF	6	MHz	
Eficiencia espectral promedio:	3	bit/(s*Hz)	
Capacidad del Canal:	18	Mbps	
Capacidad del sistema por suscriptor (en envío):	1,5	Mbps	Una capacidad equivalente a T1 es esperada para ser un envío razonable de velocidad de datos para servicio de acceso de banda ancha rural y remoto basado en los servicios actuales como ADSL y acceso de banda ancha por cable, brindados en áreas urbanas y suburbanas.
Capacidad del sistema por suscriptor (en retorno):	384	Kbps	Permite una buena calidad en video conferencia.
Razón Envío/Retorno:	3,9		En el mismo orden de magnitud que el actual ADSL y servicios de acceso de banda ancha por cable.
Razón sobre-suscripción:	50		También llamada "razón de contención". La Tecnología ADSL tiene un valor típico de 40 y Cable Modem de 80.
Número de suscriptores por canal de envío:	600		Puede variar entre 400 y 800 suscriptores dependiendo del nivel aceptable de carga de la red. Números más altos inducirán a más contención del canal, resultando un incremento de la latencia y reducción del <i>throughput</i> para los suscriptores.
Número asumido de personas por grupo familiar:	4	personas	
Número total de personas por canal de envío:	2400	Personas/canal	

Fuente: (Chouinard, 2011).

¹⁴ (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2010)

5.8 Ubicación de la Estación Base.

Debido a las características topográficas del Cerro Azul, ubicado en la ciudad de Guayaquil, Provincia del Guayas, la Estación Base se ubicará en una de las torres del sector Cerro Azul, el mismo que tiene una altura máxima de 395 m y es ampliamente utilizado para las telecomunicaciones de la región porque proporciona una buena cobertura. En la figura 5.16 se presenta el perfil topográfico de Cerro Azul.

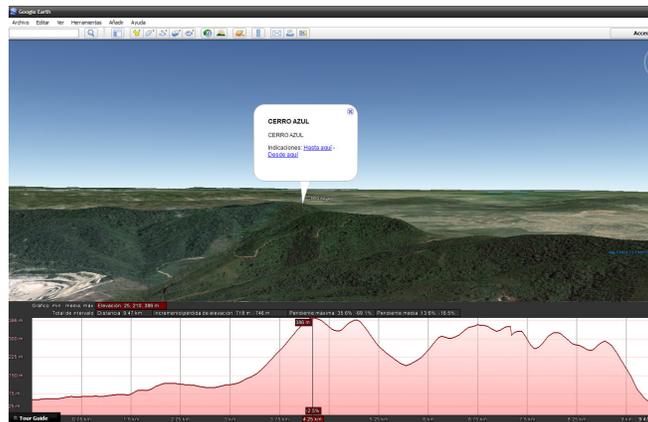


Figura 5. 16

Perfil Topográfico de Cerro Azul.

Fuente: Autor.

5.9 Ubicación de los suscriptores.

El proyecto que se propone en el presente trabajo es un Sistema Punto – Multipunto y está conformado por la Estación Fija Central o Estación Base ubicada en la ciudad de Guayaquil, y 25 Estaciones Fijas ubicadas en establecimientos educativos fiscales distribuidos en cada uno de los cantones de la Provincia del Guayas, según se puede apreciar en la Figura 5.17.

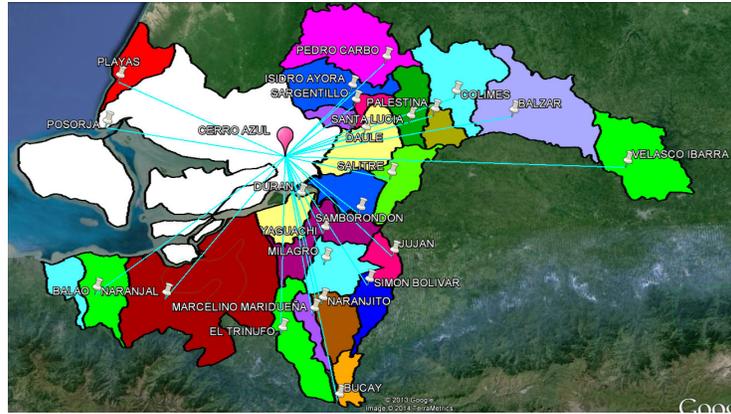


Figura 5. 17
Configuración de la Red.
Fuente: Autor.

Las Estaciones Fijas del Sistema son las presentadas en las Tablas 5.5 parte 1 y parte 2.

Tabla 5. 5
Estaciones Fijas del Sistema Punto Multipunto parte 1.

	Cantón	Establecimiento Educativo	Dirección
1	Guayaquil	Escuela Fiscal 12 De Abril	Parroquia Posorja, Calle M1 y Calle J1
2	Colimes	Escuela Fiscal Enriqueta Macías Guadamud	Olmedo y La cuarta
3	Eloy Alfaro (Durán)	Escuela Fiscal Huancavilca #74	Calle J y Calle 22
4	Samborondón	Escuela Fiscal Elías Yúnes	Sucre y San Miguel
5	Yaguachi	Colegio Fiscal 21 de Julio	Abdón Calderón y Maridueña
6	General Villamil (Playas)	Colegio Fiscal 15 de Agosto	15 de Agosto y Zenón Macías
7	Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan)	Colegio Fiscal Presidente Vicente Ramón Roca	Recinto 3 Postes, detrás de Parque
8	Marcelino Maridueña	Colegio Fiscal Marcelino Maridueña	Calle Y y Calle 8
9	Balao	Escuela Fiscal Mixta Miraflores	30 De Octubre y Calle 1
10	Naranjal	Escuela Fiscal Abdón Calderón	Bolívar y Junín
11	General Antonio Elizalde (Bucay)	Colegio Fiscal Antonio Elizalde	García Moreno y Macas
12	El Trunfo	Escuela Fiscal Juan Montalvo	Carlos Amén Campos y Antonio José de Sucre
13	Naranjito	Colegio Fiscal Naranjito	5 de Octubre y 10 de Agosto
14	Milagro	Escuela Fiscal Simón Bolívar	Simón Bolívar y Guayaquil
15	Simón Bolívar	Colegio Fisco-Misional Arsenio López	24 de Junio y Monseñor Bravo
16	Urbina Jado (Salitre)	Escuela Fiscal Coronel Brito	García Moreno y Piedrahita
17	Daule	Escuela Fiscal Hugo Serrano	Luis Urdaneta y Leónidas Proaño
18	Vicente Piedrahita (Nobol)	Escuela Fiscal Beata Narcisa de Jesús	Juan Álvarez y Río Amazonas
19	Lomas de Sargentillo	Escuela Fiscal 5 de Septiembre	Av. El Telégrafo y Guayaquil

Fuente: Autor.

Tabla 5. 6

Estaciones Fijas del Sistema Punto Multipunto parte 2.

	Cantón	Establecimiento Educativo	Dirección
20	Isidro Ayora	Colegio Fiscal Isidro Ayora	Av. Juan Montalvo
21	Pedro Carbo	Escuela Fiscal José Luis Tamayo	Parroquia Valle de la Virgen
22	Palestina	Escuela Fiscal Rosa Borja de Icaza	Amazonas y Rosa Borja
23	Santa Lucía	Escuela Fiscal Eloy Velásquez Cevallos	Barrio Floresta: Calle Bolívar
24	Balzar	Escuela Fiscal 19 de Mayo	Víctor Hugo Briones y Calle 9A
25	Velasco Ibarra (El Empalme)	Colegio Fiscal 9 de Octubre	Av. Quito y Quevedo

Fuente: Autor.

5.10 Análisis de Cobertura del Sistema.

Para realizar el cálculo de cobertura del sistema se hará uso de la herramienta informática Radio Mobile que permite simular y predecir las prestaciones de radioenlaces utilizando información de mapas digitales del terreno e indica la intensidad de la señal recibida en el extremo del CPE del Sistema.

En base a la información proporcionada por la simulación se determinará si cada uno de los enlaces son factibles de implementarse o si en su defecto no son técnicamente viables debido a que la intensidad de la señal en el CPE es insuficiente.

La radio base trabajará a una potencia de 36 dBm, haciendo uso de una antena omnidireccional de 5dBi de ganancia, de acuerdo con las características de la tabla 5.1. La estructura de la base tendrá una longitud de 50 m, dando como resultado una altura sobre el nivel del mar de 381.5 m con un Factor K o Factor de Curvatura Terrestre de 4/3 y trabajando a una frecuencia promedio de 830 MHz. Para determinar la viabilidad de los enlaces se considera una obstrucción máxima permisible del 30% de la primera Zona de Fresnel.

Los CPE trabajarán con una sensibilidad de -94 dBm y haciendo uso de antenas directivas de 30 dBi de ganancia, de acuerdo con las características presentadas en la tabla 5.2.

5.11 Enlace Posorja.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil, Parroquia Posorja, con coordenadas 2°43'3.00"S, 80°14'46.86"O correspondientes a la Escuela Fiscal 12 de Abril. En la figura 5.18 se puede apreciar la simulación del enlace Posorja.



Figura 5. 18
Simulación del Enlace Posorja.
Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 127.6 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 43.2 dBµV/m. La distancia del enlace es de 69.30 km. En la Figura 5.19 se presentan los detalles del enlace.

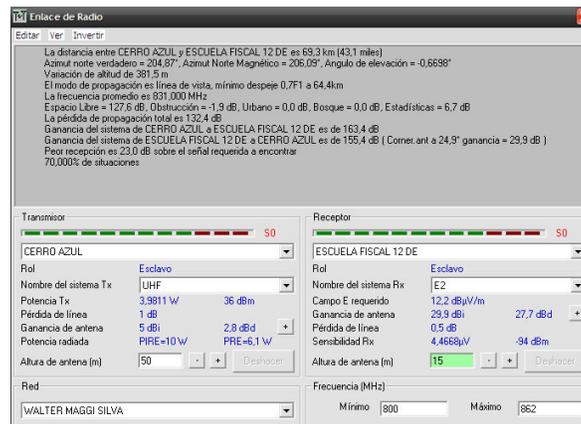


Figura 5. 19
Detalles del Enlace Posorja.
Fuente: Autor.

5.12 Enlace Colimes.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Colimes, con coordenadas 1°32'37.62"S, 80°1'12.75"O correspondientes a la Escuela Fiscal Enriqueta Macías Guadamud. En la figura 5.20 se puede apreciar la simulación del enlace Colimes.

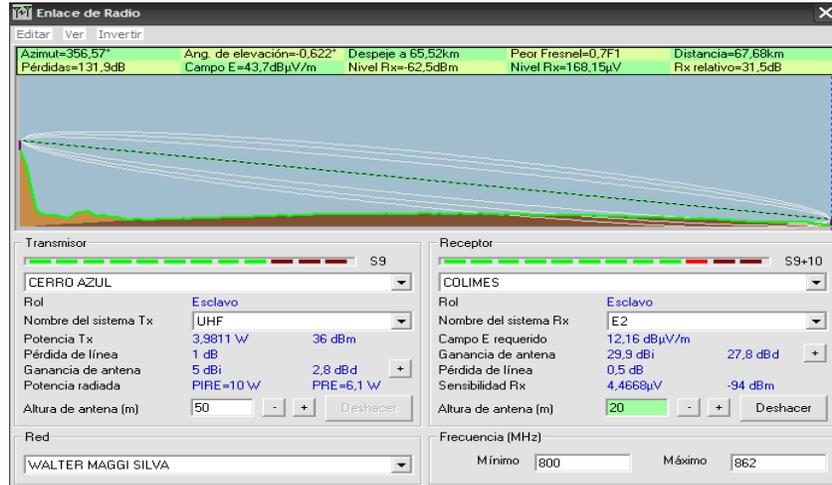


Figura 5. 20

Simulación del Enlace Colimes.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 20 m, la pérdida de espacio libre es de 127.4 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 43.7 dBμV/m. La distancia del enlace es de 67.68 km. En la Figura 5.21 se presentan los detalles del enlace.

