

DISEÑO DE UNA RED WIFI PARA PROVEER SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO EN LA ZONA URBANA NORTE DEL CANTÓN CAYAMBE

Juan C. Cacuango
Universidad Técnica del Norte
juanca_ct@yahoo.com

Resumen—El proyecto tiene como objetivo, realizar el diseño de una red inalámbrica basada en el estándar 802.11n, para proveer el servicio de Internet a la población ubicada en los sectores urbanos al norte del cantón Cayambe de la provincia de Pichincha. Se realizará una revisión del estándar 802.11n, redes inalámbricas, cálculo de radioenlaces y aspectos relacionados a redes inalámbricas.

El diseño tomará en cuenta un modelo de red jerárquico estructurado en tres capas: núcleo, distribución y acceso. Adicionalmente se realiza el diseño de subsistemas que respalden el buen desempeño de la red inalámbrica: subsistemas eléctrico para suministro continuo de energía eléctrica, subsistema de protección eléctrica que garantice la seguridad de equipos y personal ante descargas atmosféricas e irregularidades en las líneas de suministro de energía y el subsistema de infraestructura necesario para dar soporte a equipos inalámbricos de la red de acceso/backhaul de los que depende la cobertura del servicio. Finalmente se presentará análisis financiero que determine la viabilidad económica del proyecto para los inversionistas.

Términos Relacionados— WIFI, WISP, Internet, Radio Eléctrico,

I. INTRODUCCIÓN

Como política del Gobierno en el Plan Nacional para el Buen Vivir, el acceso a las tecnologías de la información entre ellas el Internet se considera como servicio básico para el desarrollo de la sociedad, permitiendo contar con información actualizada, pero se vuelve un problema cuando sus suscriptores se ubican en puntos remotos inaccesibles a través de medios cableados como líneas de cobre, haciendo de las tecnologías inalámbricas la mejor alternativa para brindar este servicio, satisfaciendo así la necesidad del usuario de conectividad a la internet. Proyectos como el que se expone, contribuirá a la erradicación del analfabetismo digital en esta parte del país.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Redes Inalámbricas 802.11

En redes y telecomunicaciones se denomina comunicación inalámbrica aquella en la que no se utiliza un medio de propagación físico sino ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio y la transmisión y recepción de

información se realiza a mediante el uso de antenas.

Las comunicaciones por RF (Radiofrecuencia) comienzan con una oscilación transmitida desde un dispositivo que será recibida en uno o varios dispositivos. Esta oscilación de la señal se basa en una constante llamada frecuencia. El transmisor y el receptor deben estar en la misma frecuencia para transmitir la misma señal. En 802.11 se cuenta con el mismo modelo o arquitectura de la familia 802, es decir, que se tiene con una capa física y la subcapa MAC de la capa de enlace. [1]

En la capa física PHY se distingue dos subcapas: PMD (Physical Media Dependent-Dependiente del medio físico) que especifica a cada a los sistemas de transmisión a nivel físico y la subcapa PLCP (Physical Layer Convergence Procedure- Procedimiento de convergencia de capa física) encargada de homogenizar de cara a la capa MAC las particularidades de las distintas especificaciones de la subcapa PMD. [2]

La subcapa MAC de la capa de enlace de datos especifica protocolos de acceso al medio, propiedades de redes inalámbricas como envío de acuses de recibo (ACK), fragmentación de tramas y mecanismo de encriptación de datos para su transmisión. [2]

B. Estándar 802.11n

El estándar IEEE 802.11n corresponde a una modificación al estándar IEEE 802.11-2007, mejora significativamente el rendimiento de redes anteriores como 802.11b y 802.11g, incrementando significativamente la velocidad de transmisión teórica máxima de 54 Mbps a 600 Mbps. Actualmente la capa física soporta velocidades de 300 Mbps que puede traducirse en un rendimiento de 100 Mbps reales. [3] Entre las mejoras que se han aportado cuentan las siguientes

1) OFDM mejorado

Adecuada para entornos fading (desvanecimiento de la señal) ante interferencias; modulando los datos en un conjunto de sub-portadoras, viéndose afectas algunas que pueden ser recuperadas posteriormente mediante algún método de detección de errores. [3]

2) MIMO

Describe un sistema en transmisión y recepción compuesto por múltiples antenas. A través de esta técnica que aprovecha fenómenos físicos en la transmisión como la propagación multi-trayectoria de la señal para incrementar la tasa de transmisión logrando velocidades de hasta 600 Mbps. [3]

3) Ancho de banda de canal

Mediante una técnica llamada bounding (canal envolvente) se logra utilizar dos canales de 20 MHz a la vez, obteniendo un único canal de 40 MHz y velocidades de transmisión de hasta 108 Mbps. Utilizando un canal de 40 MHz se aprovecha frecuencias existentes al inicio y fin de un canal de 20 MHz para evitar interferencias entre canales adyacentes aumentando la velocidad de transmisión. [3]

C. Radio enlaces

Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se lo denomina dentro de los servicios de esas características. Usa como medio de comunicación el espacio mediante dispositivos denominados antenas. Su planificación requiere del cálculo de un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto. [4] Se define como el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor, cables, conectores y espacio libre hasta el receptor.

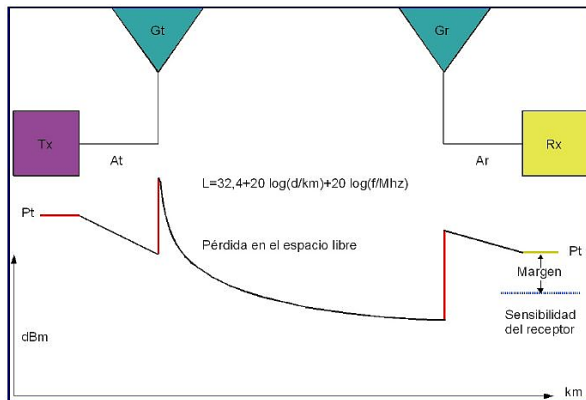


Fig. 1. Diagrama de cálculo de presupuesto de potencia

1) Potencia en Transmisión

Corresponde a la potencia emitida por el radio transmisor y su valor máximo permitido depende de las regulaciones vigentes en cada país. [4]

2) Pérdidas en los Conectores

Dependiendo del tipo de conector utilizado se aconseja una revisión de datos técnicos. La pérdida vendrá dada en función de la frecuencia de trabajo. [4]

