

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

ARTÍCULO CIENTÍFICO

TEMA:

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN NODO-B DE
TECNOLOGÍA (3.5G) EN LA PARROQUIA “LA MERCED
DE BUENOS AIRES”, DEL CANTÓN “SAN MIGUEL DE
URCUQUÍ”, PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE
TELECOMUNICACIONES (C.N.T. EP)”**

AUTOR: VÍCTOR HUGO POZOANDRADE

DIRECTOR: ING. ÉDGAR MAYA

IBARRA – ECUADOR 2016

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN NODO-B DE TECNOLOGÍA (3.5G) EN LA PARROQUIA “LA MERCED DE BUENOS AIRES”, DEL CANTÓN “SAN MIGUEL DE URUCUQUÍ”, PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (C.N.T. EP)

Víctor H. Pozo, Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Ibarra-Ecuador

Resumen— El presente proyecto consiste en el estudio de factibilidad de un Nodo-B de tecnología (3.5G) en la parroquia “La Merced de Buenos Aires”, del cantón “San Miguel de Urucuquí”, para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (C.N.T. EP), con la finalidad de proveer cobertura de telefonía móvil celular.

El Proyecto en si consta de tres partes, la introducción al Proyecto, donde se describe como será desarrollado el mismo, la segunda parte se refiere al estudio teórico de la tecnología HSDPA: funcionamiento arquitectura equipos y formas de implementar, y en la tercera parte consta todo lo referente al diseño de la estación base: recolección de información, todos los cálculos necesarios, pruebas del enlace punto a punto con la nueva estación base y el análisis económico del Proyecto.

ÍNDICE DE TÉRMINOS—HSDPA,

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los servicios de telecomunicaciones son indispensables para el desarrollo económico y social de las diferentes comunidades tanto urbanas como rurales, por lo que se planteó el estudio de factibilidad de un nodo-B de tecnología HSDPA, en la parroquia La Merced de Buenos Aires, del cantón San Miguel de Urucuquí de la provincia de Imbabura.

La tecnología HSDPA nace con el fin de satisfacer las exigencias de los usuarios en cuanto a servicios y aplicaciones, ya que de acuerdo al número de habitantes y su baja tasa de crecimiento es la apropiada para el uso de telefonía celular, tomando en cuenta que tiene total compatibilidad con tecnologías antecesoras y posteriores: 3G (UMTS) y 4G (LTE) respectivamente.

El presente proyecto se centró en el diseño de una estación base de tecnología HSDPA, realizando los cálculos necesarios para un enlace punto a punto entre la nueva estación y la estación Pablo Arenas, haciendo uso de dos software PathLoss y Radio Mobile que permitieron verificar la factibilidad del enlace para una posible implementación del proyecto.

Documento recibido el 18 de abril del 2016. Esta investigación se realizó como trabajo de grado previo para obtener el título profesional en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación (CIERCOM) de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

V. H. Pozo, egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, trabaja en la empresa

II. TECNOLOGÍA HSDPA (HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS)

HSDPA es la evolución de la tecnología celular 3G UMTS¹, usada en la mayoría de ciudades, proporcionando una mayor velocidad de bajada de datos, lo que hace que la mayoría de usuarios móviles utilicen la tecnología celular para diferentes actividades en internet como; el uso de correos electrónicos, aplicaciones de video llamada y un sin número de aplicaciones que se utilizan en la actualidad. Es compatible en su totalidad con WCDMA2 lo que hace que proveedores y usuarios de UMTS puedan hacer uso y dar soporte a todo lo referido de HSDPA. Una característica importante es que HSDPA es considerada como una etapa antes de la evolución a 4G que es la homologación de todas las redes en un futuro.

A. *Reseña histórica de la tecnología móvil*

En nuestro día a día siempre escuchamos que 3G o 4G pero en realidad ¿de qué se trata?, ¿dónde están las 2G o 1G? A continuación una breve historia de estas tecnologías que han evolucionado de forma transparente para los usuarios.

Primera Generación 1G

Fue introducida en los años 70, basada en un conjunto de celdas interconectadas, por lo que desde el inicio estos equipos fueron llamados celulares. Sus sistemas de transmisión fueron análogos y sus equipos móviles muy grandes y pesados en comparación con los actuales.

Segunda Generación 2G

Al inicio de los años 90' despliega la tecnología GSM³ y se introducen los nuevos celulares 2G. Esta nueva tecnología móvil ya utiliza un sistema de modulación digital la cual mejora notablemente la calidad de voz, pero los servicios que ofrece todavía son limitados.

NETLIFE, Av. Atagualpa y Nuñez de Vela Quito – Ecuador (Teléfono: 0994371201, email: vpozo@netlife.net.ec).

¹ UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

² WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de código de banda ancha).

³ GSM: Global System for Mobile communications (Sistema global para las comunicaciones móviles).

Tercera Generación 3G

Es el inicio de la internet móvil que por primera vez permitió a los usuarios el uso de aplicaciones de video, audio e imágenes, todo esto a partir de una mejora en la potencia de las antenas llegando a una tasa de transmisión de hasta 2Mbps, con esta tasa de transmisión se puede ver videos en tiempo real, de cierta forma limitados por la capacidad de la red a la que se conecta el equipo móvil.

Generación Intermedia 3.5G y 3.75G

Esta es una generación intermedia donde se obtiene la tecnología HSPA4, es el conjunto de dos tecnologías HSDPA (3.5G) y HSUPA5 (3.75G), se considera como el paso previo a tecnologías 4G. Ofrece tasas de hasta 42 Mbps en enlace de bajada y 22 Mbps en enlaces de subida, esto quiere decir que en HSPA se puede ejecutar cualquier tipo de aplicación y descargar archivos de gran tamaño en poco tiempo, por ejemplo un archivo de 20 MB en HSPA se puede descargar en tan solo 8 segundos, mientras que con UMTS, puede demorar hasta 30 minutos.