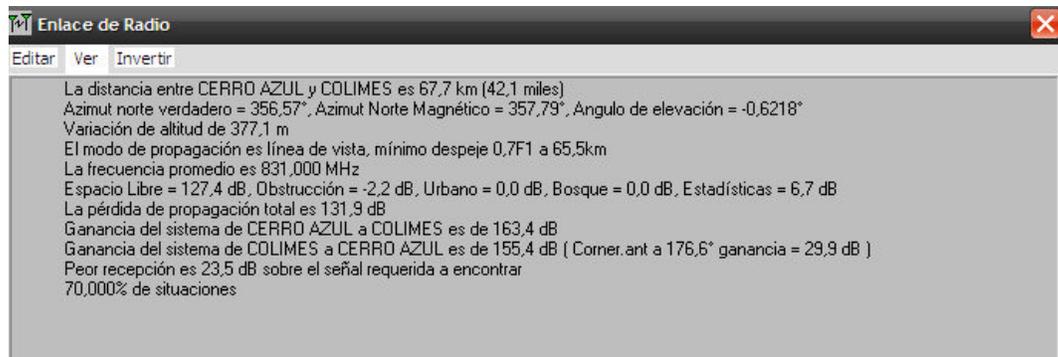


Figura 5. 21

Detalles del Enlace Colimes.

Fuente: Autor.

5.13 Enlace Eloy Alfaro (Durán).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Durán, con coordenadas 2°8'45.21"S, 79°49'46.09"O correspondientes a la Escuela Fiscal Huancavilca #74. En la figura 5.22 se puede apreciar la simulación del enlace Eloy Alfaro (Durán).

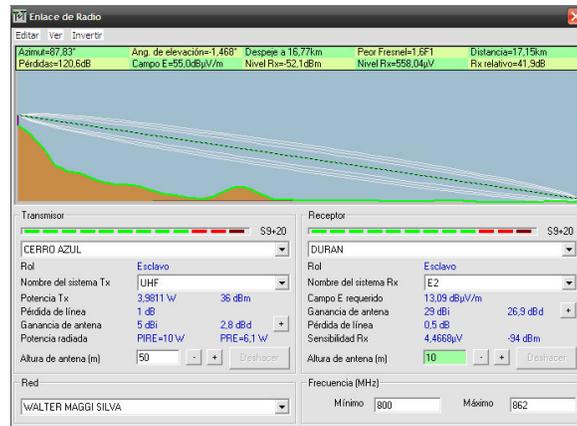


Figura 5. 22

Simulación del Enlace Eloy Alfaro (Durán).

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 10 m, la pérdida de espacio libre es de 115.5 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 55.0 dB μ V/m. La distancia del enlace es de 17.15 km. En la Figura 5.23 se presentan los detalles del enlace.

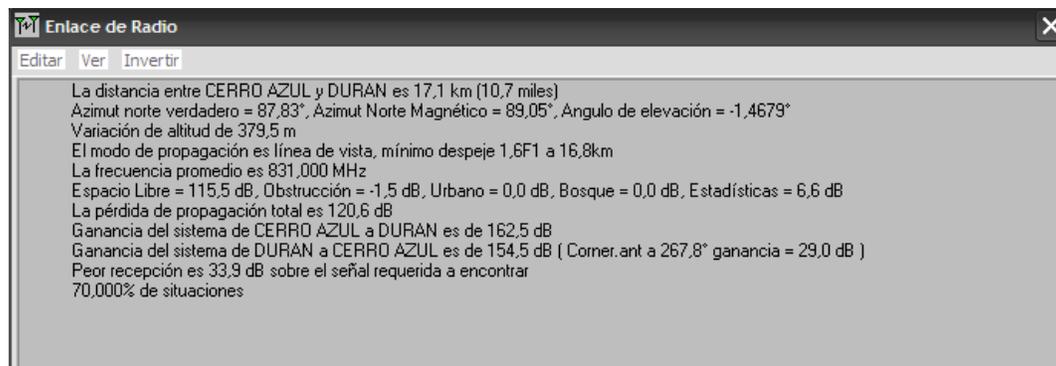


Figura 5. 23

Detalles del Enlace Eloy Alfaro (Durán).

Fuente: Autor.

5.14 Enlace Samborondón.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Samborondón, con coordenadas 1°57'48.02"S, 79°43'36.57"O correspondientes a la Escuela Fiscal Elías Yunes. En la figura 5.24 se puede apreciar la simulación del enlace Samborondón.

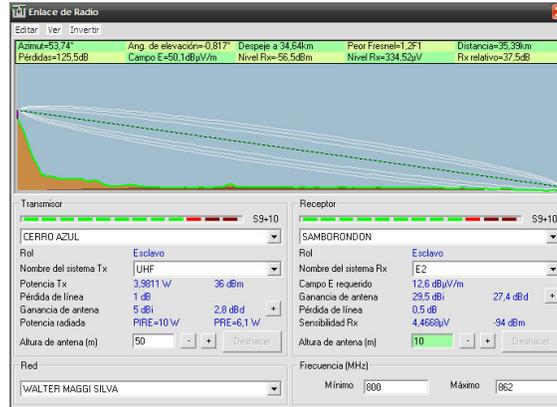


Figura 5. 24

Simulación del Enlace Samborondón.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 10 m, la pérdida de espacio libre es de 121.8 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 50.1 dBμV/m. La distancia del enlace es de 35.39 km. En la Figura 5.25 se presentan los detalles del enlace.

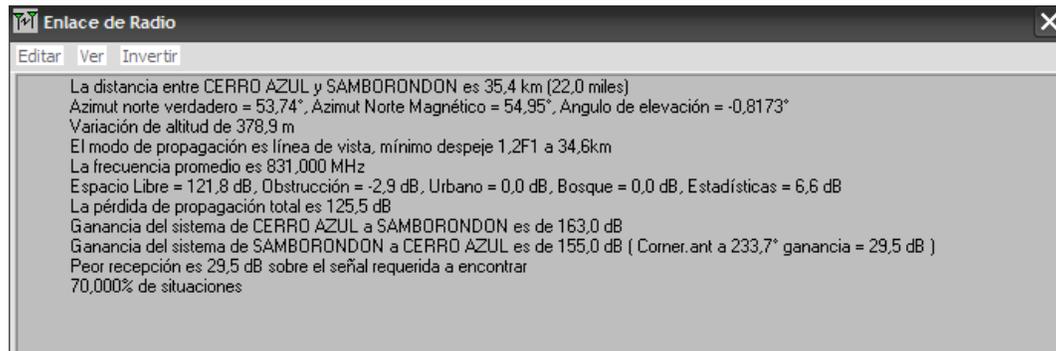


Figura 5. 25

Detalles del Enlace Samborondón.

Fuente: Autor.

5.15 Enlace Yaguachi.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Yaguachi, con coordenadas 2° 5'54.37"S, 79°41'39.47"O correspondientes al Colegio Fiscal 21 de Julio. En la figura 5.26 se puede apreciar la simulación del enlace Yaguachi.

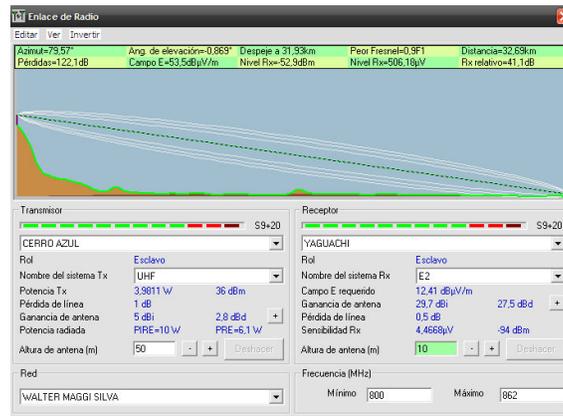


Figura 5.26
Simulación del Enlace Yaguachi.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 10 m, la pérdida de espacio libre es de 121.1 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 53.5 dBμV/m. La distancia del enlace es de 32.69 km. En la Figura 5.27 se presentan los detalles del enlace.

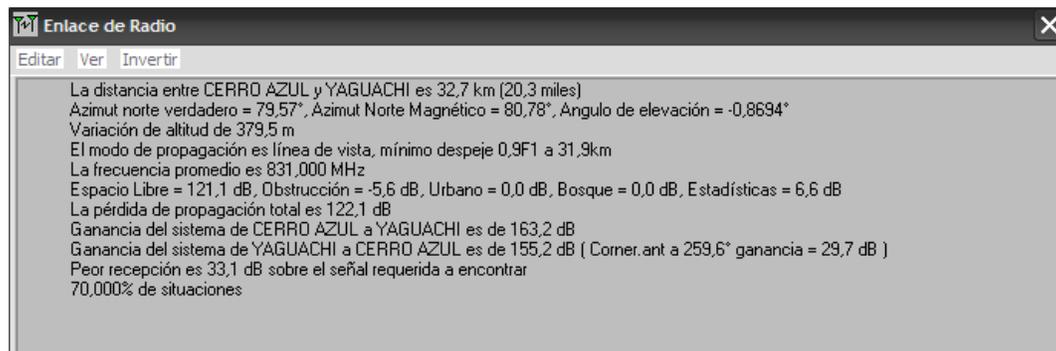


Figura 5.27
Detalles del Enlace Yaguachi.

Fuente: Autor.

5.16 Enlace General Villamil (Playas).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Playas, con coordenadas 2°37'59.99"S, 80°23'6.51"O correspondientes al Colegio Fiscal 15 de Agosto. En la figura 5.28 se puede apreciar la simulación del enlace Playas.

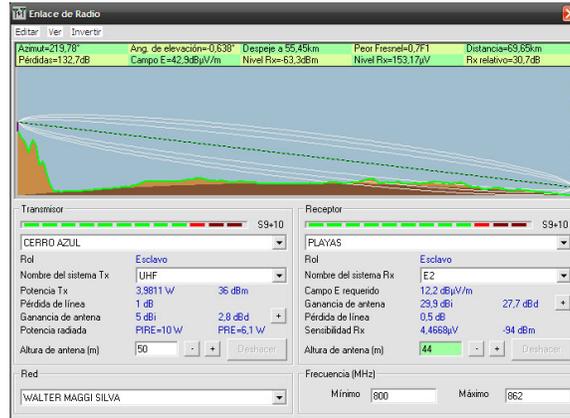


Figura 5. 28

Simulación del Enlace Playas.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 44 m, la pérdida de espacio libre es de 127.7 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 42.9 dBμV/m. La distancia del enlace es de 69.65 km. En la Figura 5.29 se presentan los detalles del enlace.

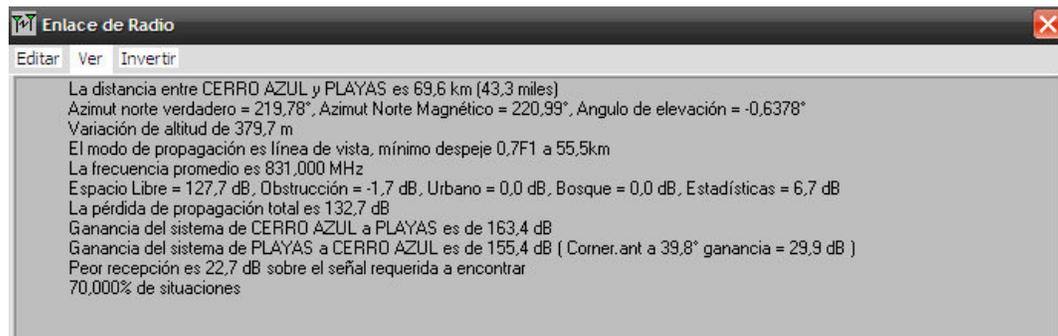


Figura 5. 29

Detalles del Enlace Playas.

Fuente: Autor.

