

Diseño y simulación de una red WiMAX para el campus de la Escuela Politécnica del Ejército

Tatiana Apolo, Edwin Amaguaña, Román Lara y Gonzalo Olmedo

Resumen— En este artículo se realiza el diseño de una red con tecnología WiMAX bajo el estándar IEEE802.16-2004, a partir de un estudio topográfico del campus de la Escuela Politécnica del Ejército y la simulación de la red. Se determina el área de cobertura y el tráfico generado en distintos escenarios de propagación de la señal.

Palabras clave— WiMAX, IEEE 802.16-2004, SUI, FreeSpace, Shadowing, SIRENET, NETWORK SIMULATOR.

I. INTRODUCCIÓN

DEBIDO al desarrollo que han alcanzado las nuevas tecnologías, han traído consigo la evolución de las comunicaciones inalámbricas, las mismas que han demostrado ser una solución eficaz en aquellos lugares en donde el cable es inaccesible o muy costoso.

En los últimos años se han planteado diferentes expectativas en torno al acceso de banda ancha de última milla. El cableado representa altos costos de instalación especialmente en áreas rurales o geográficamente inaccesibles. Dichas limitaciones tecnológicas y topográficas, unidas a la rápida adopción del acceso a Internet por parte del usuario, promovieron el desarrollo del estándar inalámbrico WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) para llegar a un mayor número de usuarios y que proporcione la introducción de nuevos y mejores servicios de telecomunicaciones [1].

En el proyecto se emplearon Sirenet[2] y Network Simulator-2 [3]. En la sección II, se describe la Tecnología WiMAX; la sección III, los Modelos de Propagación; la sección IV, se presenta un Estudio Topográfico del Campus de la ESPE; la sección V, Diseño de la Red WiMAX; la sección VI, Simulación y Análisis de Cobertura; finalizando con conclusiones del artículo en la sección VII.

II. TECNOLOGÍA WiMAX

WiMAX permite el acceso de banda ancha sin cables en última milla, como alternativa al cable y a otras tecnologías inalámbricas como el Wi-Fi. Esta tecnología permite la conectividad entre puntos fijos, móviles y

portátiles, y la conectividad móvil de banda ancha sin necesidad de tener línea de vista con la estación base.

La tecnología inalámbrica 802.16-2004 ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana, utiliza las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia, y las de 2,4 GHz y 5,450-5,825 GHz que son bandas libres.

El tipo de modulación empleado para el protocolo IEEE 802.16 constituye la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). La modulación OFDM posee muchas ventajas frente a otras modulaciones. La forma de onda WiMAX OFDM permite la operación en entornos con un gran retardo de dispersión que caracteriza a los ambientes NLOS. Debido a los símbolos de tiempo OFDM y al uso de los prefijos cíclicos, la onda OFDM elimina problemas de interferencia intersimbólica (ISI), superar la dispersión de retardo y el efecto multi-camino de forma eficaz, lo cual permite tener mayores tasas de transferencias.

Una de las ventajas que proporciona WiMAX constituye su alta tasa de transferencia ya que teóricamente es de 70 Mbps y real 40 Mbps, a distancias de hasta 50 kilómetros de una estación base en ambientes sin obstrucciones, con línea de vista o planos.

III. MODELOS DE PROPAGACIÓN

A fin de determinar el comportamiento de la red, para la simulación fueron definidos tres modelos de propagación, presentados a continuación:

A. Modelo SUI

El modelo SUI (*Stanford University Interim Models*), es una extensión del modelo de canal desarrollado por AT&T[4], es recomendado por el estándar IEEE 802.16 para la estimación de cobertura en sistemas WiMAX.

Para calcular las pérdidas que se producen en el nivel de la señal debido a la propagación en un ambiente determinado se tiene la siguiente expresión:

$$P_L = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s \quad (1)$$

donde P_L representa las pérdidas en dB del nivel de la señal, A es una cantidad fija que representa la interferencia producida por la pérdida en *FreeSpace* y está dada por:

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \quad (2)$$

Tatiana Apolo, Edwin Amaguaña, Román Lara y Gonzalo Olmedo, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Departamento de Electrónica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, Sangolquí, Ecuador, E-mails: ralara@espe.edu.ec, gfolmedo@espe.edu.ec.

donde $\lambda = \frac{c}{f}$ es longitud de onda, c representa la

velocidad de la luz, la frecuencia f está dada en Hz, y d_0 es una distancia de referencia escogida entre 100 y 1000 m.