3) Pérdidas de Propagación

Las pérdidas en propagación se producen durante el trayecto de la señal desde transmisión a recepción. [4]

4) Ganancia de la Antena

La ganancia de la antena expresada en dBi puede verse afectada principalmente por una incorrecta instalación de la antena. [4]

5) Pérdidas en espacio libre

La pérdida en el espacio libre (FSL) mide la potencia perdida en el espacio libre sin ninguna clase de obstáculos. Esta pérdida se produce debido a que una onda pierde energía al irradiarse en direcciones distintas en las que la antena receptora no puede captar. [4]

6) Geometría del Enlace

La Zona de Fresnel se define al volumen de espacio entre el emisor y receptor [5] mostrado en la figura

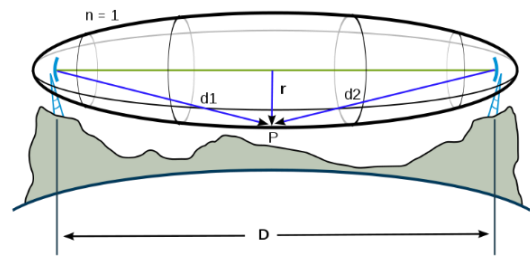


Fig. 2. Zonas de Fresnel

La altura de despeje es un parámetro que se relaciona con el radio de la primera zona de Fresnel para determinar el margen de despeje. [5]

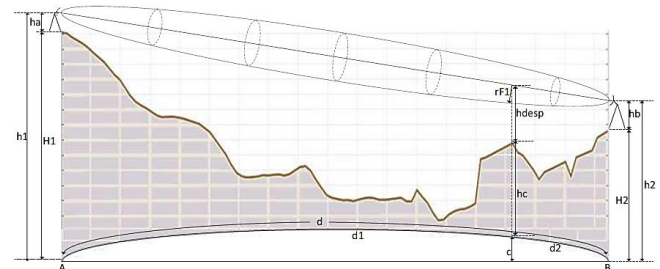


Fig. 3. Geometría de Radio Enlace

D. Antenas

Una antena básicamente se considera como un dispositivo conductor metálico diseñado para la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, transformando la energía eléctrica en ondas electromagnéticas en antenas transmisoras y a la inversa para antenas receptoras. [6] Se puede clasificarlas es mediante la forma de su radiación y dirección

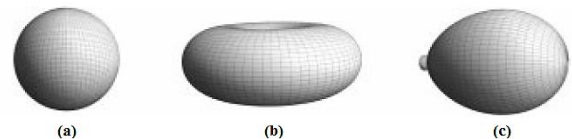


Fig. 4. Tipos de antenas de acuerdo al tipo de radiación (a) Isotrópico, (b) Omnidireccional y (c) Directivo

1) Antenas Isotrópicas

Consiste en antenas cuya radiación de potencia se transmite uniformemente en todas direcciones y su diagrama de radiación es visto como una esfera.

2) Antenas Omnidireccionales

Son antenas cuya radiación de potencia se trasmite en todas las direcciones de un plano de distribución relativamente uniforme, teniendo una escasa radiación en el eje debido a limitaciones físicas de la antena. [6]

3) Antenas Direccionales

Este tipo de antenas radian o reciben la radiación en una dirección específica, limitando la mayor cantidad de radiación en otras direcciones. Son necesarias para transmitir una gran cantidad de información, concentrando la mayor cantidad de potencia en un área pequeña. [6]

Sus características se definen por los siguientes parámetros.

1) Diagrama de Radiación

Es la representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena, en función de las direcciones del espacio normalmente mediante un sistema de coordenadas esféricas, hasta una distancia fija. [6]

2) Directividad

La directividad de una antena define la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia determinada, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena. [6]

3) Polarización

Una onda electromagnética está conformada por un campo eléctrico y magnético que se propagan juntos por el espacio, la polarización corresponde a la orientación del vector de campo eléctrico en función de la posición y el tiempo $E \vec{r}(r, t)$ en un punto fijo al transcurrir el tiempo. [6]

4) Impedancia de Entrada

La radiación de potencia de una antena es el resultado del flujo de corriente desde un transmisor con conexión mediante una línea de transmisión o guía de onda hasta la antena. [6]

5) Ganancia y Eficiencia

Corresponde a la relación entre la potencia de entrada y la potencia de salida de la antena. Es una comparación de cuanta energía irradia una antena en cuestión comparándola con la que saldría de una isotrópica. Una antena con baja eficiencia presenta problemas de absorción de potencia o su reflexión debido a malos acoplamientos con las impedancias. [6]

6) Ancho de Banda

Se define al rango de frecuencias en las que la antena transmite o recibe energía de forma apropiada.

E. Normativa Legal Regulatoria

La transmisión de señales inalámbricas implica el uso del aire como su medio de transmisión, es decir se está haciendo uso del espectro electromagnético. En el Ecuador, su uso y explotación requiere el otorgamiento previo de un título habilitante emitido por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. [7]

Los títulos habilitantes autorizan la instalación de la infraestructura y redes necesarias para la prestación del servicio y serán otorgados a empresas públicas legalmente constituidas que cumplan con todos los requisitos establecidos por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones y tendrán un periodo límite de validez tras lo cual deberá ser renovado

Según lo establecido por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones en su resolución 417-15 del 2005 y adoptadas por la actual entidad reguladora, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, se establecen rangos de frecuencia controlados por la entidad regulatoria. [7]

TABLA I
ASIGNACIÓN RANGOS DE FRECUENCIA ARCOTEL

BANDA (MHz)	ASIGNACIÓN
902 - 928	ICM
2400 - 2483.5	ICM
5150 - 5250	INI
5250 - 5350	INI
5470 - 5725	INI
5725 - 5850	ICM, INI

Así mismo, se establecen niveles de potencia de operación descritos en la tabla

TABLA II
LÍMITES DE POTENCIA DE SISTEMAS BANDA ANCHA

Tipo de Configuración del Sistema	Bandas de Operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)
punto-punto	902 - 928	250
punto-multipunto		
Móviles		
punto-punto	2400 - 2483.5	1000
punto-multipunto		
Móviles		
punto-multipunto		
Móviles	5725 - 5850	1000
punto-punto		
punto-multipunto		
Móviles		

III. ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL DEL MERCADO

El análisis consiste en reunir, planificar, analizar y comunicar de manera sistemática los datos relevantes para la situación de mercado específica que afronta una organización [8]

A. Antecedentes

El cantón Cayambe está formado por tres parroquias Urbanas: San José de Ayora, Cayambe y Juan Montalvo. Según los límites establecidos en el Plan de Desarrollo Ordenamiento Territorial 2015- 2025 para el cantón Cayambe (Cayambe, 2001, pág. 1). Los sectores donde tendrá cobertura el servicio se ubican dentro de la parroquia de San José de Ayora. Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) esta parroquia cuenta con una población 9028 habitantes.