5.17 Enlace Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Jujan, con coordenadas 1°53'34.81"S, 79°33'21.27"O correspondientes al Colegio Fiscal Presidente Vicente Ramón Roca. En la figura 5.30 se puede apreciar la simulación del enlace Jujan.

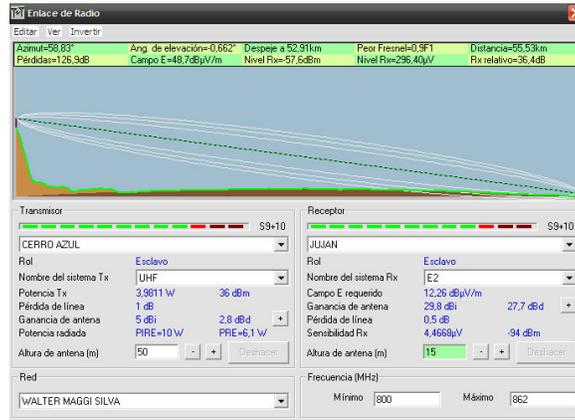


Figura 5. 30

Simulación del Enlace Jujan.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 125.7 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 48.7 dBμV/m. La distancia del enlace es de 55.53 km. En la Figura 5.31 se presentan los detalles del enlace.

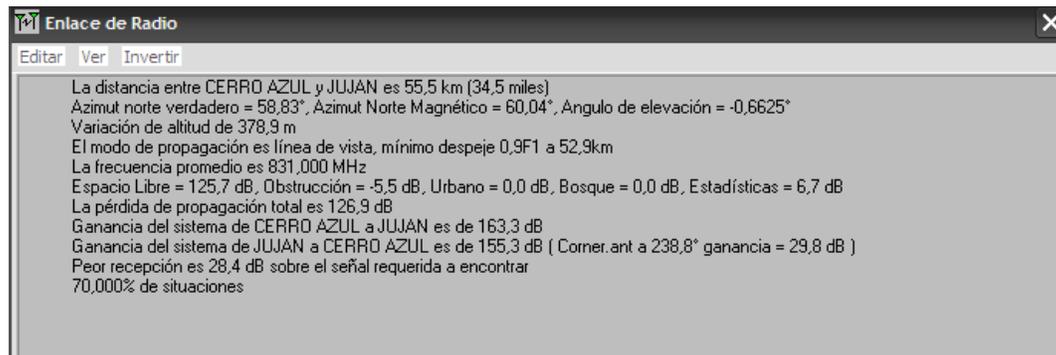


Figura 5. 31

Detalles del Enlace Jujan.

Fuente: Autor.

5.18 Enlace Marcelino Maridueña.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Marcelino Maridueña, con coordenadas 2°12'29.88"S, 79°26'17.91"O correspondientes al Colegio Fiscal Marcelino Maridueña. En la figura 5.32 se puede apreciar la simulación del enlace Marcelino Maridueña.

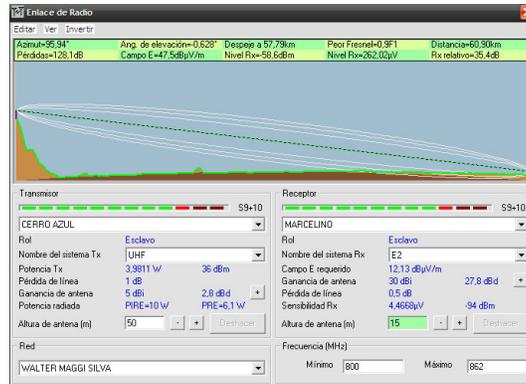


Figura 5. 32

Simulación del Enlace Marcelino Maridueña.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 126.5 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 47.5 dBuV/m. La distancia del enlace es de 60.90 km. En la Figura 5.33 se presentan los detalles del enlace.

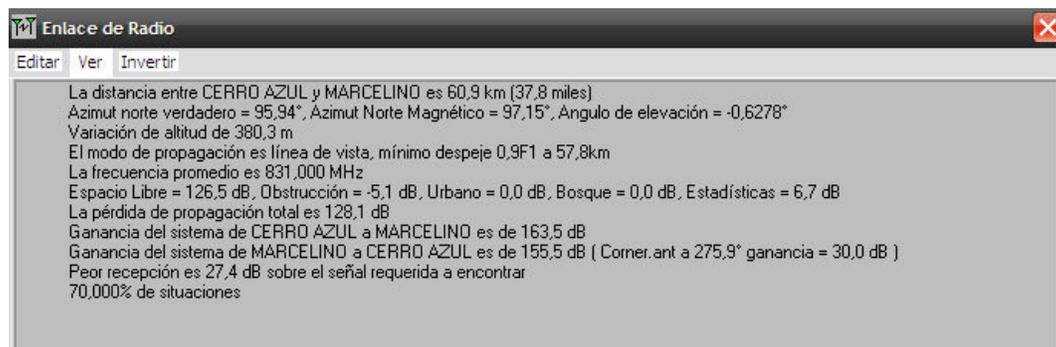


Figura 5. 33

Detalles del Enlace Marcelino Maridueña.

Fuente: Autor.

5.19 Enlace Balao.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Balao, con coordenadas 2°12'29.88"S, 79°26'17.91"O correspondientes a la Escuela Fiscal Mixta Miraflores. En la figura 5.34 se puede apreciar la simulación del enlace Balao.

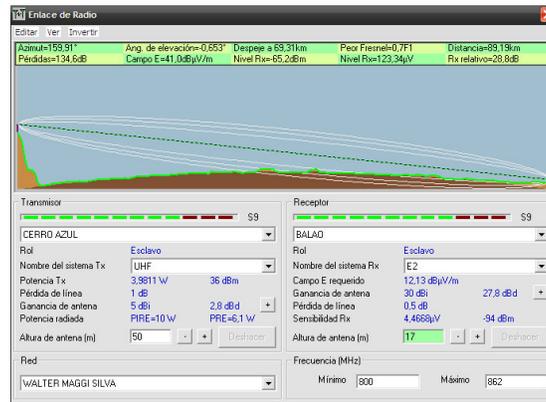


Figura 5.34

Simulación del Enlace Balao.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 17 m, la pérdida de espacio libre es de 129.8 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 41.0 dBμV/m. La distancia del enlace es de 89.19 km. En la Figura 5.35 se presentan los detalles del enlace.

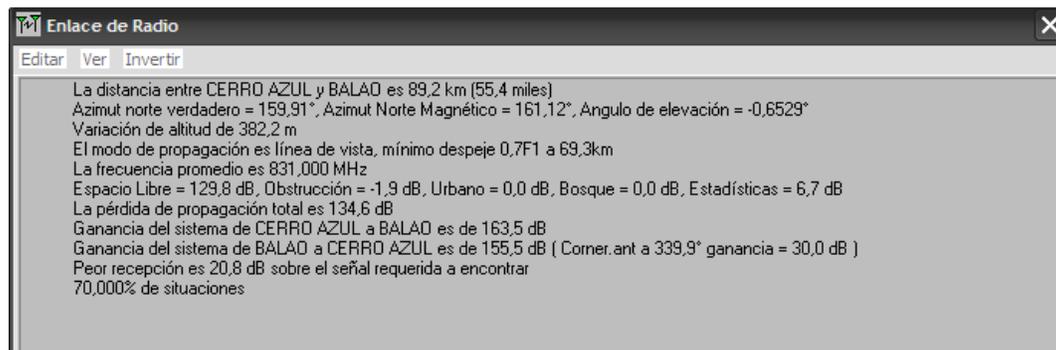


Figura 5.35

Detalles del Enlace Balao.

Fuente: Autor.

5.20 Enlace Naranjal.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Naranjal, con coordenadas 2°40'46.29"S, 79°37'33.72"O correspondientes a la Escuela Fiscal Abdón Calderón . En la figura 5.36 se puede apreciar la simulación del enlace Naranjal.

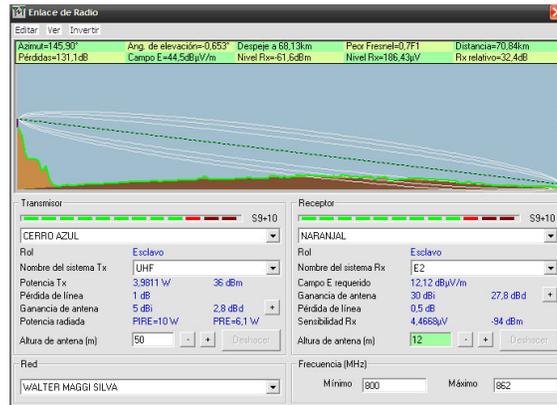


Figura 5. 36

Simulación del Enlace Naranjal.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 12 m, la pérdida de espacio libre es de 127.8 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 44.5 dBμV/m. La distancia del enlace es de 70.84 km. En la Figura 5.37 se presentan los detalles del enlace.

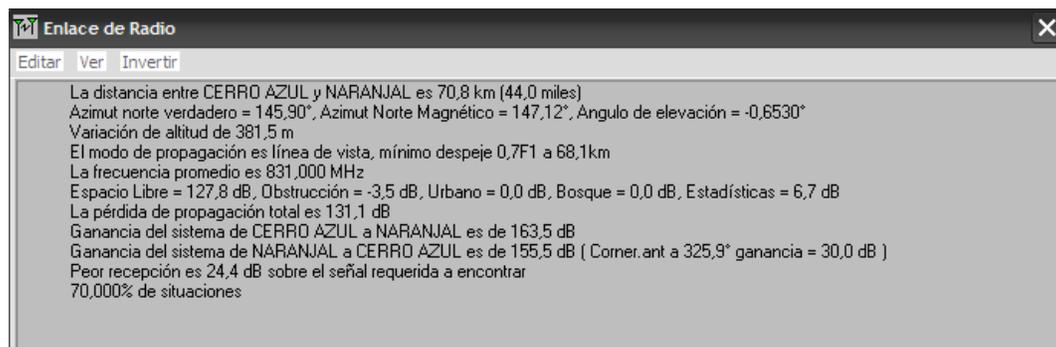


Figura 5. 37

Detalles del Enlace Naranjal.

Fuente: Autor.

5.21 Enlace General Antonio Elizalde (Bucay).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Bucay, con coordenadas 2°12'16.03"S, 79° 8'5.86"O correspondientes al Colegio Fiscal Antonio Elizalde. En la figura 5.38 se puede apreciar la simulación del enlace Bucay.

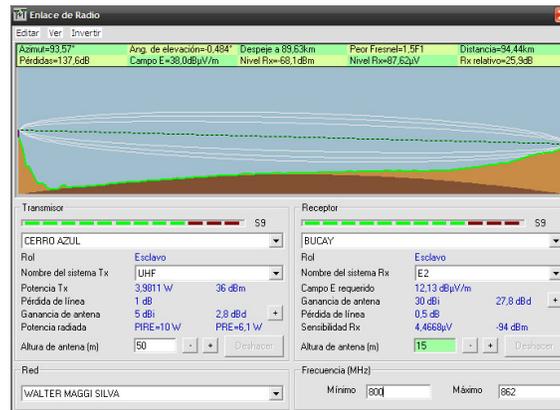


Figura 5. 38

Simulación del Enlace Bucay.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 130.3 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 38.0 dBμV/m. La distancia del enlace es de 94.44 km. En la Figura 5.39 se presentan los detalles del enlace.

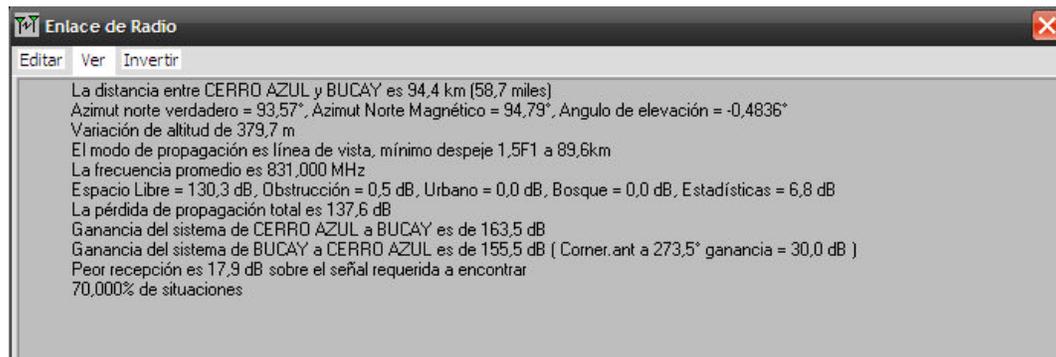


Figura 5. 39

Detalles del Enlace Bucay.