En (1) γ es el coeficiente de pérdida de trayectoria que es la variable aleatoria Gaussiana que representa la cantidad de macro-celdas dentro de una categoría de terreno, dada por:

$$\gamma = \left(a - bh_b + \frac{c}{h_b} \right), \quad (3)$$

donde h_b representa la altura de la antena de estación base, cuyo rango se encuentra entre $10 \text{ m} < h_b < 80 \text{ m}$. a, b y c que son constantes que dependen del tipo de terreno y se presentan en la tabla I.

TABLA I
PARÁMETROS DEL MODELO DE PROPAGACIÓN SUI

PARÁMETRO DEL MODELO	CATEGORÍA DE TERRENO		
	A (Colinas pequeñas / Moderada a alta densidad de árboles)	B (Ligera densidad de árboles o llano / Moderada densidad de árboles)	C (Plano / Ligera densidad de árboles)
a (adimensional)	4,6	4,0	3,6
b (en m^{-1})	0,0075	0,0065	0,0050
c (en m)	12,6	17,1	20,0

B. Modelo de Propagación en espacio libre (FreeSpace)

El modelo *Free Space* básicamente representa el rango de comunicación como un círculo de radio d , alrededor del transmisor. Si un receptor se encuentra dentro del círculo, éste recibe todos los paquetes, de otra forma éste pierde todos los paquetes [3].

En condiciones de propagación el espacio libre la relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia des:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}, \quad (4)$$

donde P_t es la potencia de la señal de transmisión G_t y G_r son las ganancias de las antenas receptoras y respectivamente. L es la pérdida aleatoria del sistema donde ($L \geq 1$).

El modelo de propagación en espacio libre representa un modelo ideal relacionado con las condiciones de propagación en el vacío, por lo que en un entorno terrestre no es muy aplicado, debido a que la curvatura de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran las condiciones de propagación para enlaces reales; sin embargo resulta muy adecuado para conocer las características mínimas requeridas por los equipos para realizar los enlaces.

C. Modelo de Propagación Shadowing

Los resultados que se obtienen con el modelo *Shadowing*, se acerca más a la realidad ya que simula tanto los desvanecimientos provocados por obstáculos así como la propagación multi-camino que se tienen en recepción, logrando de esta manera resultados más fiables y precisos.

En este modelo la potencia a una determinada distancia es un variable aleatoria, debido al efecto de propagación multi-trayecto, el cual es también conocido como efecto de desvanecimiento.

El modelo *Shadowing* está formado por dos partes. La primera se la conoce como pérdida de propagación y predice el valor principal de potencia en recepción a una distancia d , que en este caso se denota con $\overline{P_r(d)}$. Esta emplea una distancia d_0 como referencia. En (5) se muestra la relación entre $\overline{P_r(d)}$ y $P_r(d)$.

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0} \right)^\beta, \quad (5)$$

donde β es el exponente de pérdida de propagación, y es determinada de forma empírica de acuerdo a mediciones de campo, cuyos valores referenciales se pueden observar en la tabla II, de acuerdo al tipo de entorno en donde se realicen las pruebas.

TABLA II
VALORES TÍPICOS DEL EXPONENTE B PATHLOSS

Ambiente	β
Espacio Libre	2
Área urbana con sombra	2,7 a 5
Línea de vista	1,6 a 1,8
Obstrucción	4 a 6

La segunda parte del modelo *Shadowing* refleja la variación de la potencia de recepción a una determinada distancia como se observa en (6). Esta es una variable aleatoria log-normal, esto es una distribución Gaussiana si es medida en dB. El modelo de propagación de *Shadowing* es representado por:

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{\text{dB}} = -10\beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\text{dB}}, \quad (6)$$

donde X_{dB} es una variable con media igual a cero y desviación estándar σ_{dB} , la misma que es obtenida a través de mediciones de acuerdo al medio de propagación en el que se proyecte la señal transmitida.