B. Tamaño de Muestra

Para determinar el número de encuestas a realizar y por la limitada cantidad de usuarios en las zonas de estudio se utiliza la ecuación de muestra aleatoria para una población finita [8]

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Dónde:

n= Tamaño de muestra (número de encuestas a realizar, 69.95% de esta población se considera como económicamente activa, contando con un trabajo estable y remuneración de acuerdo a la ley)

Z= Grado de confiabilidad

N= Tamaño de la Muestra

p= Probabilidad de ocurrencia (grado de validez de las respuestas)

q= Probabilidad de no ocurrencia

E= Grado de error (error máximo estimado permitido en la encuesta)

$$n = \frac{2^2(6353)(0.5)(0.5)}{(0.1)^2 (6353 - 1) + 2^2(0.5)(0.5)} = 98 \text{ (Encuestas)}$$

C. Estimación de la Demanda

De un total de 98 encuestados se tiene que un 42.86% correspondiente a 42 encuestados no cuentan con el servicio actualmente, por lo tanto, se tiene.

$$D_0 = \frac{\epsilon_{meta}}{\epsilon_{total}} N = 163.14 \approx 163 = \text{Demanda inicial}$$

De acuerdo a lo obtenido en la encuesta, por el tipo de servicio, un 13.26% correspondiente a 21 se los estimaría como usuarios comerciales y un 86.74% correspondientes a 142 como usuarios residenciales.

- Usuarios servicio Residencial: $163(0.8674) = 142$
- Usuarios servicio Comercial: $163(0.1326) = 21$

D. Proyección de la Demanda

La tasa de crecimiento en el nivel de penetración de Internet en el Ecuador en los últimos años ha sido muy variable con una tendencia de aumento año a año. Se toma en cuenta el último periodo comprendido entre junio de 2014 a mayo 2015 de ($\tau = 14\%$) en tasa anual acumulada. La proyección a 5 años será.

$$\text{Proyección U. Residenciales } D_p = 142(1 + 0.14)^5 = 273$$

$$\text{Proyección U. Comerciales } D_p = 21(1 + 0.14)^5 = 40$$

IV. DISEÑO DE RED

A. Red Troncal

La Red Troncal se considera como el punto principal de conexión a la Internet para la red del proveedor, mediante uno o varios enlaces WAN a través de una determinada tecnología de acceso, sobresaliendo el uso de la fibra óptica que proporciona un ancho de banda considerablemente mayor

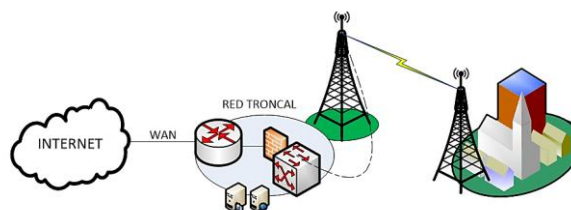


Fig. 5. Diagrama general Red Troncal

1) Cálculo de ancho de banda para la red Troncal

Corresponde al necesario que dará servicio a la red de acceso. Se analiza dos factores necesarios al momento de realizar este cálculo.

Overbooking: es un término que se puede entender como la multiplexación del enlace dedicado con el que se cuenta. Se aplica considerando que el usuario mientras navega no utiliza completamente el canal constantemente, pues tras haberse cargado la página web, el canal es liberado, pudiendo ser utilizado por otro usuario

Factor de Simultaneidad: índice que permite estimar el número de usuarios que estarán conectados intentando usar su ancho de banda en un momento determinado. Aún si se tuviera un 80% de usuarios conectados simultáneamente, se estima que solo un porcentaje de éstos estaría accediendo a contenido web exactamente al mismo tiempo. Para entornos rurales se aplica un factor del 20%.

Para determinar el ancho de banda en la red troncal se tomará en cuenta usuarios tipo residencial y comercial estableciéndose la siguiente ecuación.

$$ABw = \frac{[N^{\circ} \text{ Clientes} * \text{Factor Simultaneidad} * \text{Velocidad (Mbps)}]}{\text{Factor Overbooking}}$$

Así, para un periodo de 5 años, suponiendo que todos los usuarios realizarán el contrato en un plan de 5 Mbps y en base a la proyección de la demanda de usuarios residenciales y comerciales, el ancho de banda a contratar será.

$$ABw = \frac{[273 * 0.2 * 5(\text{Mbps})]}{8} + \frac{[40 * 0.2 * 5(\text{Mbps})]}{3}$$

$$ABw = 47,47 \approx 48 \text{ [Mbps]}$$

La administración de la red también realizará un consumo de un ancho de banda adicional, mismo que no debe afectar a los 48 [Mbps] destinados a la red de acceso. Servicios como acceso a páginas web, correo electrónico, video llamadas IP requerirá un ancho de banda promedio de 7 Mbps., es decir, se requiere de un canal de 55 Mbps para la red troncal. Para evitar posibles encolamientos y saturación durante la conmutación en los puertos de los equipos, se recomienda como mínimo puertos con el doble de la capacidad de conmutación calculada, es decir, de 110 [Mbps]. Al no existir un estándar que defina esta velocidad, se elige puertos con capacidad inmediata superior, siendo necesario equipos con capacidad Gigabit Ethernet con otras capacidades propias de un router de borde y switches Core que se describen en la

B. Red Backhaul

Una red de backhaul es una opción ideal para el transporte de información de forma económica y sustentable sin el uso de cables y cubriendo largas distancias. Su función será la de interconectar los nodos de distribución del servicio mediante enlaces punto a punto. La frecuencia utilizada será la de 5 GHz considerando es de uso libre, que existen antenas de mayor ganancia y se tiene un menor grado de interferencia que a 2.4 GHz.