Fuente: Autor.

5.22 Enlace El Triunfo.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón El Triunfo, con coordenadas 2°19'52.42"S, 79°24'13.73"O correspondientes la Escuela Fiscal Juan Montalvo. En la figura 5.40 se puede apreciar la simulación del enlace El Triunfo.

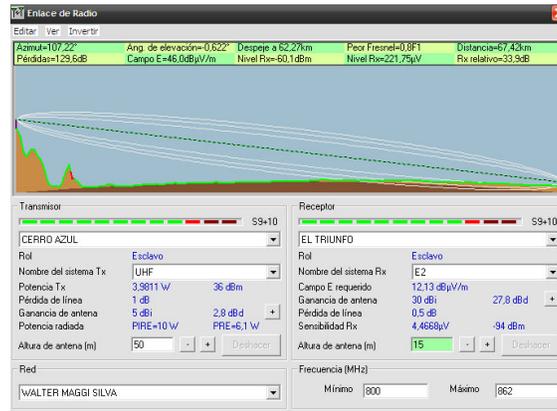


Figura 5. 40

Simulación del Enlace El Triunfo.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 127.4 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 46.0 dBμV/m. La distancia del enlace es de 67.42 km. En la Figura 5.41 se presentan los detalles del enlace.

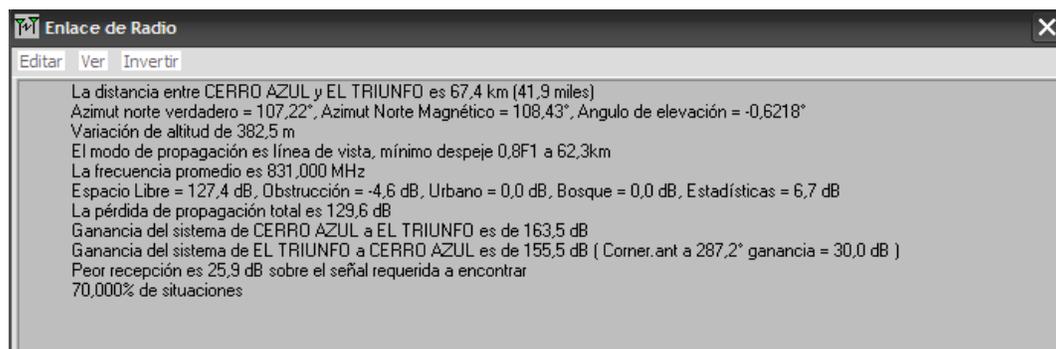


Figura 5. 41

Detalles del Enlace El Triunfo.

Fuente: Autor.

5.23 Enlace Naranjito.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Naranjito, con coordenadas 2°10'12.48"S, 79°27'55.80"O correspondientes al Colegio Fiscal Naranjito . En la figura 5.42 se puede apreciar la simulación del enlace Naranjito.

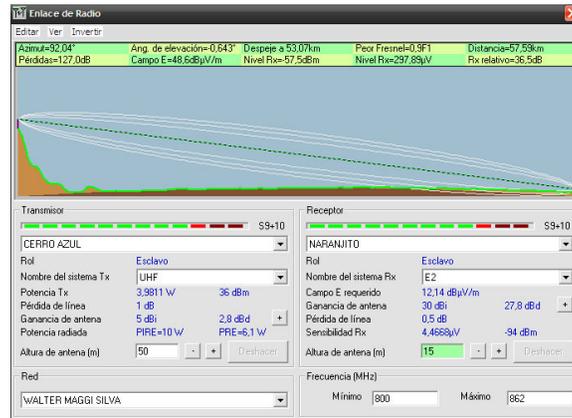


Figura 5. 42

Simulación del Enlace Naranjito.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 126.0 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 48.6 dBμV/m. La distancia del enlace es de 57.59 km. En la Figura 5.43 se presentan los detalles del enlace.

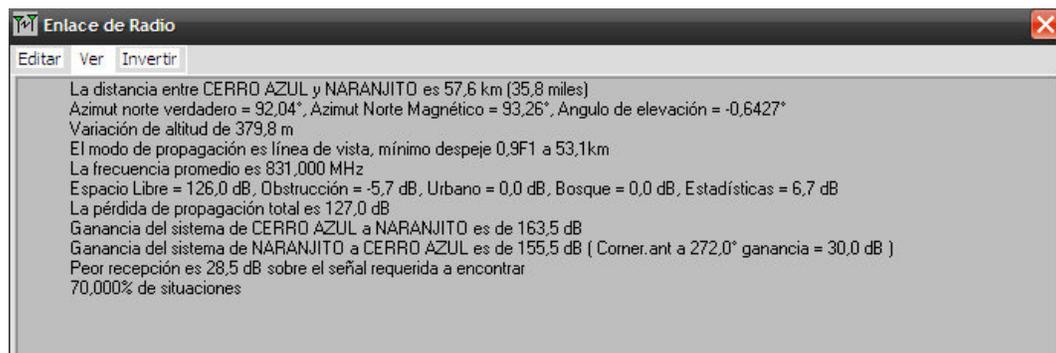


Figura 5. 43

Detalles del Enlace Naranjito.

Fuente: Autor.

5.24 Enlace Milagro.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Milagro, con coordenadas 2° 7'25.57"S, 79°35'39.06"O correspondientes a la Escuela Fiscal Simón Bolívar. En la figura 5.44 se puede apreciar la simulación del enlace Milagro.

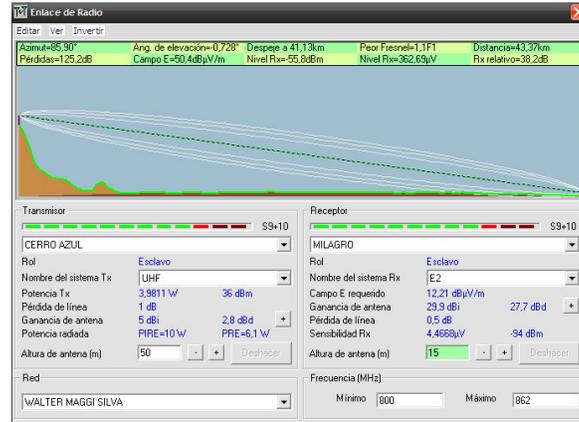


Figura 5. 44

Simulación del Enlace Milagro.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 123.5 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 50.4 dBμV/m. La distancia del enlace es de 43.37 km. En la Figura 5.45 se presentan los detalles del enlace.

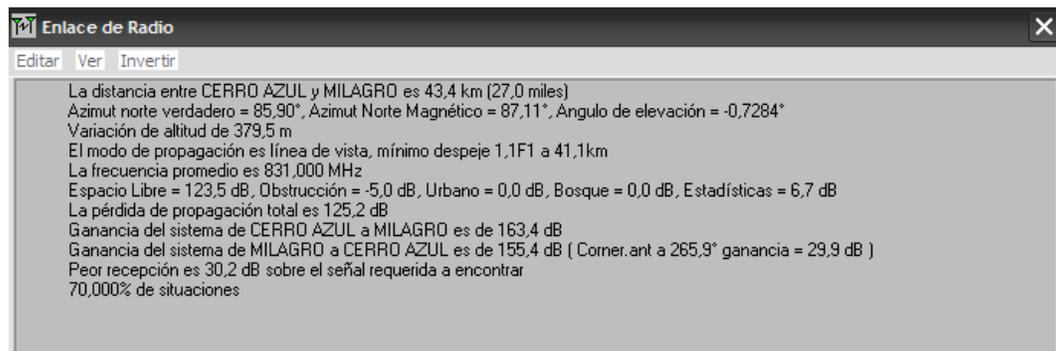


Figura 5. 45

Detalles del Enlace Milagro.

Fuente: Autor.

5.25 Enlace Simón Bolívar.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Simón Bolívar, con coordenadas 2°0'4.60"S, 79°29'0.49"O correspondientes al Colegio Fisco-Misional Arsenio López. En la figura 5.46 se puede apreciar la simulación del enlace Simón Bolívar.

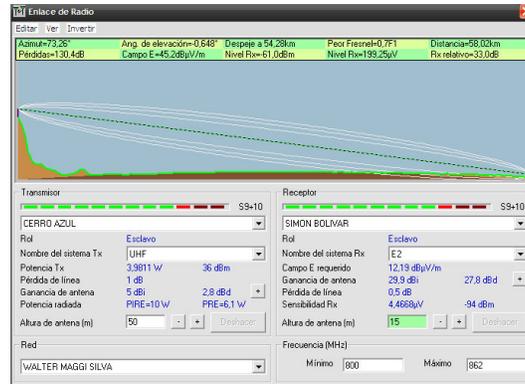


Figura 5. 46

Simulación del Enlace Simón Bolívar.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 126.1 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 45.2 dBµV/m. La distancia del enlace es de 58.02 km. En la Figura 5.47 se presentan los detalles del enlace.

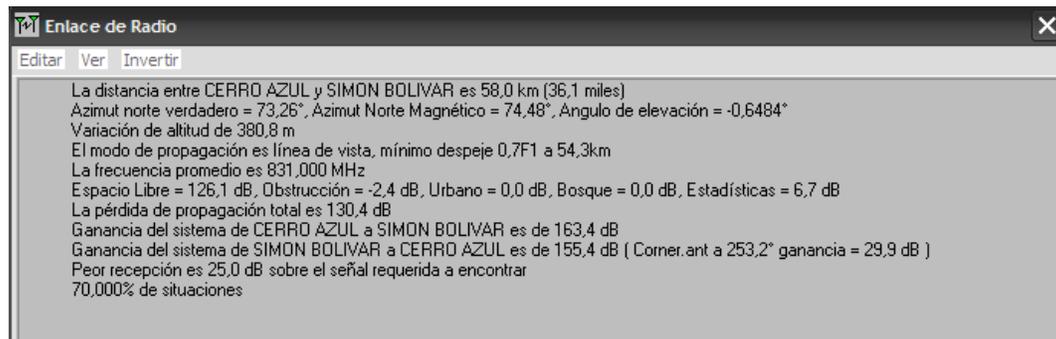


Figura 5. 47

Detalles del Enlace Simón Bolívar.

Fuente: Autor.

5.26 Enlace Urbina Jado (Salitre).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Salitre, con coordenadas 1°49'48.22"S, 79°48'46.21"O correspondientes a la Escuela Fiscal Coronel Brito. En la figura 5.48 se puede apreciar la simulación del enlace Salitre.

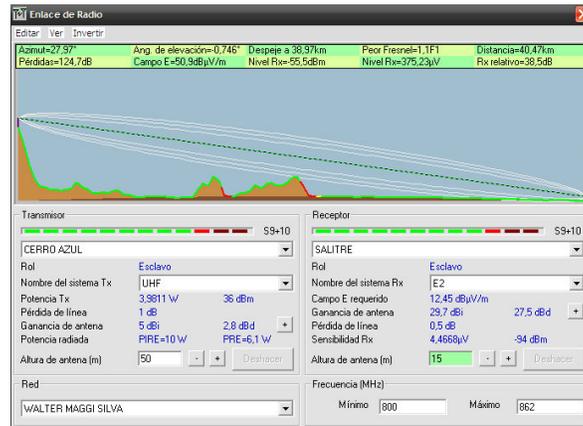


Figura 5. 48

Simulación del Enlace Salitre.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 122.9 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 50.9 dBμV/m. La distancia del enlace es de 40.47 km. En la Figura 5.49 se presentan los detalles del enlace.