En la tabla III, se muestran los valores típicos que puede asumir la desviación estándar σ_{dB} o *shadowing*.

TABLA III
VALORES TÍPICOS DE DESVANECIMIENTO

Ambiente	σ_{dB} (dB)
Ambientes exteriores	4 a 12
Oficina con alta ocupación	7
Oficina con baja ocupación	9,6
Industrial con línea de vista	3 a 6
Industrial con obstáculos	6,8

IV. ESTUDIO TOPOGRÁFICO DEL CAMPUS DE LA ESPE

A. Reconocimiento del entorno del campus de la ESPE

Para el desarrollo del proyecto resultó fundamental el estudio del entorno del campus de la Escuela Politécnica del Ejército en el cual se determinaron los parámetros topográficos y la infraestructura de la misma, que permitieron obtener resultados coherentes en las simulaciones.

B. Delimitación de la zona de cobertura

Con la ayuda del GPS Meridian 211836B, el cual cuenta con una precisión de ± 3 metros, se determinaron las coordenadas geográficas de los puntos extremos del campus politécnico. La tabla IV muestra las coordenadas de los límites establecidos y en la figura 1 se presenta la panorámica del campus que obtenida con la herramienta computacional Google Earth, donde la zona de cobertura tiene un área aproximada de 3,8 hectáreas y un radio aproximado de 400m.

TABLA IV
COORDENADAS DE LOS LÍMITES DE LA ESPE

	COORDENADAS	
	Latitud	Longitud
Entrada de la ESPE	0°18'53''S	78°26'33''O
Capilla	0°18'43''S	78°26'41''O
Transportes	0°19'10''S	78°26'44''O
Mecánica	0°18'49''S	78°26'51''O

C. Determinación de parámetros topográficos de lugares estratégicos

Para el diseño de la red fue necesario determinar puntos estratégicos en los cuales se colocarán los equipos, para lo cual se establecieron quince de ellos con el fin de brindar la cobertura a todo el campus politécnico.

Dichos puntos corresponden a los edificios y construcciones de cada uno de los departamentos académicos, así como a los sectores administrativos, de logística y de recreación a los que se desea brindar todos los servicios aplicables a la red diseñada. En la figura 2 se observa la ubicación de cada dependencia perteneciente al campus politécnico y en la tabla V se presentan sus coordenadas geográficas y alturas respectivas.