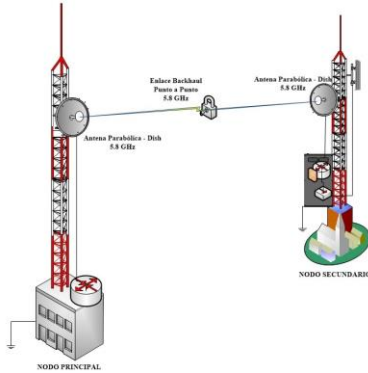


Fig. 6. Diagrama general Red Backhaul

1) Análisis Topográfico del Área de Cobertura y Ubicación de los nodos de transmisión

La cobertura estará relacionada con los puntos de presencia del proveedor. La ubicación de estos puntos requiere del análisis de algunos factores como la topografía el lugar, línea de vista desde cualquier punto de la zona de interés, proyección a futuro. Para el diseño se toma en cuenta los puntos que sobresalen topográficamente en la zona de cobertura que por las condiciones del sector (árboles, irregularidad del terreno) es necesario un nodo secundario en el sector de Ayora, quedando definido sus coordenadas en la tabla.

TABLA III
UBICACIÓN NODO PRINCIPAL Y SECUNDARIO

Nodo	Coordenadas Latitud	Coordenadas Longitud
Principal	0°(grados) 2'(minutos) 57.85"(segundos) Norte	78°(grados) 8'(minutos) 18.28"(segundos) Oeste
Secundario	0°(grados) 4'(minutos) 07.41"(segundos) Norte	78°(grados) 7'(minutos) 56.71"(segundos) Oeste

2) Cálculo Radioenlace

Considerándose como una extensión de la red troncal, la red backhaul tendrá una capacidad de canal de 48 [Mbps]. Para alcanzar este valor en el nodo secundario se hace análisis de la tabla.

TABLA IV
DATA RATE vs. ESQUEMA DE MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN

	MSC	Streams	Modulación	Tasa de Codif.	Data Rate [Mbps]	Req. SNR [dB]	Mínima Señal [dBm]
Polaridad Simple (1 x 1)	0	1	BPS K	1/2	15	9.3	-88
	1	1	QPSK	1/2	30	11.3	-82
	2	1	QPSK	3/4	45	13.3	-79
	3	1	16-QAM	1/2	60	17.3	-76
	4	1	16-QAM	3/4	90	21.3	-73
	5	1	64-QAM	2/3	120	24.3	-68
	6	1	64-QAM	3/4	135	26.3	-65

Polaridad Doble (2 x 2)	7	1	64-QAM	5/6	150	27.3	-63
	8	2	BPS K	1/2	30	12.3	-85
	9	2	QPSK	1/2	60	14.3	-79
	10	2	QPSK	3/4	90	16.3	-76
	11	2	16-QAM	1/2	120	20.3	-73
	12	2	10-QAM	3/4	180	24.3	-70
	13	2	64-QAM	2/3	240	27.3	-65
	14	2	64-QAM	3/4	270	29.3	-62
	15	2	64-QAM	5/6	300	30.3	-60

Considerando que la capacidad real del canal o throughput será del 50% del data rate, se elige un esquema de modulación y codificación MSC11, modulación 16-QAM, data rate de 120 [Mbps], a una frecuencia de 40 MHz (802.11n), alcanzando un throughput de 60 [Mbps]. Además, en recepción se requerirá una sensibilidad mínima de -73 [dBm]

Cálculo de pérdida en espacio libre ($d = 2.237$ Km, $f = 5.805$)

$$PEA(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + K$$

$$PEA(dB) = 20\log_{10}(2.237) + 20\log_{10}(5.805) + 92.4$$

$$PEA = 114.66 [dB]$$

Cálculo de la Potencia mínima en Transmisión (sensibilidad en recepción - 73 [dBm], ganancia en antenas 23 [dBi])

$$P_{TX} = U_{RX} - FM + A_{WGTX} - G_{TX} + FSL - G_{RX} + A_{WGTX}$$

$$P_{TX} = -73 + 33.12 + 0 - 25 + 114.66 - 25 + 0 = 24,78 [dBm]$$

Cálculo de la potencia en Recepción

$$Pr = Pt - Lt + Gt - Lp + Gr - Lr$$

$$Pr = 24.78 - 0 + 25 - 114.66 + 25 - 0$$

$$Pr = -39.88 [dBm]$$

Sometiendo estos valores al simulador, se obtienen los siguientes resultados



Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	2864,37	---
0,4	2853,7	-27,95
0,8	2845,86	-33,23
1,2	2836,08	-36,68
1,6	2843,36	-38,18
2	2853,37	-39,46
2,237	2864,8	-39,88

Link Summary		
Link Length	2.243 km	System Gain 142.31 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin 27.58 dB
Regulation	Ecuador	Mean Aggregate Data Rate 62.0 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability 100.0000 %
Bandwidth	40 MHz	Annual Link Unavailability 0 secs/year
Total Path Loss	114.72 dB	Prediction Model ITU-R

Fig. 7. Estudio de Perfil Radioeléctrico Red Backhaul

Throughput	15 Mbps	15 Mbps	15 Mbps	15 Mbps	15 Mbps	15 Mbps
Sensibilidad Rx. [dBm]	-85	-85	-85	-85	-85	-85
Pérdidas E. Libre [dB]	110.53	115.55	108.05	110.13	110.64	108.17
Pot. Tx [dBm]	22.86	16.99	24.12	23.07	22.74	24.01
Potencia Rx [dBm]	-47.61	-58.56	-43.93	-47.06	-47.92	-44.16

Sometiendo los cálculos al simulador se obtiene el siguiente resultado de cobertura radio eléctrica.

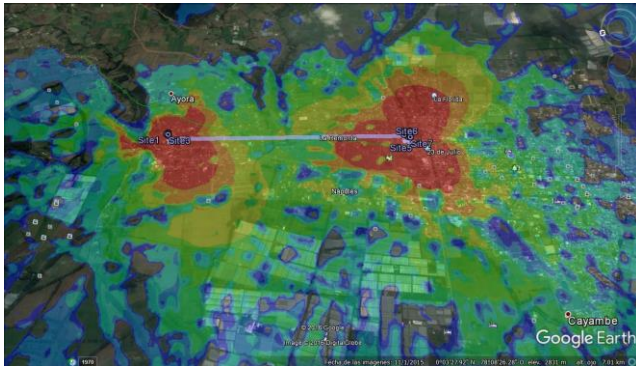


Fig. 11. Estudio de Cobertura Red de Acceso

E. Red de Gestión

Un cuarto de equipos se considera al espacio donde se encuentran todos los equipos de telecomunicaciones. Para su diseño se tomará en cuenta recomendaciones que se ajusten al esquema del diseño del proyecto de los siguientes estándares.