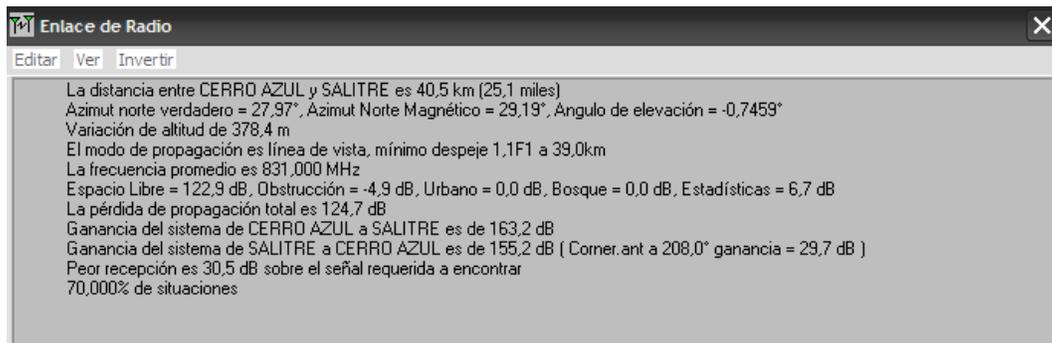


Figura 5. 49

Detalles del Enlace Salitre.

Fuente: Autor.

5.27 Enlace Daule.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Daule, con coordenadas 1°52'21.83"S, 79°59'6.58"O correspondientes a la Escuela Fiscal Hugo Serrano. En la figura 5.50 se puede apreciar la simulación del enlace Daule.

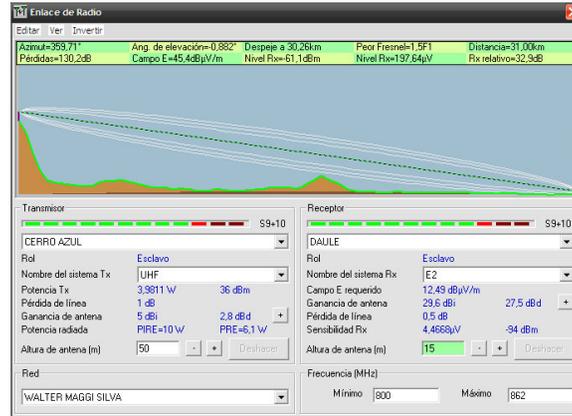


Figura 5. 50

Simulación del Enlace Daule.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 120.6 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 45.4 dBµV/m. La distancia del enlace es de 31 km. En la Figura 5.51 se presentan los detalles del enlace.

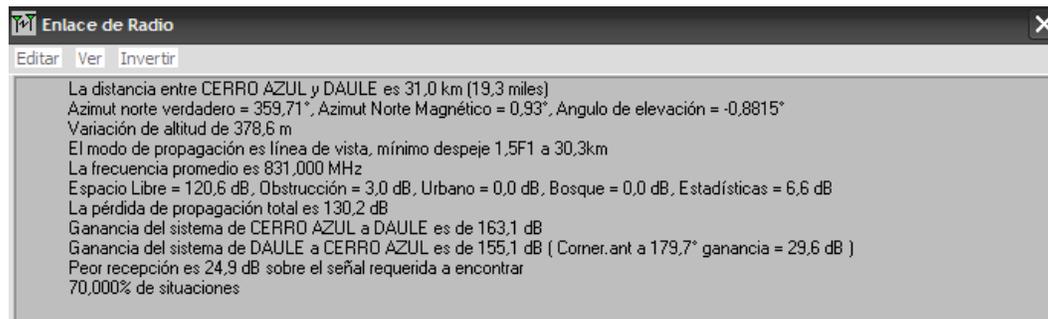


Figura 5. 51

Detalles del Enlace Daule.

Fuente: Autor.

5.28 Enlace Vicente Piedrahita (Nobol).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Nobol, con coordenadas $1^{\circ}54'53.66''S$, $80^{\circ} 0'36.49''O$ correspondientes a la Escuela Fiscal Beata Narcisa de Jesús. En la figura 5.52 se puede apreciar la simulación del enlace Nobol.

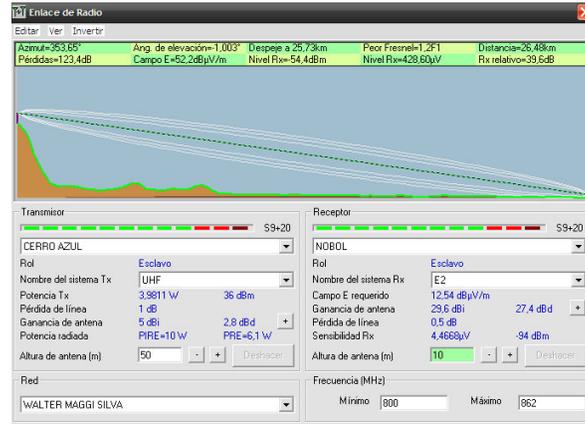


Figura 5. 52

Simulación del Enlace Nobol.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 10 m, la pérdida de espacio libre es de 119.3 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de $52.2 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. La distancia del enlace es de 26.48 km. En la Figura 5.53 se presentan los detalles del enlace.

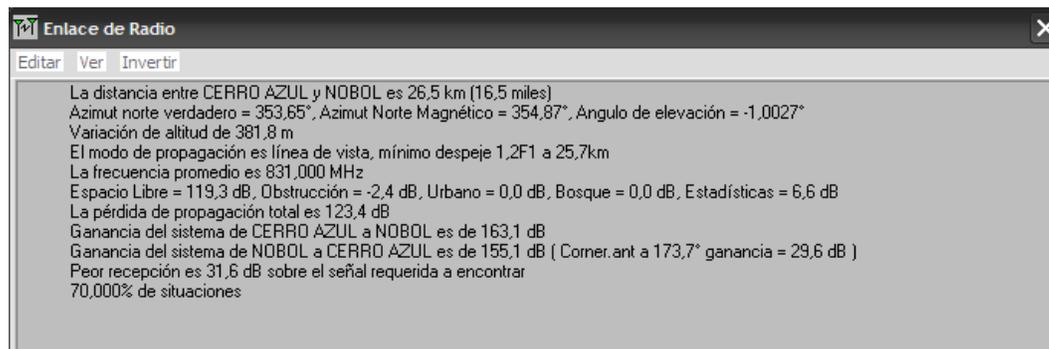


Figura 5. 53

Detalles del Enlace Nobol.

Fuente: Autor.

5.29 Enlace Lomas de Sargentillo.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Lomas de Sargentillo, con coordenadas 1°52'48.41"S, 80°5'4.62"O correspondientes a la Escuela Fiscal 5 de Septiembre. En la figura 5.54 se puede apreciar la simulación del enlace Lomas de Sargentillo.

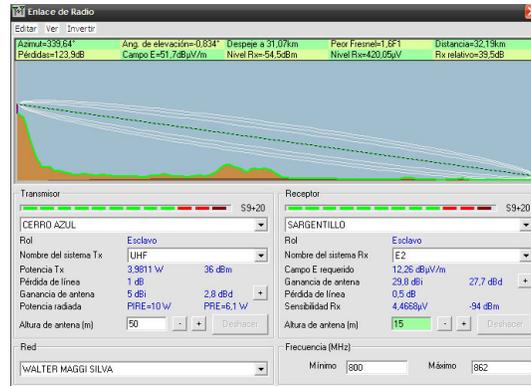


Figura 5.54

Simulación del Enlace Lomas de Sargentillo.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 120.9 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 51.7 dBμV/m. La distancia del enlace es de 32.19 km. En la Figura 5.55 se presentan los detalles del enlace.

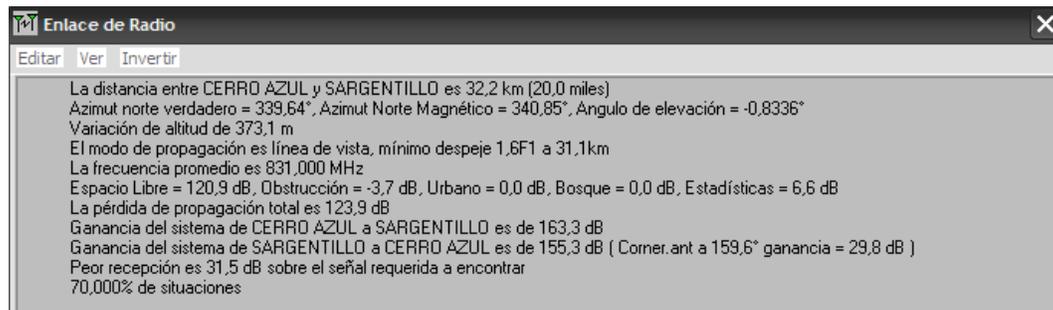


Figura 5.55

Detalles del Enlace Lomas de Sargentillo.

Fuente: Autor.

5.30 Enlace Isidro Ayora.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Isidro Ayora, con coordenadas 1°52'40.47"S, 80° 8'9.57"O correspondientes al Colegio Fiscal Isidro Ayora. En la figura 5.56 se puede apreciar la simulación del enlace Isidro Ayora.

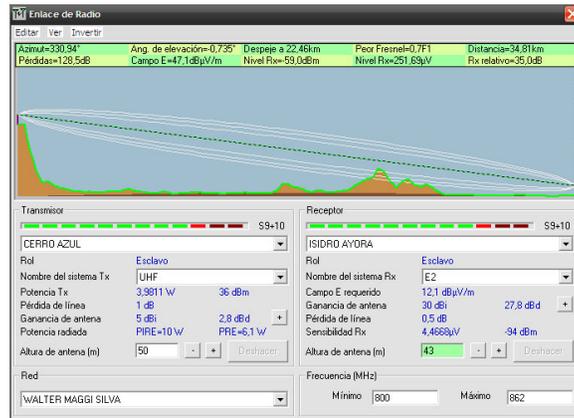


Figura 5. 56

Simulación del Enlace Isidro Ayora.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 43 m, la pérdida de espacio libre es de 121.6 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 47.1 dBμV/m. La distancia del enlace es de 34.81 km. En la Figura 5.57 se presentan los detalles del enlace.

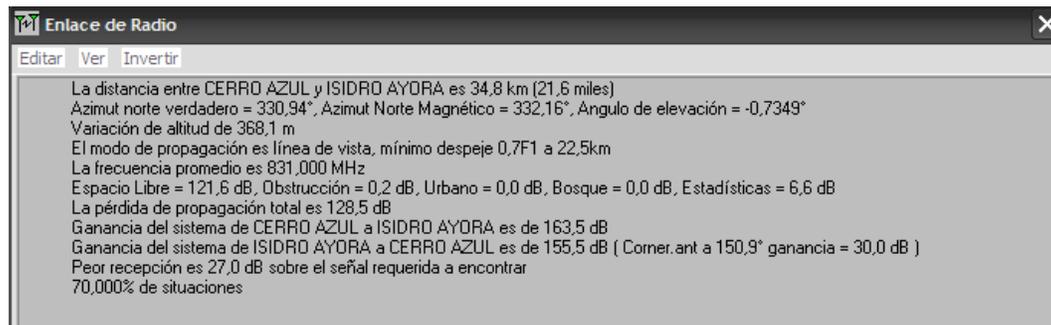


Figura 5. 57

Detalles del Enlace Isidro Ayora.

Fuente: Autor.

5.31 Enlace Pedro Carbo.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Pedro Carbo, con coordenadas $1^{\circ}44'23.75''S$, $80^{\circ}11'50.63''O$ correspondientes a la Escuela Fiscal José Luis Tamayo. En la figura 5.58 se puede apreciar la simulación del enlace Pedro Carbo.