Cuarta Generación 4G

Es una tecnología de nueva generación basada solo en el protocolo IP como la convergencia de redes alámbricas e inalámbricas es decir es una red de redes, con la capacidad de transmitir a velocidades de acceso a 100Mbps en movimiento y de 1G en reposo sin perder la calidad del servicio en ningún instante. Todo esto con la mayor seguridad posible y a un costo relativamente bajo.

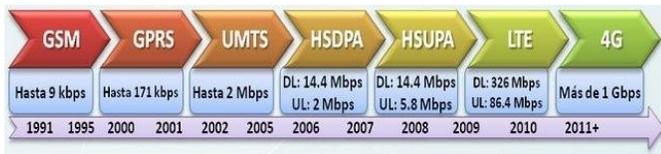


Figura 1: Línea de evolución de las tecnologías móviles

Fuente: LTE-Advanced, todo lo que necesitas saber sobre la auténtica Cuarta Generación de la Internet móvil. Publicado el 17 de septiembre de 2014. Recuperado el 22 de abril de 2015 de <http://www.xatakamovil.com/conectividad/lte-advanced-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-autentica-cuarta-generacion-de-la-internet-movil>

B. Elementos básicos de una red de telefonía móvil

Central de Conmutación Móvil (MSC)

La Central de Conmutación Móvil es donde se encuentra la parte cerebral de la red, esta contiene un sistema de conmutación celular y un procesador central. Una MSC puede conectarse a varias estaciones base (RBS). La Central de conmutación móvil se conecta por lo regular a la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).

4 **HSPA:** High Speed Packet Access

5 **HSUPA:** High-Speed Uplink Packet Access (Acceso

Estación Radio Base (RBS)

La estación base o también conocida como Nodo B, contiene los diferentes equipos de transmisión y recepción, alimentación de voltaje, antenas y sistemas de aire acondicionado. Un RBS se comunica únicamente con una sola Central de Conmutación Móvil, en fin se encarga de proveer las interfaces entre la estación móvil y el MSC.

Estación Móvil (MS)

Es el equipo móvil de usuario también se lo conoce como UE (Equipo de Usuario). Su función principal es encaminar las señales hacia el medio físico al momento de entablar una comunicación. Está compuesto por un transceptor, la unidad de control y una antena.

Interfaz de Aire

Es el enlace de radio entre el UE y el Nodo B para su comunicación simultánea.

Celda

La celda es el área geográfica de cobertura de una estación base, puede tener varias formas, en telefonía móvil se considera de forma hexagonal.

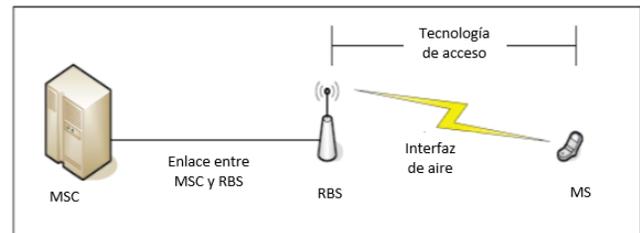


Figura 2: Elementos de una red de telefonía móvil

Fuente: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA PARA ACCESO A INTERNET, HSPA (HIGH SPEED PACKET ACCESS) Y WiMAX (802.16e-2005), Ortiz Diego, p. 20.

Editado por: Víctor Pozo

C. Arquitectura HSDPA

La principal característica de HSDPA, es retener el correcto funcionamiento de la versión 99, dividido entre capas y nodos lo más posible que se pueda. La minimización en los cambios de arquitectura es deseable, y simplifica la migración a HSDPA, en redes UMTS ya instaladas y también permite operaciones seguras en ambientes donde no todas las celdas han sido actualizadas a las funcionalidades de HSDPA (MORILLO, 2010, pág. 54).

En HSDPA se introduce una nueva sub-capa MAC en el nodo B denominada; MACHs, que es la responsable de la programación y el control de velocidad, también realiza operaciones del protocolo H-ARQ, para reducir el tiempo de retransmisión con respecto a la versión 99. Por lo que se

ascendente de paquetes a alta velocidad)

considera que no solo es necesario realizar mejoras en la RNC (Radio Network Control) sino que la parte principal donde afecta la inclusión de esta nueva tecnología es en el Nodo B o también denominado BTS (estación Base)

La arquitectura básica de la red HSDPA consiste en tres subsistemas:

- User Equipment (UE),
- Universal Terrestrial Radio Acces Network (UTRAN) y
- Core Network (CN)

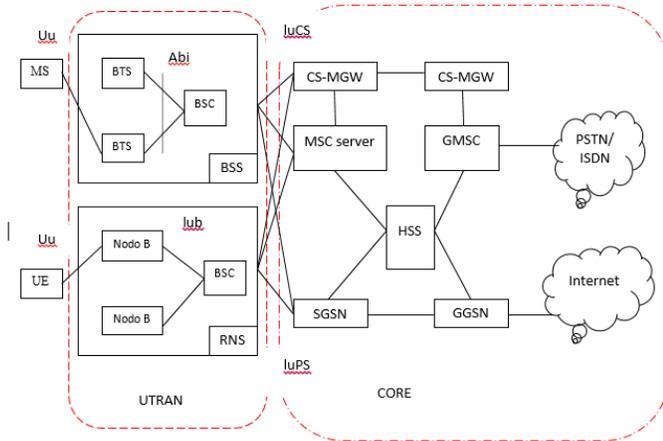


Figura 3: Arquitectura HSDPA

Fuente: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA PARA ACCESO A INTERNET, HSPA (HIGH SPEED PACKET ACCESS) Y WiMAX (802.16e-2005), Ortiz Diego. Editado por Víctor Pozo

D. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UN RADIO ENLACE PUNTO A PUNTO MAT

FACTOR DE CURVATURA DE LA TIERRA (FACTOR K)

Para entender acerca del factor de curvatura de la tierra se considera dos trayectorias curvas, una que se relaciona con la curvatura de la tierra y la segunda a la estratificación de la tropósfera. Si se entiende que la temperatura y la humedad que existe sobre la atmósfera, bajan sus valores en proporción a la altura sobre el nivel del mar, afecta a la reflexión de las ondas electromagnéticas en un gran porcentaje, por lo que el patrón de propagación se refracta en la atmósfera.