ANSI/TEI/EIA 569 Espacios y canalizaciones para telecomunicaciones: El estándar identifica seis componentes de la infraestructura para el cuarto de equipos, de todas estas se acoge aquellas que se adaptan al diseño del proyecto. Instalaciones de entrada, Sala de equipos, Distancia a los cables eléctricos, Canalizaciones internas, Canalizaciones horizontales. Su diseño se define a través de la figura.

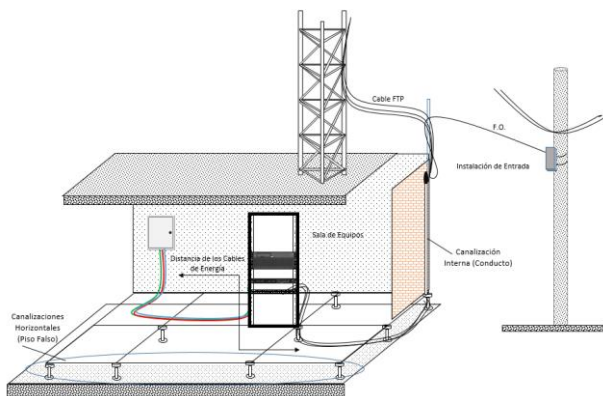


Fig. 12. Aplicación Estándar ANSI/TEI/EIA 569

ANSI/J-STD-607 Tierras y aterramientos para los sistemas de telecomunicaciones de edificios comerciales: constituye parte esencial en la vida útil de los equipos y protección del personal. Con el principal propósito de crear un camino

adecuado para dirigir corrientes y voltajes estáticas y pasajeras hacia tierra se acoge algunas recomendaciones. TMGB (Barra principal de tierra para telecomunicaciones), TGB (Barras de tierra para telecomunicaciones), TBB (Backbone de tierras). La figura describe la aplicación de esta norma.

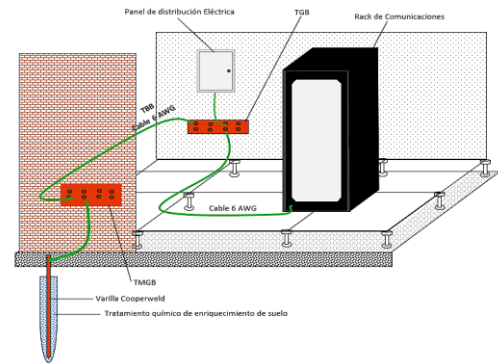


Fig. 13. Aplicación Estándar ANSI/J-STD-607

ANSI/TIA/EIA 568 Cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales: Se aplica dos recomendaciones. ANSI/TIA/EIA 568-C.1 (MDF, Áreas de trabajo, Instalación de Entrada) y ANSI/TIA/EIA 568-C.2 (cable FTP categoría 6A). Su diseño se define en la figura.

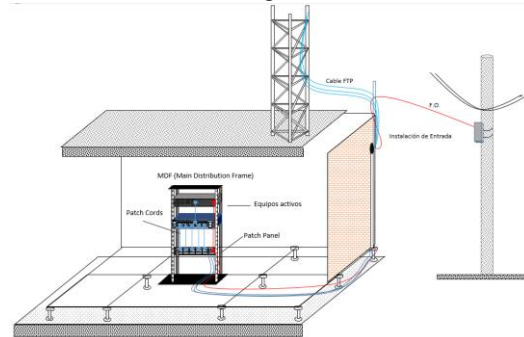


Fig. 13. Aplicación Estándar ANSI/TIA/EIA 568

F. Subsistema de Energía

Provee abastecimiento ininterrumpido de energía para la red y protege a los equipos de irregularidades como: Corte de Energía, Sobretensiones, Caída de Tensiones, Picos de Tensión, Ruido Eléctrico o Electromagnético, Inestabilidad en la Frecuencia, Distorsión Armónica. Para el dimensionamiento de un sistema de energía ininterrumpida (UPS) se toma en cuenta los equipos críticos a proteger (routers, switches, etc.), se calcula la potencia total consumida por los equipos a proteger y finalmente se elige el UPS adecuado que soporte la carga de los equipos.

1) Factor de Potencia

Definido como la relación entre la potencia activa (P), y la potencia aparente (S), siendo tensiones y corrientes señales sinusoidales.

Si el factor de potencia es inferior a 0.9, significa que se tiene un elevado consumo de energía reactiva respecto a la activa, dándose una circulación excesiva de la corriente eléctrica en las instalaciones del usuario y por ende en la red

de distribución. No se realizará ningún pago si es superior a 0.9, mientras que si $\cos\phi < 0.7$, se puede obligar al usuario a realizar la corrección.

$$\cos\phi = \frac{P}{S}$$

Dónde:

S: Potencia Aparente [VA]

P: Potencia Activa

Cos ϕ : Factor de Potencia (0.7 asumiendo un escenario desfavorable, no toda la energía es aprovechada)

2) Dimensionamiento del sistema de protección

Los equipos que serán protegidos serán los de nodo principal y nodo secundario. Su consumo se muestra en las tablas.

TABLA VII
POTENCIA CONSUMIDA EN EQUIPOS NODO PRINCIPAL

Descripción	Potencia [watts]	Cantidad	Total [watts]
Antena Mikrotik SAR2	12	1	12
Radio Mikrotik RB912UAG-5HPnD-OUT Basebox 5	11.5	3	34.5
Antena Sectorial AM-5G19-120 grados Ubiquiti	6.5	3	19.5
CCR Router Mikrorik	14	2	28
CCS Switch Mikrotik	14	2	14
PC de Monitoreo de Red (CPU+ Monitor LED)	(150+30)	1	180
TOTAL			288W/h

$$S_{requerida} = \frac{P}{\cos\phi} = \frac{288}{0.7} = 411.43 [VA]$$

TABLA VIII
POTENCIA CONSUMIDA EQUIPOS NODO SECUNDARIO

Descripción	Potencia [watts]	Cantidad	Total [watts]
Antena Mikrotik SAR2	12	1	12
Radio Mikrotik RB912UAG-5HPnD-OUT Basebox 5	11.5	3	34.5
Antena Sectorial AM-5G19-120 grados Ubiquiti	6.5	3	19.5
CCS Switch Mikrotik	14	2	14
TOTAL			80W/h

$$S_{requerida} = \frac{P}{\cos\phi} = \frac{80}{0.7} = 114.29 [VA]$$

Los sistemas UPS están diseñados para entregar su carga máxima en periodos de tiempo estimados que van de 5 a 15 minutos. Si se quiere alcanzar mayores tiempos de suministro de energía será necesario bancos de baterías o sobredimensionar la carga que protegerá el UPS.