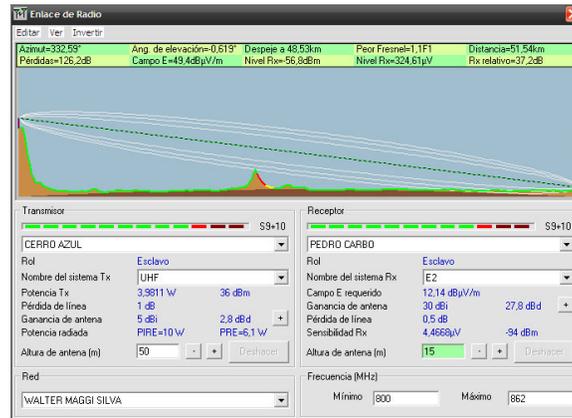


Figura 5. 58

Simulación del Enlace Pedro Carbo.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 125.0 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 49.4 dBμV/m. La distancia del enlace es de 51.54 km. En la Figura 5.59 se presentan los detalles del enlace.

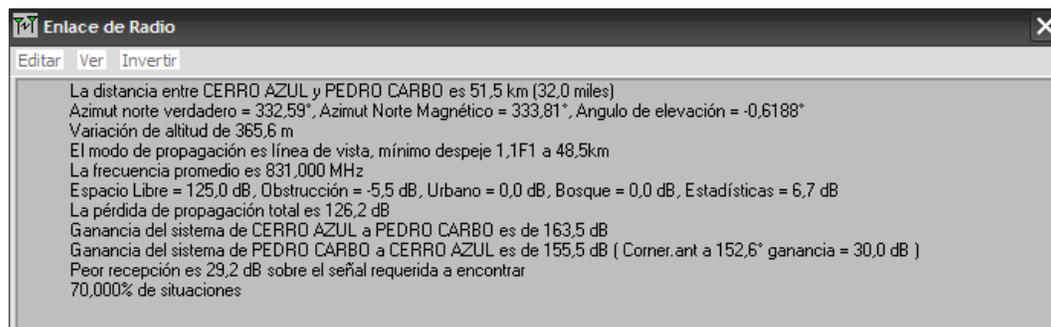


Figura 5. 59

Detalles del Enlace Pedro Carbo.

Fuente: Autor.

5.32 Enlace Palestina.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Palestina, con coordenadas $1^{\circ}37'46.51''S$, $79^{\circ}58'52.10''O$ correspondientes a la Escuela Fiscal Rosa Borja de Icaza. En la figura 5.60 se puede apreciar la simulación del enlace Palestina.

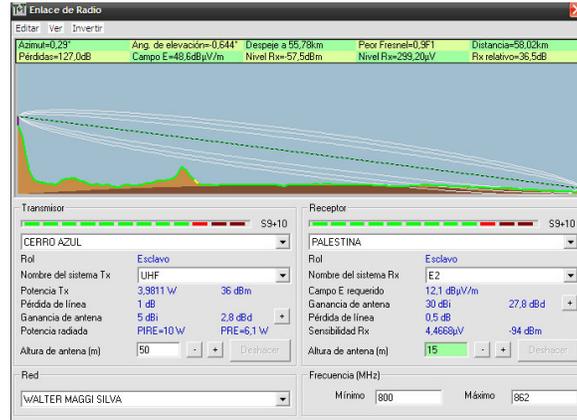


Figura 5. 60

Simulación del Enlace Palestina.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 126.1 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 48.6 dBμV/m. La distancia del enlace es de 58.02 km. En la Figura 5.61 se presentan los detalles del enlace.

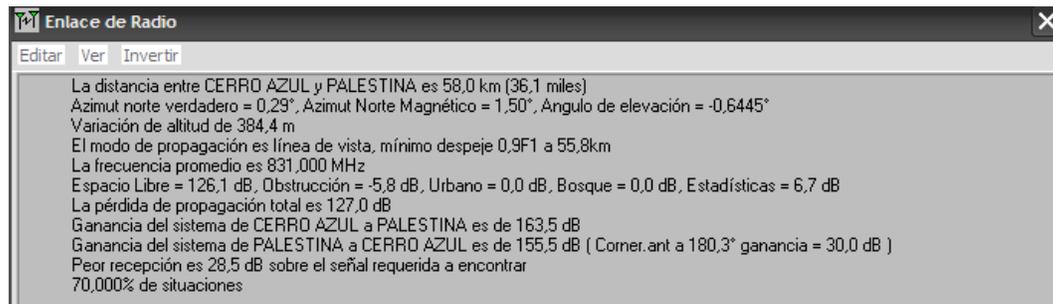


Figura 5. 61

Detalles del Enlace Palestina.

Fuente: Autor.

5.33 Enlace Santa Lucía.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Santa Lucía, con coordenadas 1°42'54.02"S, 79°58'52.86"O correspondientes a la Escuela Fiscal Eloy Velásquez Cevallos. En la figura 5.62 se puede apreciar la simulación del enlace Santa Lucía.

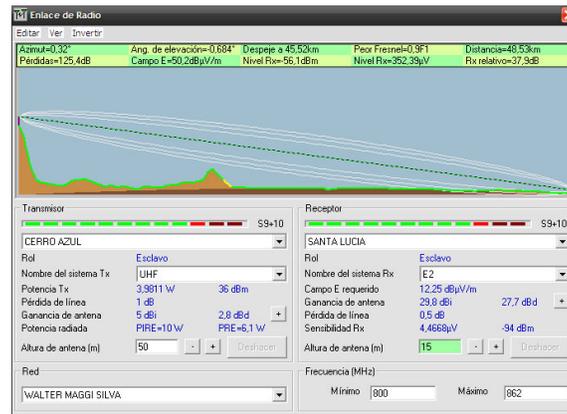


Figura 5. 62

Simulación del Enlace Santa Lucía.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 15 m, la pérdida de espacio libre es de 124.5 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 50.2 dBµV/m. La distancia del enlace es de 48.53 km. En la Figura 5.63 se presentan los detalles del enlace.

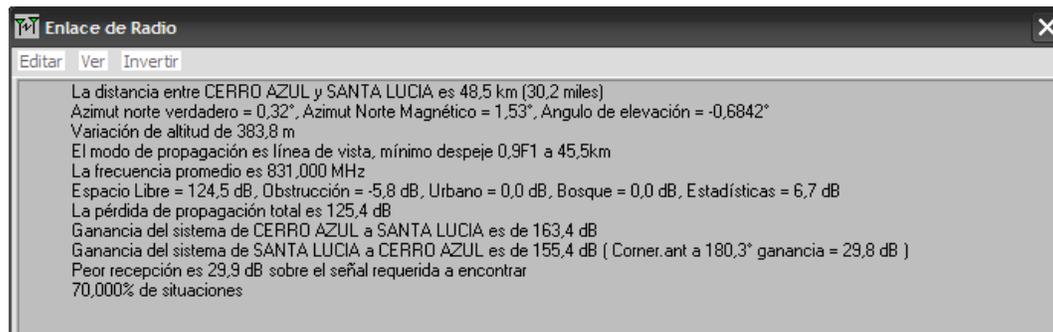


Figura 5. 63

Detalles del Enlace Santa Lucía.

Fuente: Autor.

5.34 Enlace Balzar.

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón Balzar, con coordenadas $1^{\circ}22'20.39''S$, $79^{\circ}54'20.21''O$ correspondientes a la Escuela Fiscal 19 de Mayo. En la figura 5.64 se puede apreciar la simulación del enlace Balzar.

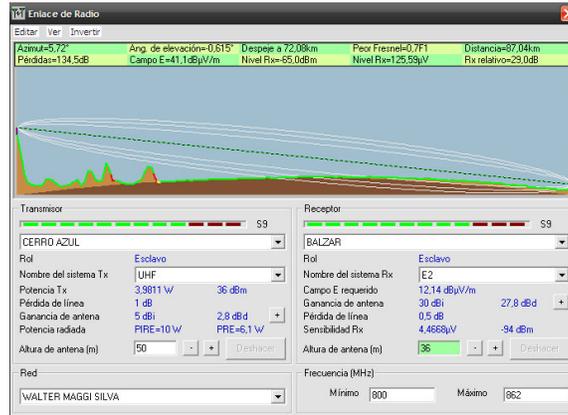


Figura 5. 64

Simulación del Enlace Balzar.

Fuente: Autor.

El enlace es técnicamente factible con una altura base – antena de la estructura del CPE de 36 m, la pérdida de espacio libre es de 129.6 dB y una intensidad de señal recibida en el CPE de 41.1 dBμV/m. La distancia del enlace es de 87.04 km. En la Figura 5.65 se presentan los detalles del enlace.

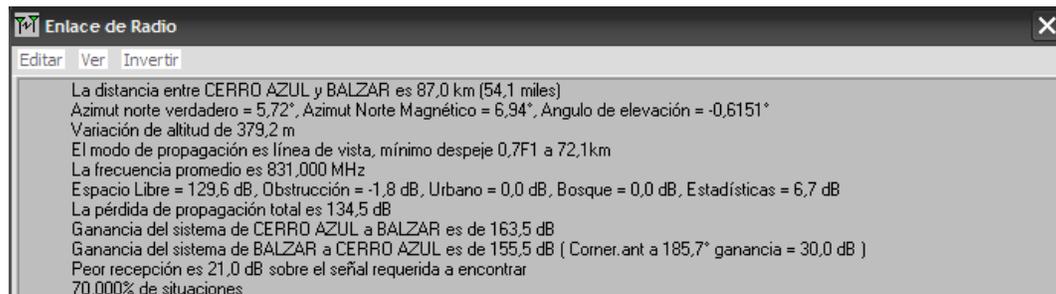


Figura 5. 65

Detalles del Enlace Balzar.

Fuente: Autor.

5.35 Enlace Velasco Ibarra (El Empalme).

En este enlace el CPE se encuentra ubicado en el cantón El Empalme, con coordenadas $1^{\circ}2'42.94''\text{S}$, $79^{\circ}38'2.46''\text{O}$ correspondientes al Colegio Fiscal 9 de Octubre. En la figura 5.66 se puede apreciar la simulación del enlace El Empalme.



Figura 5. 66

Simulación del Enlace El Empalme.

Fuente: Autor.

El enlace directo entre Cerro Azul y Velasco Ibarra (El Empalme) no es técnicamente factible ya que la obstrucción casi total de la primera zona de Fresnel impide el establecimiento del enlace, el mismo que tiene una longitud de 128.95 km, por este motivo se hace necesaria la instalación de un equipo de repetición para prolongar la cobertura.

El Repetidor se ubicará en el cantón Palenque, Provincia de Los Ríos, en la parroquia el Achiote con coordenadas $01^{\circ}13'39,00''\text{S}$ de latitud y $79^{\circ}44'7.00''\text{O}$ de longitud. El repetidor estará enlazado con el Nodo del cantón Balzar y con el Nodo El Empalme.

En la figura 5.67 se detalla la simulación del enlace Balzar – Repetidor.

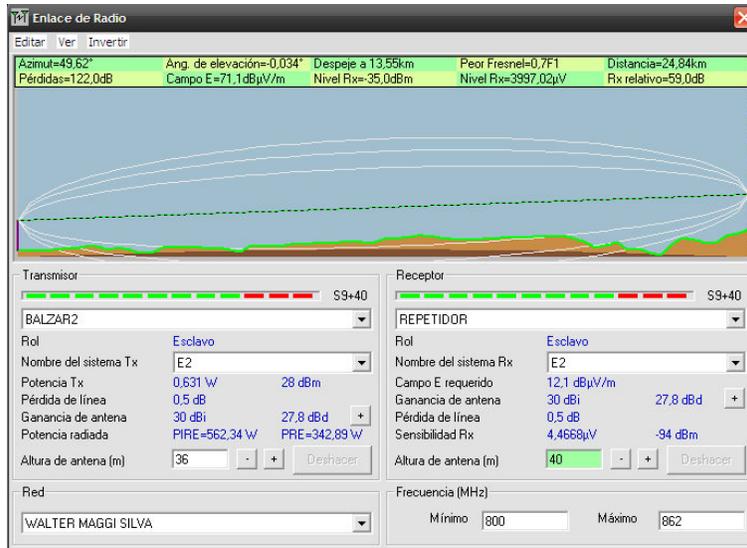


Figura 5. 67

Simulación del Enlace Balzar – Repetidor.