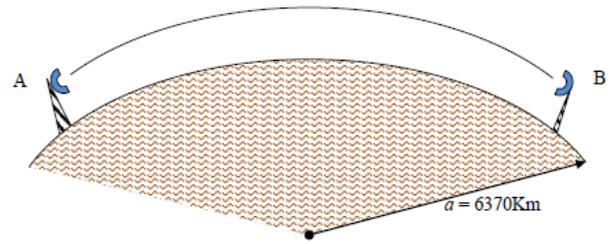


Figura 5: Patrón de propagación terrestre

Fuente: (LAZCANO, 2009)

El valor de K en condiciones atmosféricas normales, puede variar de acuerdo a la región. Si se consideran regiones elevadas y secas la variación viene desde 1,2 hasta 2 o 3 en regiones costeras húmedas.

Cuando K tiende a un valor infinito, representa que la tierra es perfectamente plana, debido a que su curvatura es igual a la de la tierra.

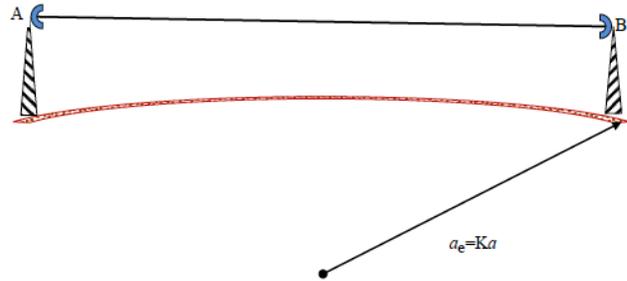


Figura 4: Factor de corrección del radio de la tierra. Para que la propagación sea rectilínea

Fuente: (LAZCANO, 2009)

Otro caso tenemos para la forma opuesta de curvatura de la tierra, esto se produce cuando el valor K disminuye a menos de 1. Este efecto produce anomalías de propagación, por lo que el trayecto podría quedar obstruido y sería muy vulnerable a los desvanecimientos provocados por el efecto de trayectos múltiples.

En la tabla 1 se puede ver cómo el factor K varía de acuerdo a la región que pertenece.

Tabla 1: Variaciones del factor K de acuerdo a la región

TIPO DE REGIÓN	FACTOR K
En zonas polares	6/5 o 4/3
En zonas templadas	4/3
En zonas tropicales	4/3 o 3/2
En México	4/3

Elaborado por: Víctor Pozo

Fuente: (LAZCANO, 2009)

El valor del radio de la tierra también se afecta en relación al factor de curvatura. A continuación se detallan los nuevos valores del radio de la tierra en la tabla 2.

Tabla 2: Variación del radio de la tierra para el factor K

FACTOR K	NUEVO RADIO DE LA TIERRA en Km
2/3	4246
1	6370
6/5	7644
4/3	8493
3/2	9555

Elaborado por: Víctor Pozo

Fuente: (LAZCANO, 2009)

TRAZO DE PERFIL DEL TERRENO

Antes de realizar las pruebas de propagación de un enlace punto a punto, es necesario trazar el perfil del terreno entre los dos sitios que se escogieron para el radioenlace, incluyendo todas las alturas de los puntos y de los obstáculos obtenidos de los mapas geográficos.



Figura 6: Ejemplo de perfil de terreno elaborado en el software PathLoss

Elaborado por: Víctor Pozo

LAS ZONAS DE FRESNEL

Se considera como zona de Fresnel al volumen que existe entre el espacio del transmisor y receptor de una onda electromagnética, de tal forma que el desfase entre las ondas no supere los 180°.

La fórmula de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$h_0 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{D}}$$

Donde:

h_0 = radio de la enésima zona de Fresnel en metros (n=1, 2, 3...).

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en metros.

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en metros.

λ = longitud de onda de la señal transmitida en metros.

D = distancia total del trayecto.

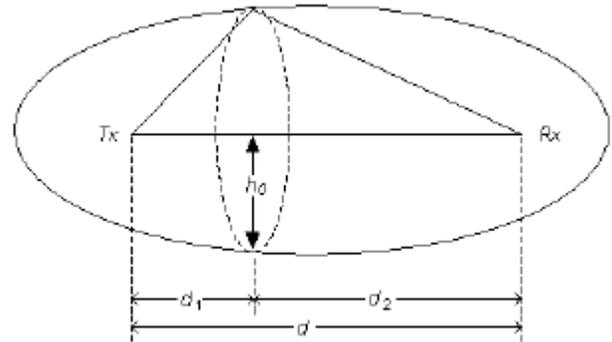


Figura 7: Elipsoide de Fresnel

Fuente: (LAZCANO, 2009)

MARGEN DE DESPEJE DEL OBSTÁCULO (h_c)

Otro aspecto a considerar al momento de realizar un radio enlace, es el lugar donde se encuentra el obstáculo y ver si es factible o no el enlace.

La ecuación que define el margen de despeje sobre un obstáculo es la siguiente:

$$h_c = h_1 - \frac{d_1}{D}(h_1 - h_2) - \frac{d_1 d_2}{2Ka} - h_s = [\text{metros}]$$

Donde:

h_1 = altura del transmisor

h_2 = altura del receptor

h_s = altura de un obstáculo

d_1 = distancia del trayecto al obstáculo (Km)

d_2 = es la distancia del trayecto al obstáculo (Km)

D = es la distancia total del trayecto (Km)

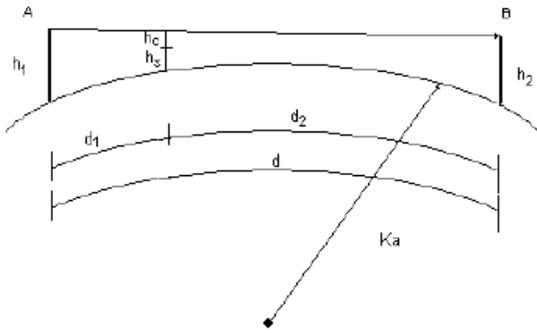


Figura 8: Margen de despeje h_c

Fuente: (LAZCANO, 2009)

ALTURA DE LA ANTENA

Luego de calcular la primera zona de Fresnel, es necesario proponer la altura de la antena en el primer sitio.