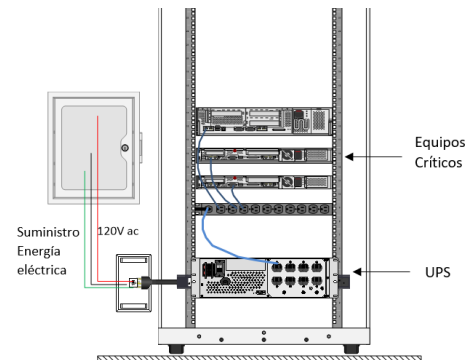


Fig. 14. Respaldo de Energía Eléctrica

G. Subsistema de Protección Eléctrica

Neutraliza la energía producida por fenómenos atmosféricos y garantiza la seguridad de personas y equipos. Constituye todo un sistema que en conjunto brinda seguridad a las instalaciones, aplicando las normas internacionales: NFPA 780 para América y la IEC-62305 para Europa.

1) Capturar la descarga atmosférica.

Para pararrayos tipo Franklin, las normas NFPA 780 y CEI 62305 define un grado de riesgo, en función del cual se ha de seleccionar las puntas de los pararrayos, accesorios y calibre del conductor (sección mínima 0AWG) para conexión con el sistema de puesta a tierra. Estará a una altura mínima de 2 m sobre los elementos dentro de su ángulo de protección.

2) Conducción la energía producida a tierra

Al captar el rayo se genera una corriente de descarga que deberá ser conducida a tierra a través de un conductor (0 AWG). Tendrá recorrido directo y vertical siguiendo el camino más corto en la mayor de las posibilidades.

3) Disipar la energía en el sistema a tierra

Las descargas atmosféricas transitorias con rápidos tiempos de formación y corrientes de gran magnitud implican la necesidad de un efectivo sistema de puesta a tierra. Los métodos y técnicas utilizadas en sistemas de puestas a tierra varían uno de otro, el más común consistente en un conjunto de varilla incrustadas en el terreno. Para tener un sistema efectivo se manejan los siguientes criterios.

Impedancia del Suelo: Una baja impedancia es la clave en la protección de descargas atmosféricas. En suelos considerados pobres por tener una alta resistividad (suelos arenosos, de humedad variable y rocosa), es recomendable el uso de materiales enriquecedores, garantizando una conductividad superior y mejorando así la eficiencia de la puesta a tierra.

Electrodos o varillas a tierra: el electrodo o varilla provee la conexión con el suelo para disipar las corrientes. Un método convencional para obtener un buen sistema de tierra es la combinación de electrodos verticales y horizontales, siendo típicas las configuraciones de estrella, anillo o de malla. Bajo estas consideraciones el sistema de protección se diseña como base en la figura.

V. ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO

Permite obtener información sobre el estado de ingresos y egresos económicos para quienes están involucrados en el proyecto como inversionistas, determinando costos, tarifas de producción, justificando su viabilidad, sostenibilidad y rentabilidad en el transcurso de su desarrollo.

1) Presupuesto

El presupuesto referencial del proyecto toma en cuenta todos los costos necesarios invertidos en la red para ponerla funcionamiento. Estos valores se detallan en la tabla.

TABLA IX
PRESUPUESTO INVERSIÓN INICIAL

COSTO DE INVERSIÓN INICIAL	
Equipos nodo principal	\$5809,30
Elementos y materiales de red cuarto de equipos	\$935,66
Equipos, materiales y elementos de red nodo secundario	\$1950,41
Infraestructura torres de comunicación	\$720,70
Sistema de protección eléctrica	\$1041,12
Utilitarios de oficina	\$2447,20
Permiso de prestación de servicio de valor agregado	\$500,00
Homologación radio base y cpes	\$513,00
Instalación enlace internet	\$300,00
Total USD sin IVA	\$14.217,39
IVA 12%	\$1.706,09
Total USD con IVA	\$15.923,48

2) Financiamiento

El financiamiento de la inversión será a través del capital social de los interesados en la ejecución del proyecto. Se distribuye de acuerdo a la tabla

TABLA X
FINANCIAMIENTO

Inversión Inicial	\$ 15.923,48
Número de Socios	3
Aporte Individual	\$ 5.307,83

3) Tarifación

Imponiendo valores atractivos al usuario y competentes dentro del mercado.

TABLA XI
TARIFACIÓN DE SERVICIOS

Tipo de Servicio	Compartición de Canal	Costo Mensual
Residencial 1	2Mbps 1:8 (Download/Upload)	\$20
Residencial 2	3 Mbps 1:8 (Download/Upload)	\$25
Residencial 3	4 Mbps 1:8 (Download/Upload)	\$30
Residencial 4	5 Mbps 1:8 (Download/Upload)	\$35
Comercial 1	3 Mbps 1:3 (Download/Upload)	\$75
Comercial 2	4 Mbps 1:3 (Download/Upload)	\$125
Comercial 3	5 Mbps 1:3 (Download/Upload)	\$175

4) Ingresos

Valor cancelado mensualmente por los usuarios, considerando contratos de servicio en el plan más bajo en residencial y comercial.

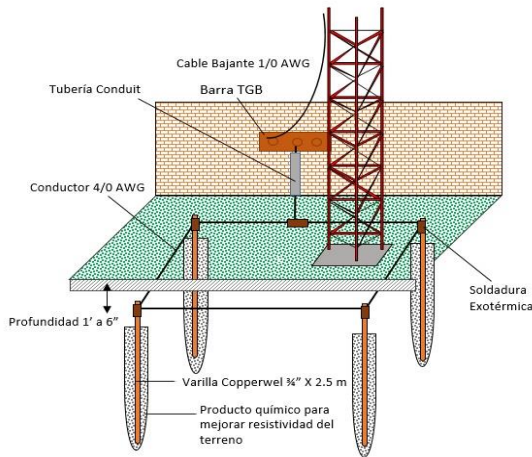


Fig. 15. Sistema de Puesta a Tierra

H. Subsistema de Infraestructura

Existen distintos tipos de torres de comunicaciones, cuya estructura varía según las necesidades y condiciones del sitio donde serán implantadas, pero todas serán diseñadas e implementadas bajo el estándar ANSI/EIA/TIA-222-G de “Normas estructurales para torres de antena de acero y estructura de soporte de antenas”.