Fuente: Autor.

En la figura 5.68 se puede apreciar la simulación del enlace Repetidor – El Empalme.

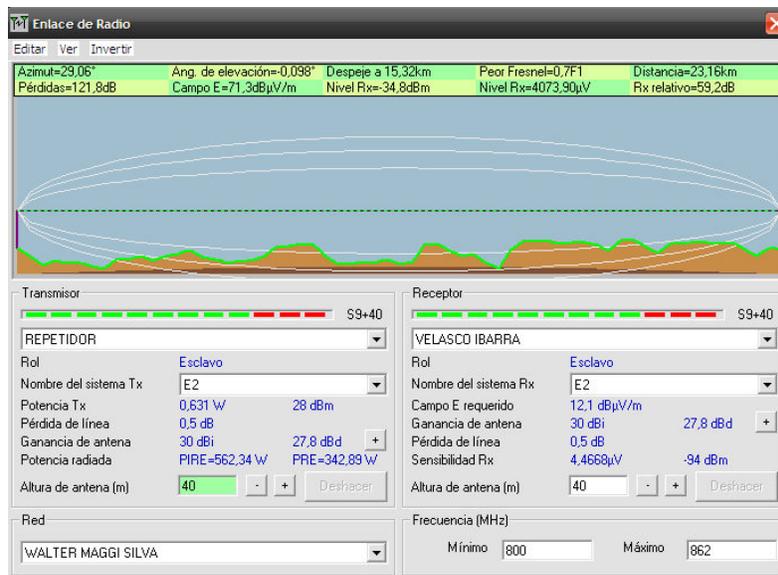


Figura 5. 68

Simulación del Enlace Repetidor – El Empalme.

Fuente: Autor.

Finalmente la ruta entre la estación base y el nodo Velasco Ibarra (El Empalme) quedaría según lo mostrado en la figura 5.69.

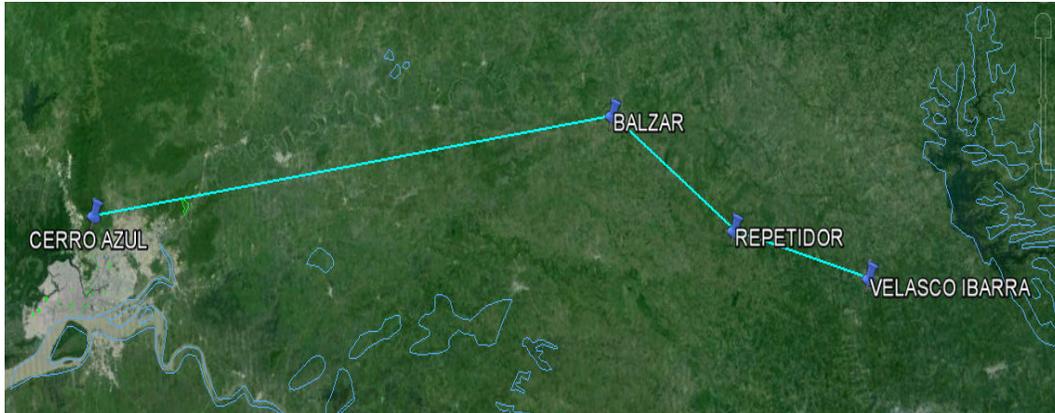


Figura 5. 69

Ruta Cerro Azul – El Empalme.

Fuente: Autor.

Con la ubicación de la estación base en la ciudad de Guayaquil, en la localidad de Cerro Azul con coordenadas $2^{\circ} 9'6.23''S$ de latitud y $79^{\circ}59'1.57''O$ de longitud y con la arquitectura del sistema indicada previamente, la cobertura de la red diseñada abarcaría a toda la provincia del Guayas.

5.36 Perfil de Servicios.

El sistema es capaz de brindar un perfil integral de servicios de comunicación a través de su red, los mismos que comprenden:

- Comunicaciones Unificadas
 - Telefonía IP
 - Mensajería unificada
 - Vídeo conferencia
 - Vídeo Seguridad
- Tránsito al *Backbone* o conexión troncal de acceso a internet.
- Acceso a Correo Electrónico.

- Búsqueda y transferencia de archivos.
- Acceso a la Red Informática Mundial o *World Wide Web*.
- Acceso a la Red Académica Avanzada del Ecuador (Red CEDIA) que incluye a las principales universidades, escuelas politécnicas, organizaciones de ciencia y tecnología del país.

La ciudadanía podrá acceder a los servicios a través de Escuelas y Colegios Fiscales estratégicamente ubicados, los mismos podrán dar acceso público a la comunidad del cantón y a su vez se podrá proporcionar capacitación a través de los Programas que el Estado se encuentra implementando en todo el territorio nacional en colaboración con el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información y el Ministerio de Educación.

El proyecto podría implementarse por cualquiera de las empresas portadoras de servicios de telecomunicaciones legalmente autorizadas a operar en el país, sin embargo, debido al enfoque de índole social que se ha dado al mismo, la red debería ser implementada por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, la misma que al ser una Empresa Pública tiene como objetivo fundamental contribuir en forma sostenida al desarrollo humano y buen vivir de la población ecuatoriana¹⁵, lo cual implica que no tiene fines de lucro.

5.37 Inversión requerida y costos de capital.

En la Tabla 5.7 se presentan los costos estimados de los equipos requeridos, en vista que aún no se han distribuido comercialmente equipos que soporten el estándar IEEE 802.22, se ha procedido a realizar una estimación equiparando los precios de la Estación Base y CPE con los de las estaciones *Wimax* (IEEE 802.16) con la finalidad de proporcionar una idea aproximada del costo tentativo de implementar el proyecto.

¹⁵ (Asamblea Nacional del Ecuador, 2009)

Tabla 5. 7

Equipos de telecomunicaciones de estación base.

Equipo	Precio (USD)
Estación Base	120000
Antena PCTEL modelo MFB8135	250
Conmutador Cisco <i>Switch Catalyst</i> modelo 3560 de 48 puertos	2600
Ruteador Cisco modelo 3845	5800
Servidor HP ProLiant DL320e Gen8	1200
Cables, conectores y accesorios	300
Total	130150

Fuente: Autor.

El costo de la infraestructura requerida para la instalación física de los equipos, así como protección eléctrica y generadores de electricidad de respaldo se presentan en la Tabla 5.8.

Tabla 5. 8

Infraestructura y sistema de energía de la estación base.

Ítem	Precio (USD)
Torre Autosoportada	40000
Generador Eléctrico	2000
UPS Tripp <i>Lite SmartOnLine</i> SU2200XL	1100
Total	43100

Fuente: Autor.

En la Tabla 5.9 se presenta el total del costo estimado de implementación de la estación base.

Tabla 5. 9

Costo total estación base.

Ítem	Precio (USD)
Equipos de Telecomunicaciones	130150
Infraestructura y Sistema de Energía	43100
Total	173250

Fuente: Autor.

En la Tabla 5.10 se presenta el costo estimado promedio de los equipos de telecomunicaciones a instalar en el extremo suscriptor del sistema, los cuales son un Conmutador de 24 Puertos, un ruteador, una antena, el equipo CPE, los cables y conectores requeridos.

En la Tabla 5.10 se presentan los valores unitarios de cada uno de estos equipos, el total parcial de un solo suscriptor y finalmente el valor acumulado correspondiente a los 25 suscriptores.

Tabla 5. 10

Equipos de telecomunicaciones de suscriptor.

Ítem	Precio (USD)
Conmutador Cisco <i>Catalyst Express</i> 500 24 puertos	600
Ruteador Cisco 800	1000
Antena CableTech ANT0559	35
CPE	100
Cables y conectores	200
Total Parcial (1 suscriptor)	1935
Total (25 suscriptores)	48375

Fuente: Autor.

En la Tabla 5.11 se presenta el costo estimado de montaje de la infraestructura y sistema de energía del suscriptor, para este cálculo se sacó un valor promedio del costo del mástil entre las 25 estaciones suscriptoras del sistema.

Tabla 5. 11

Infraestructura y sistema de energía del suscriptor.

Ítem	Precio (USD)
Mástil (promedio)	3800
Banco de baterías	300
Total Parcial (1 suscriptor)	4100
Total (25 suscriptores)	102500

Fuente: Autor.

En la Tabla 5.12 se presenta el total del costo estimado de implementación de las estaciones suscriptoras.

Tabla 5. 12

Costo total suscriptores.

Ítem	Precio (USD)
Equipos de Telecomunicaciones	48375
Infraestructura y Sistema de Energía	102500
Total	150875

Fuente: Autor.

En la Tabla 5.13 se presenta el costo total estimado de implementación del sistema propuesto.

Tabla 5. 13

Costo total estimado.

Ítem	Precio (USD)
Costo total estación base	173250
Costo total suscriptores	150875
Total	324125

Fuente: Autor.

El costo estimado de implementación del proyecto sería de USD 324125, en vista que, de acuerdo con lo mencionado anteriormente, se propone que este proyecto sea implementado por una Empresa Pública, cuyo fin es contribuir en forma sostenida al desarrollo humano y buen vivir de la población ecuatoriana y no persigue fines de lucro, la viabilidad del proyecto estaría estrictamente orientada al impacto de índole social que proporcionará, el mismo que estaría alineado con el Plan Nacional del Buen Vivir de acuerdo con el objetivo 4.4 literal j que dicta lo siguiente:

“Crear y fortalecer infraestructura, equipamiento y tecnologías que, junto al talento humano capacitado, promuevan el desarrollo de las capacidades creativas, cognitivas y de innovación a lo largo de la educación, en todos los niveles, con criterios de inclusión y pertinencia cultural.” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), 2013)

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye:

2. Del análisis comparativo de las principales tecnologías de redes de datos inalámbricas, efectuado en el capítulo 2 del presente trabajo, se concluye que una tecnología basada en el estándar IEEE 802.22 proporcionaría mejores características con respecto a otros estándares de redes de datos inalámbricas existentes, esto debido a que el diseño de la red del presente trabajo se enfoca en brindar acceso a sectores vulnerables del país tales como, escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas. El estándar IEEE 802.16 ó Wimax ha sido diseñado para operar en bandas de frecuencias que requieren de la obtención de una licencia de uso de espectro que eleva el costo de implementación y adicionalmente no presentan las mismas características de propagación que las frecuencias de operación de IEEE 802.22 que hace uso de la radio cognitiva y opera en las bandas VHF y UHF que proporcionan mayor cobertura. De igual manera las tecnologías basadas en el estándar IEEE 802.11 han sido diseñadas para proporcionar acceso a una red de datos de área local, con un radio promedio de cobertura inferior a los 10 km, esto hace que IEEE 802.22 tenga ventajas sobre tecnologías basadas en IEEE 802.11 e IEEE 802.16 para proporcionar acceso a zonas alejadas de los sectores urbanos de la Provincia del Guayas.
3. La tecnología basada en el estándar IEEE 802.22 proporciona múltiples ventajas entre las que destacan:
 - El uso de radio cognitiva como mecanismo de selección del canal apropiado para operar y características de capa cognitiva superiores a las de IEEE 802.11af.
 - Cobertura teórica de hasta 100 km, ideal para proporcionar acceso en zonas remotas como áreas rurales.
 - Tasa de transferencia de datos de hasta 22 Mbps, suficiente para brindar un servicio integral de comunicación.
4. La red WRAN diseñada cumple con el tercer objetivo propuesto, ya que, proporciona teóricamente cobertura en toda la provincia del Guayas con la

instalación de una radio base en la localidad de Cerro Azul, ciudad de Guayaquil, y un repetidor en el cantón Palenque, Provincia de Los Ríos. De esta manera la red es capaz de dotar, a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas, de capacidad de acceso a un servicio integral de comunicación que incluye los siguientes servicios:

- Comunicaciones Unificadas
 - Telefonía IP
 - Mensajería unificada
 - Vídeo conferencia
 - Tránsito al *Backbone* o conexión troncal de acceso a internet.
 - Acceso a Correo Electrónico.
 - Búsqueda y transferencia de archivos.
 - Acceso a la Red Informática Mundial o *World Wide Web*.
5. En base a los puntos anteriormente expuestos, se puede afirmar que se ha dado cumplimiento tanto al objetivo general como a los objetivos específicos planteados. La cobertura de la red abarca a toda la Provincia del Guayas proporcionando de esta manera capacidad de acceso a escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas. El diseño de esta red busca mejorar la calidad de vida de los habitantes de los sectores antes mencionados contribuyendo con el objetivo del Plan Nacional del Buen Vivir mencionado a continuación:
- “Crear y fortalecer infraestructura, equipamiento y tecnologías que, junto al talento humano capacitado, promuevan el desarrollo de las capacidades creativas, cognitivas y de innovación a lo largo de la educación, en todos los niveles, con criterios de inclusión y pertinencia cultural.” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), 2013)

Recomendaciones

1. La tecnología IEEE 802.22 aún se encuentra en etapa de pruebas por lo que el análisis planteado se fundamenta exclusivamente en las características técnicas que teóricamente tendrían los equipos que hagan uso de esta tecnología de acuerdo con el estándar IEEE 802.22 publicado en julio del 2011¹⁶, por ello se recomienda considerar que la implementación del Sistema podría verse afectado por las características técnicas de los equipos que se distribuyan cuando el estándar pase a la etapa de comercialización.
2. Para cubrir totalmente la Provincia del Guayas se recomienda la instalación de un sistema Punto – multipunto que haga uso de la tecnología IEEE 802.11 en los establecimientos educativos a los que da acceso la red WRAN, con la finalidad de interconectar a la cabecera cantonal con las parroquias rurales de cada cantón de la Provincia del Guayas.
3. El proyecto puede incluirse como parte del Programa de Infocentros que el Estado ecuatoriano ha ejecutado en el territorio nacional, a través del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, el mismo que cuenta con el financiamiento de fondos públicos y va alineado con la política de incremento del acceso universal a las tecnologías de la información y comunicación en el país.

¹⁶ (IEEE Standards Association, 2011)

Bibliografía:

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2013). *Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo*. Recuperado el 15 de 07 de 2013, de <http://www.aecid.ec>
- Asamblea Constituyente. (2008). En *Constitución de la República del Ecuador*.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2009). *Ley Orgánica de Empresas Públicas* . Ecuador.
- Bahai, A., Saltzberg, B., & Ergen, M. (1999). *Multicarrier Digital Communications Theory and Applications of OFDM*. Editorial Springer. México
- Bahl, P., Chandra, R., Moscibroda, T., Murty, R., & Welsh, M. (2011). White Space Networking with Wi - Fi like Connectivity. *Harvard - School of Engineering and Applied Science* .
- Bit-Tech. (2014). <http://www.bit-tech.net>. Recuperado el 01 de 07 de 2014, de <http://www.bit-tech.net/news/hardware/2014/06/02/huawei-10gbps-wifi/1>
- Cabletech. (2014). www.cabletech.pl. Recuperado el 07 de 06 de 2014, de <http://www.cabletech.pl/pl/10843-antena-zewnetrzna-dookolna-do-cyfrowej-telewizji-naziemnej-dvb-t-cabletech-model-ant0559>
- Cisco Systems, Inc. (2006). *Fundamentos de Redes Inalámbricas*. Editorial Pearson Education, Cisco Press. España. Primera Edición.
- Cisco Systems, Inc. (2014). *Cisco Systems, Inc*. Recuperado el 07 de 06 de 2014, de http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps628/ps627/prod_view_selector.html
- Congreso de la República del Ecuador. (1995). *Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada*.
- Cordeiro, C., Challapali, K., & Birru, D. (2006). IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless . *Journal of Communications - Volumen 1* .
- Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2005). *Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha*.
- Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2000). *Reglamento de Radiocomunicaciones de la República del Ecuador*.

Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2002). *Reglamento para el otorgamiento de títulos habilitantes para la operación de redes privadas de la República del Ecuador*

Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2002). *Reglamento para la Prestación de Servicios de Valor Agregado de la República del Ecuador*.

Churchill, S. (13 de 10 de 2012). *Daily Wireless*. Recuperado el 07 de 15 de 2013, de <http://www.dailywireless.org/2012/11/13/weightless-m2m-standard-version-0-9/>

CNN México. (31 de 01 de 2013). *Peralta Leonard*. Recuperado el 15 de 07 de 2013, de <http://mexico.cnn.com/tecnologia/2013/01/31/el-desarrollo-de-la-tecnologia-super-Wi-Fi-podria-llevar-internet-a-todos>

Daily Wireless. (13 de 10 de 2012). *Sam Churchill*. Recuperado el 15 de 07 de 2013, de <http://www.dailywireless.org/2012/11/13/weightless-m2m-standard-version-0-9/>

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). (2008). *Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología Wimax para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de Manta*. Guayaquil.

Hewlett-Packard . (2014). *Hewlett-Packard* . Recuperado el 08 de 06 de 2014, de www.hp.com

Hitachi-Kokusai Electric, Inc. (2014). *Hitachi-Kokusai Electric, Inc*. Recuperado el 08 de 06 de 2014, de <http://www.hitachi-kokusai.co.jp/global/news/news130130.html>

IEEE Standards Association. (2011). *Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*.

IEEE Standards Association. (2014). *IEEE Standards Association*. Recuperado el 04 de 05 de 2014, de <http://www.ieee802.org/11/>

IEEE Standards Association. (2014). *IEEE Standards Association*. Recuperado el 04 de 05 de 2014, de http://standards.ieee.org/news/2014/ieee_802_11ac_ballot.html

Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). (2014). *Comité de estándares IEEE 802*. Recuperado el 01 de 07 de 2014, de www.ieee802.org

Lekomtcev, D., & Maršálek, R. (2012). *Comparison of 802.11af and 802.22 standards – physical layer and cognitive functionality*. International Science and Engineering Society.

Mahmoud, Q. (2007). *Cognitive Networks*. John Wiley & Sons Ltd.

Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. (07 de 01 de 2013). *Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información*. Recuperado el 06 de 07 de 2013, de <http://www.telecomunicaciones.gob.ec>

Mitchell, B. (s.f.). *About.com Wireless / Networking*. Recuperado el 04 de 05 de 2014, de <http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard.htm>

National Institute of Information and Communications Technology (NICT). (2014). *National Institute of Information and Communications Technology (NICT)*. Recuperado el 08 de 06 de 2014, de www.nict.go.jp

National Instruments. (08 de 05 de 2013). <http://www.ni.com>. Recuperado el 01 de 07 de 2014, de <http://www.ni.com/white-paper/14285/en/>

Pctel, Inc. (10 de 01 de 2014). *Pctel*. Recuperado el 07 de 06 de 2014, de www.pctel.com

Peralta, L. (31 de 01 de 2013). <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/papers/whitefi-sigcomm09.pdf>. Recuperado el 15 de 07 de 2013, de CNN México: <http://mexico.cnn.com/tecnologia/2013/01/31/el-desarrollo-de-la-tecnologia-super-wifi-podria-llevar-internet-a-todos>

Presidencia de la República del Ecuador. (2001). *Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada*

Roger Coudé. *Radio Mobile para Windows versión 11.0.4* (2011).

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017*.

Secretaría Nacional de Telecomunicaciones. (10 de 09 de 2010). *Conatel - Senatel*. Recuperado el 07 de 15 de 2013, de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/>

Superintendencia de Telecomunicaciones. (06 de 06 de 2010). *Superintendencia de Telecomunicaciones*. Recuperado el 06 de 07 de 2013, de <http://www.supertel.gob.ec>

Shellhammer, S. (2008). Spectrum Sensing in IEEE 802.22. *International Association for Pattern Recognition*.

Tanenbaum, A. (2010). *Redes de Computadoras*. Editorial Prentice Hall. Quinta Edición.

The WiMAX Forum® . (s.f.). *Wimaxforum*. Recuperado el 02 de 07 de 2014, de <http://www.wimaxforum.org/>

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2005). *Recomendación UIT-R BS.1698*.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2009). *Recomendación UIT-R P.526*

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). (2010). *Recomendación ITU-R M.1457-9 Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenas de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000*.

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (2013). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Recuperado el 06 de 07 de 2013, de <http://www2.ucsg.edu.ec/>

Universidad de Oriente. (2013). *Universidad de Oriente*. Recuperado el 06 de 07 de 2013, de <http://www.uo.edu.cu/>

Websense, Inc. (2014). *Websense*. Recuperado el 08 de 06 de 2014, de <http://es.websense.com>

Glosario

CPE	<i>Customer-Premises Equipment</i>	Equipo Local del Cliente
FHSS	<i>Frequency Hope Spread Spectrum</i>	Técnica de modulación en espectro ensanchado en el que la señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatorias, saltando de frecuencia en frecuencia sincrónicamente con el transmisor.
ICM	Investigación, Científica y Médica	Aplicación de equipos o instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos o domésticos.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	Organización Profesional sin fines de lucro de Ingenieros eléctricos, electrónicos y profesiones afines, que desarrollan estándares y recomendaciones técnicas fundamentalmente a nivel de capa física y MAC.
IMT <i>Advanced</i>	<i>International Mobile Telecommunications – Advanced</i>	Son sistemas, componentes de sistemas y aspectos conexos que incluyen las nuevas interfaces radioeléctricas que soportan las nuevas capacidades de los sistemas posteriores a las IMT - 2000
IOS	<i>Internetwork Operating System</i>	Sistema Operativo propietario de equipos marca Cisco
LAN	<i>Local Area Network</i>	Red de datos que cubre un área geográfica entre 200 m y 1 km
OSI	<i>Open System Interconnection</i>	El Modelo de interconexión de sistemas abiertos es un marco de referencia para la interconexión de sistemas de comunicación elaborado por la Organización Internacional para la Estandarización.
PAN	<i>Personal Area Network</i>	Red de datos que cubre un área geográfica entre 1 y 10 m
PIRE	Potencia Isótropa Radiada Equivalente	Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia con relación a un dipolo de media onda en una dirección dada.
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicación	Las Tecnologías de la Información y Comunicación son aquellas que proporcionan los recursos necesarios para poder crear, distribuir y manipular información.

UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones	Es el Organismo especializado en Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>	Banda del espectro radioeléctrico que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz
VHF	<i>Very High Frequency</i>	Banda del espectro radioeléctrico que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz
WAN	<i>Wide Area Network</i>	Red de datos que une varias redes de áreas locales y generalmente da servicio a uno o varios países
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i>	Red de comunicación inalámbrica entre dispositivos de baja potencia utilizados en el cuerpo
WECA	<i>Wireless Ethernet Compatibility Alliance</i>	La Alianza WECA fue una asociación comercial de empresas que buscaba fomentar la compatibilidad de tecnologías Ethernet inalámbricas basada en el estándar IEEE 802.11, esta Alianza se convirtió en Wi - Fi en el año 2002
Wi - Fi	<i>Wireless Fidelity</i>	La Alianza Wi - Fi es una asociación comercial de fabricantes y desarrolladores de tecnología basada en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes
Wimax	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>	Tecnología de acceso inalámbrico de última milla basada en el estándar IEEE 802.16 que opera en frecuencias microondas a velocidades superiores a los 15 Mbps
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>	Red Inalámbrica de área local
WRAN	<i>Wireless Regional Area Network</i>	Tecnología de acceso inalámbrico de área regional basada en el estándar IEEE 802.22 que utiliza la Radio Cognitiva y espacios en blanco de la porción del espectro de televisión para operar.