Con la altura del primer sitio propuesto, se procede al cálculo de la altura del segundo sitio, a través de la siguiente ecuación.

$$h_2 \geq \frac{D}{d_1}(h_0 + h_s) - \frac{d_2}{d_1}(h_1) + \frac{Dd_2}{2Ka} \quad (1)$$

= [metros]

- h_0 = radio de la primera zona de Fresnel
- h_1 = altura propuesta para el primer sitio
- d_1 = es la distancia del trayecto al obstáculo (Km)
- d_2 = es la distancia del trayecto al obstáculo (Km)
- D =es la distancia total del trayecto (Km)
- h_s = es la altura de obstáculo
- Ka = equivale a $(4/3) (6.37 \times 10^6 \text{m})$

PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE

Al momento de realizar un radioenlace es necesario saber que, las ondas electromagnéticas son afectadas por la Tierra y la atmósfera que rodea la onda. En el caso de un enlace punto a punto se debe tener en cuenta, la porción baja de la atmósfera no ionizada, que se encuentra debajo de los 20 Km (Tropósfera).

$$L = 32.46 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{Km})$$

Pérdidas de transmisión por difracción debido a la arista aguda

Se calcula mediante la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas de Tx por difracción (dB)} \\ = 16 + 20 \log\left(\frac{h_c}{h_0}\right) \end{aligned}$$

Conciderando que $\frac{h_c}{h_0} \geq 3$

GANANCIA DE LA ANTENA

En una antena directiva, la antena directiva se enfoca a una dirección específica más que en otras. La antena es un dispositivo pasivo, así que la potencia de salida total no puede ser mayor que la de entrada. Se considera que la antena tiene mayor ganancia en su dirección o direcciones de máxima radiación, cuando se compara con una fuente isotrópica (LAZCANO, 2009, pág. 40).

La ganancia de una antena parabólica se define como:

$$G = 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] = dB$$

Donde:

- D = diámetro de la antena en metros
- λ = longitud de onda en metros
- η = eficiencia de la antena

Potencia Isotrópica Efectiva Radiada (PIRE)

El PIRE se refiere a la cantidad de potencia que emitirá una antena isotrópica hacia el receptor. El PIRE tiene en cuenta la ganancia de la antena y las pérdidas en la línea de transmisión, se expresa en decibelios.

Está definido por la siguiente expresión:

$$PIRE = P_{Tx} - L_c + G_a$$

Donde:

- P_{Tx} = potencia de transmisión
- L_c = pérdidas en la línea de transmisión
- G_a = ganancia de la antena

Ángulo Azimut

El ángulo de azimut, es el ángulo que se mide desde el norte en sentido de las manecillas del reloj. Su valor varía desde 0° hasta 360°, por lo que se puede ubicar en los cuatro cuadrantes, que se definen desde el norte hacia la derecha.

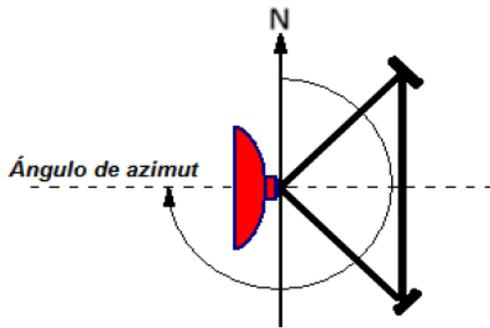


Figura 9: Ángulo azimut 270 grados

Fuente: (LAZCANO, 2009)

Margen de Desvanecimiento Térmico (TFM)

Para el cálculo del margen de desvanecimiento, se utiliza todos los valores de pérdidas entre la señal enviada (NRSD) y el umbral de recepción del equipo de radio (T), esto indica el nivel de potencia que se reduce en el receptor, considerando un límite de tasa de error requerido. Se expresa con la siguiente fórmula:

$$\text{TFM} = \text{NRSD} - T$$

Hidrometeoros

Los hidrometeoros son meteoros formados por pequeñas partículas acuosas, líquidas y sólidas suspendidos en la atmósfera y que dificultan notablemente la visión. Entre los principales se encuentran; la lluvia, la nieve, el granizo, escarcha y niebla.

RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (S/N)

La relación señal a ruido se define como; la relación que existe entre la potencia de la señal deseada con la potencia del ruido en un punto específico para ciertas condiciones específicas.

Relación de la potencia de la señal deseada a la potencia de ruido en un punto específico y para unas condiciones específicas en un punto dado.

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log \frac{P_s}{P_N} \quad (2)$$

Donde:

 P_s = potencia de la señal. P_N = potencia del ruido**2.1 MODELO DE PROPAGACIÓN OKUMURA-HATA**

Es un modelo de propagación para sistemas de comunicación móvil, donde se presentan pérdidas adicionales por obstáculos terrestres. Es basado en el concepto de expansión de frente de onda esférica, por lo que la señal se radia desde una fuente puntual en el espacio.

Está dada por la siguiente fórmula:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d \quad (25)$$

Donde:

 L_b : Pérdida del enlace

f: frecuencia entre 1500 y 2000 MHz

 h_t : Altura de la estación base h_m : Altura del teléfono receptor

d: Distancia del enlace

III. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL DISEÑO DE LA ESTACIÓN BUENOS AIRES DE TECNOLOGÍA 3.5G (HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS)

La parroquia La Merced de Buenos Aires, se encuentra ubicada en el cantón San Miguel de Urucuquí al noroccidente de la ciudad de Ibarra, a 120 km, por la ruta Ibarra-San Lorenzo. Tiene 1.893 habitantes representando el 12,65% de la población según los datos estadísticos del censo realizado en el año 2010 por parte del INEC, con una superficie de 766.083 km². Su topografía se encuentra entre los 800 a 4400 msnm, y cuenta con una variedad de climas que varían desde templado subtropical hasta el frío de los páramos.