En el diseño se toma en cuenta torres arriostradas, requieren de un área reducida, pero, sobre todo, el costo de implementación está al alcance del proyecto. Su disposición geométrica al momento de su instalación se muestra en la figura

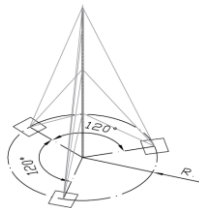


Fig. 16. Geometría de Instalación torres arriostradas

Su fase de implementación requiere de la atención de los aspectos mostrados en la figura.

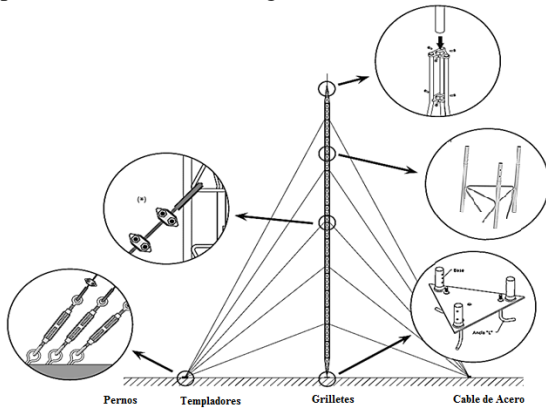


Fig. 17. Estructura torre Arriostrada

TABLA XII
INGRESOS POR PAGO DE SERVICIOS

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
\$52.980,00	\$68.460,00	\$84.060,00	\$87.660,00	\$101.520,00

5) Costos de Mantenimiento

Con un mantenimiento semestral se generan los siguientes gastos.

TABLA XIII
COSTOS POR MANTENIMIENTO DE RED

Costos de mantenimiento	Costo semestral	Costo anual
Infraestructura de red	\$177,00	\$354,00
Mantenimiento de equipos	\$354,00	\$708,00
Total USD		\$1062,00

6) Sueldo del Personal

En base a un sueldo inicial programado para el primer año se calcula un aumento anual de 10%, acorde a datos históricos de sueldos en el Ecuador.

TABLA XIV
SALARIO DE PERSONAL

Descripción	Administrador/ Gerente	Secretaría Contabilidad	Técnico instalador	TOTAL
Salario Mensual	\$ 858,85	\$ 656,05	\$ 393,49	
Número de personal	1	1	2	4
Salario Año 1	\$10306,20	\$7872,60	\$9443,76	\$27.622,56
Salario Año 2	\$11336,82	\$8659,86	\$10388,14	\$30.384,82
Salario Año 3	\$12470,50	\$9525,85	\$11426,95	\$33.533,423
Salario Año 4	\$13717,55	\$10478,43	\$12569,64	\$36.765,63
Salario Año 5	\$15089,31	\$11526,27	\$13826,61	\$40.442,19

7) Gastos Administrativos

Los gastos administrativos serán los necesarios para el funcionamiento de la empresa, éstos incluyen: servicios básicos, suministros de oficina, de limpieza, movilización.

TABLA XV
GASTOS ADMINISTRATIVOS

Gastos Administrativos		
Descripción	Mensual	Anual
Suministros de Oficina (folders, hojas, etc.)	\$30,00	\$360,00
Suministros de Limpieza	\$40,00	\$480,00
Arriendo Oficina	\$180,00	\$2.160,00
Arriendo Espacio Torres de Comunicación	\$160,00	\$1.920,00
Movilización	\$80,00	\$960,00
TOTAL	\$540,00	\$6.480,00

8) Gastos por Servicio Portador

Los gastos por acceso a internet corresponden al valor a pagar por el número de megas contratado.

TABLA XVI
GASTOS POR CONTRATO SERVICIO PORTADOR

Periodo	Mbps Contratado	Costo Telconet (670 + costo de instalación)	TOTAL
Año 1	10		\$820
Año 2	13	820	\$820
Año 3	15	920	\$920
Año 4	17	1020	\$1020
Año 5	19	1120	\$1120

9) Análisis financiero de la empresa

Para realizar el análisis financiero es necesario realizar un flujo de fondos. Para una empresa que evalúa su proyecto necesita determinar cuál es su flujo de fondos generados por el proyecto año a año. Esto se hace determinando el monto de ingresos y egresos para cada año.

TABLA XVII
FLUJO DE FONDOS

Descripción	FLUJO DE FONDOS
Año 0	-\$15923,48
Año 1	\$10.445,98
Año 2	\$18.485,36
Año 3	\$26.371,15
Año 4	\$26.409,94
Año 5	\$32.772,79

Para evaluar el proyecto se debe tomar en cuenta los siguientes indicadores de rentabilidad

10) Valor Presente Neto (VPN)

VPN = \$62679,14 USD, Es decir un valor > 0, el proyecto es aceptable y representa ganancias.

11) Relación Costo – Beneficio

$$\text{Relación Costo-Beneficio} = \frac{\text{VPN Ingresos}}{\text{VPN Egresos}} = \frac{78602,62}{15923,48} = 4,93$$

12) Tasa Interna de Retorno (TIR)

TIR = 0,99%. La tasa de interés calculado es mayor que la tasa de oportunidad, es decir que la TIR es mayor que la tasa de interés y como inversionistas del proyecto conviene realizar la inversión porque se obtendría un mayor rendimiento de la inversión que la que se obtendría en otra alternativa de inversión.

13) Periodo de Recuperación (PRI)

PRI = 2 periodos, la inversión se recupera al segundo año de operación del proyecto.