Figura 10: Mapa de la Parroquia La Merced de Buenos Aires

Fuente: Gobierno Municipal de Urucuquí. Recuperado al 22 de mayo de 2015 de:

<http://www.municipiourcuqui.gob.ec/munurcuqui/index.php/2014-08-15-16-40-26/ubicacion-geografica>.

Editado por: Víctor Pozo

A. CÁLCULO DEL ENLACE DE MICROONDAS ENTRE LA ESTACIÓN BASE PABLO ARENAS Y LA REPETIDORA BUENOS AIRES

Cálculos a realizar

Los cálculos a realizar por los dos tramos del enlace, son los siguientes.

1. Trazo del perfil
2. Radio de la primera zona de Fresnel
3. Altura de las antenas
4. Atenuación de obstáculo
5. Pérdidas en el espacio libre
6. Pérdidas en líneas de transmisión y conectores
7. Cálculo de la potencia de recepción
8. Disponibilidad del sistema
9. Margen de desvanecimiento
10. Voltaje recibido
11. Ángulo de elevación
12. Azimut
13. Cálculo de la Potencia Isotrópicamente Radiada Equivalente

A continuación se tiene una tabla con el resumen de los cálculos realizados.

Tabla3: Resumen de datos del enlace Pablo Arenas Buenos Aires

Variables	Pablo Arenas-Quillopamba	Quillopamba-Buenos Aires
Frecuencia de operación	fTx= 14500 MHz fRx=14528 MHz	fTx= 15000 MHz fRx=15028 MHz
Radio de la primera zona de Fresnel	$h_0 = 3,088$ m	$h_0 = 4,564$ m
Altura de las antenas	$h_1 = 2354,3$ msnm $h_2 = 3868$ msnm.	$h_1 = 3838$ msnm $h_2 = 2629$ msnm.
Atenuación de obstáculo	$L_D(v) = -0,25$ dB	$L_D(v) = -0,25$ dB
Pérdidas en el espacio libre	$L = 316,42$ dB	$L = 315,04$ dB
Pérdidas en líneas de transmisión y conectores	$L_{lTx} = 5,5$ dB	$L_{lTx} = 2,5$ dB
Potencia de recepción	Pr=-125,67 dBm	Pr=-122,15 dBm

Disponibilidad del sistema	528 minutos al año	528 minutos al año
Margen de desvanecimiento	$MD = -33,22$ dB	$MD = -35,73$ dB
Voltaje recibido	$V_{Rx} = 0,053$ v	$V_{Rx} = 0,054$ v
Ángulo de elevación	$\alpha = 7,98^\circ$	$\alpha = 7,63^\circ$
Azimut	Pablo Arenas= 302,64° Quillopamba= 122,64°	Quillopamba= 336,60° Buenos Aires= 156,60°
Cálculo de la Potencia Isotrópicamente Radiada Equivalente	$PIRE = 105,5$ dBm	$PIRE = 108,5$ dBm

Elaborado por: Víctor Pozo

B. EQUIPOS Y ACCESORIOS A UTILIZAR EN EL ENLACE PABLO ARENAS BUENOS AIRES.

Para describir los equipos a utilizar, primero realizamos un diagrama de cómo están distribuidos los equipos.

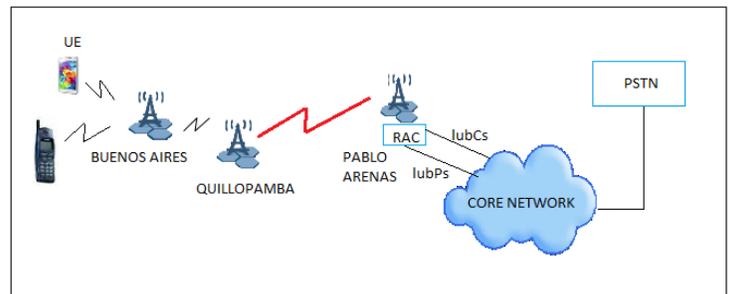


Figura 11: Diagrama de distribución de equipos

Elaborado por: Víctor Pozo

DETERMINACIÓN DE EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE

En una estación base, se tiene los siguientes elementos necesarios para su funcionamiento:

1. Tablero de energía.
2. Puesta a tierra.
3. Equipos de Radio Base para exterior o interior.
4. Antena microondas.
5. Torre celular autosoportada.
6. Antenas sectoriales.

a) *Tablero de energía*

El tablero de energía, suministra energía de 220V en corriente alterna a todos los equipos de la BTS. También tiene la función de iluminación de la BTS y provee la Luz de balizaje que se ubica en la parte más alta de la torre.



Figura 11: Tablero de energía

Fuente: El Blog de las Comunicaciones Móviles

. Recuperado el 07 de diciembre del 2015 de <http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.com/2011/07/estacion-base-celular-ebc.html>

b) *Elemento de puesta a tierra*

De acuerdo a las recomendaciones de la ITU-T K27 (Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra dentro de los edificios de telecomunicaciones) y de la IUT-T K56 (Protección de las estaciones de base radioeléctricas contra el rayo), especifican que el tipo de puesta a tierra a utilizarse en una estación base es el de electrodo de múltiple varillas (ver figura 56).

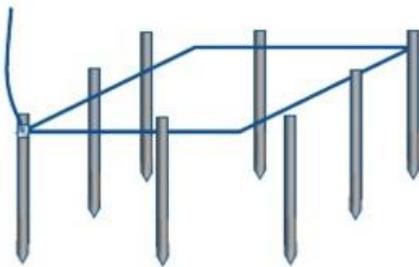


Figura 12: Electrodo de múltiple varillas

Fuente:

<http://image.slidesharecdn.com/presentaciondemedicionderesi-stenciadetierra-120503120437-phpapp01/95/medicion-de-resistencia-de-tierra-3-728.jpg?cb=1336046803>

c) *Equipos de radio base*

Los equipos de radio base son el elemento más importante de una BTS, en estos equipos es donde se generan las señales de radio frecuencia que recorren por los feeders y se transmiten por las antenas hacia el espacio.

Los equipos de radio base tienen un banco de baterías, en caso de ausencia o falla de energía eléctrica pueden suministrar una alimentación de dos a seis horas.

De acuerdo a su ubicación se clasifican en equipos de Indoor u Outdoor, cuando los equipos se instalan dentro de una sala o cuando los equipos se instalan en la parte externa.



Figura 13: Equipos de radio base

Fuente: (UTRERAS, 2014, pág. 94)

d) *Antena microondas*

Es el medio de transmisión que se usa para el enlace entre las BTS con línea de vista, transmiten voz y datos a través de radiofrecuencia con longitudes de onda. En la figura 59, se muestra un ejemplo de una antena microonda.



Figura 1: Antena microondas

Recuperado el 07 de diciembre del 2015 de <https://www.google.com.ec/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjYvd7Thc>

vJAhVMXh4KHXFVBuIQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.ensenadamexico.net%2Fhector%2Fit%2Freporte_antenas.php&psig=AFQjCNG5_EH66wMOR_mKu5imhyD0EiiI4w&ust=1449622066095086

e) *Torre celular*

La cobertura celular depende de la altura de la torre, ya que esta nos permite obtener una línea de vista del enlace microondas. En la figura 60, se muestra un ejemplo de torre celular de forma triangular.



Figura14: Torre celular autosoportada

Recuperado el 07 de diciembre del 2015 de http://4.bp.blogspot.com/_oC8EeeKX9Cg/TMxRDdoX63I/AAAAAAAAA4/TUxX4GQEXGE/s1600/Imagen9.jpg

f) *Antenas sectoriales*

Las antenas sectoriales son las que irradian la energía proveniente del BBU. Son de tipo panel de forma alargada, y como su nombre lo indica el tipo de radiación es de tipo sectorial.

Existen antenas de única banda (Single Band) y de doble banda (Dual Band). En ambos casos para obtener una mejor calidad de señal usan un método de diversidad de espacio, debido a que en su estructura interna están compuestas de un arreglo de dipolos.



Figura15: Antenas sectoriales

Recuperado el 07 de diciembre del 2015 de <http://www.mibqvyo.com/articulos/wp-content/uploads/sites/4/2014/06/Array-Ubiquiti.jpg>

C. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico es necesario estimar el presupuesto de implementación de una estación base como los equipos de transmisión microondas para el enlace. Para esto se cuenta con las ofertas de contratación en el mercado ecuatoriano.

Tabla 4: Costos de equipos ofrecidos por Huawei y por el portal de compras públicas.

EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO TOTAL (USD)
Estación Base	Huawei	DBS 3900	145181,00
Humper BSC	Huawei	Huper BSC6680	50104,00
Rack de WM	Huawei	APM200	2619,62
Terminales del suscriptor	Huawei	indoor / outdoor BM632	348,14
Mantenimiento Preventivo			0
Equipamiento de energía DC			
Rectificadores	EMERSON	PS48600	6646,15
Banco de baterías	COSLIGH T	6GFMZ	2688,64
Repuestos			20219,07

Licenciamientos			481000,0
Para Gabinetes			18902,70
Expansiones			9250,00
Sistema de Gestión	Huawei	M200 Y AP Manager	271797,91
Software de Planeación	Huawei		50000,00
Controlador de estaciones	Huawei	WASN9770	181863,66
Otros	Servidor AAA		190249,00
	Servidor DNS y DHCP		64.472,00
Subtotal			1495341,89
Inprevistos 10%			149534,189
TOTAL			1644876,08

Fuente:

Reporte_Total_de_Procesos_2014_Transparencia_final.

Recuperado de:

https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=Z-RSVHFqrfBQ7bQQ4nnSvQONcaPU4_8UxrbuwzIE8FA

Los costos totales de implementación se obtienen de la unión de los costos de equipos y los costos de ingeniería.

En la tabla 40, se realiza un resumen de los costos de equipos y de ingeniería.

Tabla 5: Costos de Implementación

DESCRIPCIÓN	COSTOS
Costos de equipos	40420,00
Costos de ingeniería	1644876,08
TOTAL	1685296,08

Fuente: Víctor Pozo

Flujo de caja

Para obtener el flujo de caja nos basamos en los planes tarifarios de telefonía y datos que tiene CNT EP.

En la tabla, se muestra el plan de referencia a utilizar para la realización del flujo de caja en los próximos 10 años.

Tabla 6: Planes de referencia para flujo de caja.

PLAN	COSTO MENSUAL (USD)	COSTO ANUAL (USD)
2000 MB	25,75	309

Fuente:

https://www.cnt.gob.ec/movil/plan/planes_datos_voz_lte/

De acuerdo a las encuesta se obtuvo un número de 1048 posibles cliente de telefonía e internet móvil, este es nuestro punto de partida para realizar los indicadores de rentabilidad del proyecto, teniendo en cuenta un crecimiento del 2% al año según el cálculo de la demanda futura.

Tabla 7: Flujo de caja a 10 años

NÚMERO DE AÑOS	USUARIOS	INGRESO MENSUAL (USD)	INGRESO ANUAL (USD)	SUMA
1	1048	26986	323832	323832
2	1069	27526,75	330321	654153
3	1090	28067,5	336810	990963
4	1111	28608.25	343299	1334262
5	1133	29174,75	350097	1684359
6	1155	29741.25	356895	2041254
7	1178	30333.5	364002	2405256
8	1201	30925.75	371109	2776365
9	1225	31543.75	378525	3154890
10	1249	32161.75	385941	3540831

Fuente: Víctor Pozo

INDICADORES DE RENTABILIDAD

CNT EP. Al ser una empresa pública factura a sus usuarios, por lo que es necesario realizar un análisis de rentabilidad con fines de lucro. Para esto se utiliza los siguientes indicadores:

Valor actual neto (VAN)

Tasa interna de retorno (TIR)

Relación beneficio costo (B/C)

Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Valor actual neto (VAN)

El proyecto es rentable = VAN positivo, cuando se tiene un VAN igual a cero es indiferente aceptar o no el proyecto.

Pero si el VAN es menor a cero el proyecto no es viable.