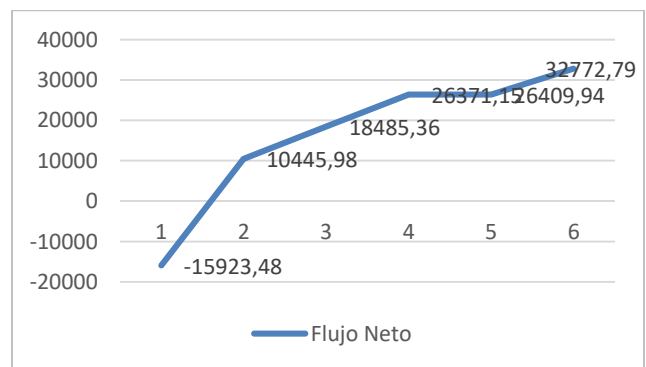


Fig. 18. Periodo de Recuperación de la Inversión

VI. CONCLUSIONES

Aplicar el estándar inalámbrico 802.11n en el diseño del proyecto permite implementar redes flexibles, escalables, de rápido despliegue y baratas en comparación con tecnologías cableadas, si bien no es un estándar nuevo, es una versión muy probada y estable del estándar 802.11, con mejoras significativas respecto a versiones anteriores tanto a nivel de capa PHY y MAC logrando mayores tasas de transferencia en frecuencias de 2,4 y 5 GHz.

El proyecto se perfila como una solución idónea que se ajusta a la situación actual y topográfica de las áreas de cobertura, brindando una solución a la demanda de servicio de Internet a un costo razonable para el usuario y de réditos económicas para el proveedor, mejorando además la calidad de vida de los habitantes a través de su inclusión en el uso de las tecnologías de acceso a la información.

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) como ente regulador y supervisor del espectro radioeléctrico en el Ecuador, impone límites a los parámetros de funcionamiento de los sistemas de comunicación inalámbrica como frecuencias, potencias de emisión, etc., que deberán ser cumplidas de forma estricta. Además, la operación en la venta del servicio de Internet requiere de títulos habilitantes dados por la misma entidad reguladora previo a la presentación de solicitudes e informes relacionados al proyecto.

La capacidad de canal medida en [bps] para el acceso internacional a Internet de la red troncal está directamente relacionada con la cantidad de suscriptores de la red de acceso. Para su cálculo se aplicó métodos que relacionan índices de simultaneidad y compartición del servicio. Según el número de usuarios proyectados en el estudio de mercado y suponiendo que no siempre el usuario estará haciendo uso del servicio y que existe una probabilidad de que no todos los usuarios utilizarán su servicio de forma simultánea, se aplicó una compartición 8:1 considerado muy bueno para servicio residencial, y 3:1 para servicio comercial o corporativo por tratarse de enlaces semi-dedicados con un índice de simultaneidad del 20%, valor aplicado a entornos semi-urbanos. Así, es necesario contratar un ancho de banda de 48 [Mbps] en el quinto año de operación, capacidad que el diseño de la red deberá estar en condiciones de soportar sin que la calidad del servicio al usuario final se vea afectada.

La calidad de un radio enlace depende de la correcta elección del dispositivo o antena según las necesidades en potencia, ganancia, directividad, etc. Su proceso de planificación inicia sabiendo cual será la tasa de transferencia que deberá soportar. Se ha utilizado la banda de 5 GHz por considerarse menos propensa a interferencias y sobre todo es una banda de libre operación. A nivel de capa física, el estándar 802.11n define esquemas de modulación y codificación los cuales determinan la velocidad de transmisión, así, mientras mayor sea la tasa de transferencia, se aplicará el tipo de modulación adecuado. El radio enlace, depende además de otros factores como el nivel de sensibilidad de las antenas, relación señal a ruido, potencia de transmisión y la instalación del dispositivo, manteniendo una perfecta alineación de antenas y verificando que no

existan obstrucciones dentro de la zona de Fresnel. Estas emisiones deberán realizarse bajo los límites impuestos por la Arcotel.

Mediante la utilización de la herramienta de simulación Xirio, se verificó la viabilidad de los enlaces de backhaul y red de acceso con diagramas de propagación e informes de los resultados, mostrando el comportamiento de las señales transmitidas y sirviendo de apoyo a la planificación de sistemas de comunicación inalámbricos, previo a su instalación.

El diseño de los subsistemas de respaldo de energía, protección eléctrica y de infraestructura son parte importante para el desempeño de la red inalámbrica proveedora del servicio, aplicando estándares se garantiza la disponibilidad continua del servicio para los usuarios y protección de los equipos y personal de trabajo, ante posibles alteraciones en el suministro eléctrico o perturbaciones atmosféricas.

El análisis financiero del proyecto ha permitido verificar que la implementación del proyecto es viable y representa rentabilidad para los inversionistas, con un periodo de recuperación de la inversión inicial ya en el segundo año. Si bien puede haber indicadores no analizados, el éxito o fracaso del proyecto dependerá de la toma de decisiones oportunas sin que se vea afectado el servicio al usuario, de quienes depende económicamente la operación del proyecto.

VII. REFERENCIAS

- [1] C. Valera y L. Domínguez, «Redes Inalámbricas,» 2002. [En línea]. Available: <https://www.blyx.com/public/wireless/redesInalambricas.pdf>. [Último acceso: 23 septiembre 2015].
- [2] R. Rojas Villegas, R. Rivera Paredes y W. Quispe Ch., Internet y Redes Inalámbricas, Arequipa : CLANAR, 2005.
- [3] C. N. Chávez, «Evaluación de la tecnología IEEE 802.11n,» 14 octubre 2009. [En línea]. Available: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7834/memoria.pdf>. [Último acceso: 18 noviembre 2015].
- [4] S. Buettlich, «Unidad 06: Cálculo de Radioenlace,» octubre 2007. [En línea]. Available: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf. [Último acceso: 17 noviembre 2015].
- [5] R. Ramirez, Sistemas de Radiocomunicaciones, Madrid: Paraninfo, 2015.
- [6] Á. C. Aznar, L. J. Roca y J. M. Ruis Casals, Antenas, Barcelona: EDICIONES UPC, 2002.
- [7] ARCOTEL, «Regulación servicios de valor agregado,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/>. [Último acceso: 25 septiembre 2015].
- [8] P. Kotler, P. Bloom y T. Hayes, Márketing de Servicios Profesionales, Barcelona: Ediciones Pidos Ibérica S.A., 2004.



Juan C. Cacuango T. Nació en Cayambe provincia de Pichincha el 02 de febrero de 1988. Obtuvo su título de bachillerato especialidad Físico Matemático en el Colegio de Bachillerato Nelson Torres de la ciudad de Cayambe, obtuvo el título de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.