Se define por la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^m \frac{F_n}{(1-i)^n}$$

Donde:

I0= Inversión Inicial

Fn= Flujos Netos

m= Número de períodos considerados

i= Tasa de interés (9,33% vigente en el mercado)

Reemplazando tenemos:

$$VAN = -1685296 + \frac{323832}{(1-0,0933)^1} + \frac{330321}{(1-0,0933)^2} + \frac{336810}{(1-0,0933)^3} + \frac{343299}{(1-0,0933)^4} + \frac{350097}{(1-0,0933)^5} + \frac{356895}{(1-0,0933)^6} + \frac{364002}{(1-0,0933)^7} + \frac{371109}{(1-0,0933)^8} + \frac{378525}{(1-0,0933)^9} + \frac{385941}{(1-0,0933)^{10}}$$

VAN=4723762,244

El valor del VAN es superior a cero, por lo tanto el proyecto es rentable.

Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno, se refiere a la tasa de rendimiento utilizada en el presupuesto de capital para medir la rentabilidad de las inversiones y si este valor es mayor que la tasa de interés el proyecto es viable.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^m \frac{F_n}{(1-TIR)^n}$$

Donde:

I0= Inversión Inicial

Fn= Flujos Netos

m= Número de períodos totales

r= Tasa interna de retorno

Reemplazando:

$$0 = -1685296 + \frac{323832}{(1-TIR)^1} + \frac{330321}{(1-TIR)^2} + \frac{336810}{(1-TIR)^3} + \frac{343299}{(1-TIR)^4} + \frac{350097}{(1-TIR)^5} + \frac{356895}{(1-TIR)^6} + \frac{364002}{(1-TIR)^7} + \frac{371109}{(1-TIR)^8} + \frac{378525}{(1-TIR)^9} + \frac{385941}{(1-TIR)^{10}}$$

TIR= 15,83%

El valor del TIR es superior a la tasa de interés en el mercado que es de 9,33%, por lo que el proyecto es viable.

Relación beneficio costo (B/C)

Este valor nos permite determinar la rentabilidad del proyecto en términos generales. El resultado expresa el dinero ganado en cada dólar que se invierte en el proyecto.

Lo define la siguiente fórmula:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_1^n VAN_n}{I_0}$$

Donde:

VAN= Valor actual neto

n= Duración del proyecto en años

I0= Inversión Inicial

Reemplazando:

$$\frac{B}{C} = \frac{4723762,244}{1685296} = 2,8 \text{ usd}$$

La relación costo beneficio da un valor de 2,8, lo que quiere decir que por cada dólar invertido se obtiene 2,8 dólares de ganancia a 10 años.

Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Este período indica el tiempo necesario para recuperar el capital invertido.

Entre más corto sea el período más viable es el proyecto.

Una forma de calcular el PRI es ir acumulando los flujos netos hasta llegar a cubrir la inversión.

Tabla 8: Flujos netos hasta cubrir la inversión

NÚMERO DE AÑOS	FLUJOS NETOS (USD)	LUJOS NETOS ACUMULADOS
1	323832	323832
2	330321	654153
3	336810	990963
4	343299	1334262
5	350097	1684359

6	356895	2041254
7	364002	2405256
8	371109	2776365
9	378525	3154890
10	385941	3540831

Fuente: Víctor Pozo

Haciendo una comparativa entre el valor inicial de inversión de 1685296,08 y el flujo neto acumulado en el quinto año de 1684359, son valores casi iguales, por lo que se considera que el periodo de recuperación de la información se encuentra entre el quinto y sexto año.

IV. CONCLUSIONES

- La introducción del presente proyecto permite cubrir las expectativas y requerimientos de los usuarios, con respecto a los servicios de telecomunicaciones tanto voz y datos con un ancho de banda adecuado para estas necesidades.
- Se determinó que el mejor lugar para la ubicación de la nueva estación base es la loma de Quillopamba, puesto que tiene una línea de vista sin obstáculos con la estación Pablo Arenas, con una zona de Fresnel de 3 metros y potencia de recepción de 23,4 dB, que permite acceder a la red de acceso de CNT EP y a su vez con la zona poblada de la parroquia la Merced de Buenos Aires, donde se propone una repetidora de señal.
- Se propuso utilizar la estación base DBS 3900, debido a que la CNT EP tiene un contrato homologado con la empresa Huawei, y también por sus características de compatibilidad con tecnologías anteriores como UMTS y posteriores como LTE, lo cual es un aspecto muy importante a la hora ofrecer un servicio de mayor eficacia.
- En base a la ITU-R, se escogió la banda de frecuencia de 14,4-15,35 GHz, la cual permitió obtener los datos descritos en la tabla 32, que apoyados con los parámetros técnicos de los equipos, se determinó la factibilidad del enlace punto a punto desde la estación Pablo Arenas hasta la repetidora Buenos Aires

mediante la simulación en el software Radio Mobile.

- No existe rentabilidad a corto plazo, debido a que el crecimiento en la parroquia es apenas del 2%, por lo que se hace un flujo de caja para diez años (ver tabla 43) y se determinó que la inversión inicial se recupera entre el quinto y sexto año.
- De acuerdo al análisis económico del proyecto se recomienda la implementación del mismo puesto que los indicadores de rentabilidad demuestran su factibilidad y así cumplir con uno de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al momento de realizar el diseño de un radio enlace, se toma en cuenta la mejor ruta y equipos compatibles con tecnologías anteriores y posteriores que permitan cubrir las características necesarias para el óptimo funcionamiento del enlace.
- Con lo referente a la captación de información, se recomienda elaborar encuestas fáciles de entender y que no sean demasiado largas, con el objetivo de tener una mejor interpretación de datos.
- Al momento de la instalación de las antenas se recomienda la correcta configuración de parámetros físicos (TIL eléctrico y TIL mecánico), por lo que de esto depende el área de cobertura de la red.
- Al momento de determinar la frecuencia de trabajo para los diferentes tramos del enlace se debe considerar la distancia entre puntos y que se adapte al Plan Nacional de Frecuencias emitido por el ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones).

VI. REFERENCIAS

- 2014-2019, G. M. (2014). Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial San Miguel De Urucuí. Urucuí.
- Almeida, L. G. (2013). Estudio De Factibilidad Para La Creación De Una Pequeña Empresa De Acopio Y Comercialización De Frutas Producidas En La

- Parroquia La Merced De Buenos Aires Del Cantón Urcuquí. Ibarra.
- DÍAZ, A. D. (2010). Análisis del desempeño de arreglos de antenas en el sistema de comunicaciones móviles UMTS. México.
 - IZURIETA, J. E. (2010). Análisis De La Tecnología Cdma – 450 Y Su Aplicación En La Propuesta De Diseño De Una Bts En Santa Rosa De Izitziñag Y Sus Alrededores Para Cnt S.A (Chimborazo). Riobamba.
 - Lazcano, K. G. (2009). Calculo Y Simulación Para Enlaces De Microondas Punto A Punto. México.
 - Miranda, J. L. (2002). Ingeniería de Microondas Técnicas Experimentales. Madrid: Person educación, S.A.
 - Morillo, D. F. (2010). Análisis Comparativo De Las Tecnologías. En D. F. Morillo, Análisis Comparativo De Las Tecnologías (Pág. 202). Quito.
 - Muñoz, F. J. (s.f.). Ingeniero. En F. J. Muñoz, Sistema HSDPA – Banda Ancha Móvil (pág. 25). Universidad de Sevilla.
 - Natalí, R. A. (2009). Planeación Y Diseño De Una Red Celular 3g Utran Para. Riobamba.
 - Utreras, J. A. (2014). Plan De Negocios De Un Sistema Inalámbrico Cdma 450 En La. Ibarra.
 - Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT), recuperado de:
<http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit162/56-60.pdf><http://www.gsmSpain.com/glosario/?palabra=HSDPA#>.
 - 3G UMTS HSDPA - High Speed Downlink Packet Access Tutorial, recuperado de:
<http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/3g-hspa/hsdpa-high-speed-downlink-packet-access.php>.
 - Ramos, La Evolución De La Tecnología Móvil: 1G, 2G, 3G, 4G. publicado el 29 julio, 2014, recuperado de:
<http://blog.masmovil.es/la-evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>.
 - Valverde Gustavo, Evolución de la Tecnología Móvil: 1G, 2G, 3G, 4G, publicado el 7 mayo, 2011 11:26, recuperado de:
<http://linkea.do/evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>.
 - Dhruv Singh Thakur, Krishnakant Nayak, Rohini Pipelewar, Evolution of High Speed Download Packet Access (HSDPA) Networks, publicado el 11 de noviembre del 2013, recuperado de:
<http://www.ijert.org/view-pdf/6413/evolution-of-high-speed-download-packet-access-hsdpa-networks>.
 - Sistemas de Modulación, publicado el 21 de diciembre del 2009, recuperado de:
<http://www.analfatecnicos.net/archivos/15.SistemasModulacionWikipedia.pdf>.
 - Unidad Base Band, recuperado de:
<http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=https://www.fairchildsemi.com/applications/telecommunication/base-band-unit/&prev=search>.
 - Unidad de banda base (BBU), recuperado de:
<http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.exfo.com/glossary/baseband-unit&prev=search>.
 - Zapata Alberto, Tutorial básico de Pathloss, publicado el 28 de julio del 2012, recuperado de:
<http://blogcomunicacionesmoviles.blogspot.com/2012/07/tutorial-basico-de-pathloss.html>.
 - Polarization of Plane Waves, publicado el 2009-2015, recuperado de:
<http://www.antenna-theory.com/basics/polarization.php>.
 - Ubicación Geográfica Del Cantón Urcuquí, publicado el 13 de agosto del 2015, recuperado de:
<http://www.municipiourcuqui.gob.ec/munurcuqui/index.php/2014-08-15-16-40-26/ubicacion-geografica>.
 - Información Censal Cantonal, recuperado de:
http://www.inec.gob.ec/cpv/index.php?option=com_content&view=article&id=232&Itemid=128&lang=es.

- Pathloss 5 - Where to begin, publicado el 31 de octubre del 2012, recuperado de:
http://www.pathloss.com/pwiki/index.php?title=Pathloss_5_-_Where_to_begin.
- Diseño de redes inalámbricas con Radio Mobile (III), publicado el 8 de diciembre del 2008, recuperado de:
<http://nidea-soluciones.blogspot.com/2008/12/diseo-de-redes-inalmbricas-con-radio.html>.
- Luis Escobar, Adrián Escalona, Héctor Herazo, Frank Madera, PROPAGACIÓN DE ONDAS, publicado el 12 de noviembre del 2012, recuperado de:
<http://propagaciondeondascom1.blogspot.com/2012/11/margen-de-desvanecimiento.html>.
- Propagación en Comunicaciones Móviles, recuperado de:
<http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles/contenidos/capitulo-3.-propagacion-en-comunicaciones-moviles-1>
- Juan Ignacio Morales, recuperado de:
https://www.academia.edu/5051509/C%C3%A1lculo_de_Radio_Enlace_en_la_banda_GSM-850_utilizando_Modelo_de_Propagaci%C3%B3n_Okumura-Hata.
- Montaje de un enlace wireless de larga distancia, publicado el 25 de septiembre del 2008, recuperado de:
http://www.inforactiva.net/index.php?option=com_content&view=article&id=184:montaje-de-un-enlace-wireless-de-larga-distancia&catid=35:redes.
- Enciclopedia Financiera, recuperado de:
<http://www.encyclopediafinanciera.com/finanzas-corporativas/tasa-interna-de-retorno.htm>.



Víctor Hugo Pozo Andrade, nació en Mira provincia de Imbabura el 19 de Agosto de 1988. Realizó sus estudios primarios en la escuela Jose Tobar Tobar de la ciudad de Ibarra. Obtuvo el título de bachiller físico matemático en el colegio Teodoro Gómez de la Torre. Actualmente es egresado de la Carrera de

Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, trabaja en NETLIFE Quito-Ecuador