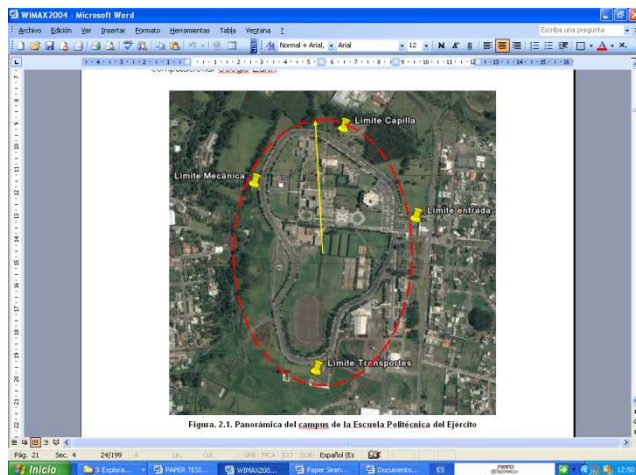


Fig. 1. Límites establecidos para el estudio del campus Politécnico

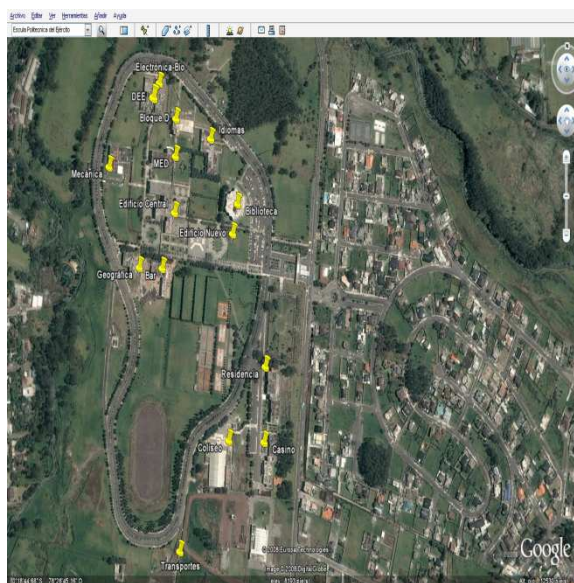


Fig. 2. Ubicación de las dependencias de la ESPE

TABLA V
ALTURAS Y COORDENADAS DE LAS DEPENDENCIAS DE LA ESPE

			COORDENADAS	
			Latitud	Longitud
1	Edificio Administrativo	22	0°18'52''S	78°26'38''O
2	Bar	6	0°18'54''S	78°26'44''O
3	Biblioteca	8	0°18'51''S	78°26'38''O
4	Bloque D	10	0°18'46''S	78°26'43''O
5	Departamento de Eléctrica y Electrónica	5	0°18'45''S	78°26'45''O
6	Ed. Central	10	0°18'51''S	78°26'43''O
7	Elect.-Biotec.	5	0°18'45''S	78°26'45''O
8	Geográfica	7	0°18'54''S	78°26'46''O
9	Idiomas	6	0°18'47''S	78°26'40''O
10	Mecánica	7	0°18'49''S	78°26'49''O
11	Residencia	10	0°18'59''S	78°26'35''O
12	Coliseo	5	0°19'03''S	78°26'38''O
13	Casino	8	0°19'03''S	78°26'35''O
14	MED	10	0°18'48''S	78°26'43''O
15	Transportes	3,5	0°19'09''S	78°26'42''O

V. DISEÑO DE LA RED WIMAX

A. Identificación de zonas con mayor demanda del servicio

Para determinar la capacidad de los equipos a instalar fue necesario realizar un estudio de la demanda del servicio a ser proporcionado por el sistema WiMAX de acuerdo con la zona de cobertura.

A través del dimensionamiento del tráfico del sistema se pudo tener una idea más clara del ancho de banda a emplearse y de algunos parámetros relacionados con los equipos.

Para la determinación del tráfico de la red fue necesario el establecer un número de usuarios potenciales por edificio, tomando en cuenta los datos actuales de personas que tienen acceso a un computador en las diferentes dependencias dentro de los edificios y realizando una proyección adecuada de las personas que emplearán este sistema inalámbrico.

Para obtener una estimación del ancho de banda que proporcionará el sistema WiMAX se realizó un estudio independiente del tráfico que se va a generar en cada edificio, considerando que el ancho de banda entregado por el sistema no se divide para el número de estaciones subscriptoras.

En la figura 3 se puede tener una visión más clara de la estimación del número de personas (por edificación) que utilizan computadores personales en el campus politécnico.

La tabla. VI. muestra la relación existente entre la simbología de la gráfica y la densidad de usuarios que en la actualidad se encuentran utilizando servicios que abarcará la red WiMAX, de acuerdo a cada edificación. Los edificios con mayor número de personas que en la actualidad emplean PC's son: edificio Administrativo, Central, Biblioteca y MED, sobre los cuales se debe poner especial interés ya que son los puntos más importantes en cuanto al tráfico generado y para establecer un ancho de banda requerido para el correcto funcionamiento del sistema WiMAX.

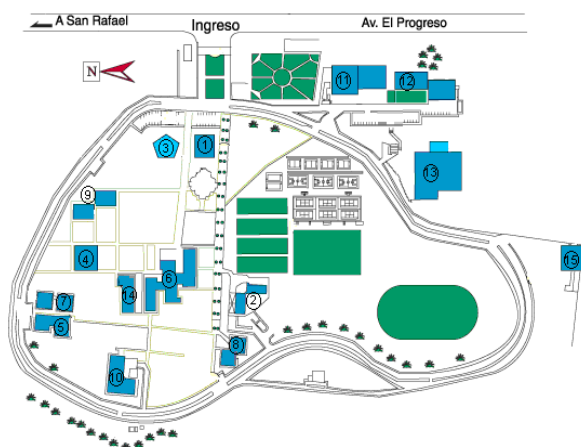


Fig. 3. Esquema del Campus Politécnico de la ESPE

TABLA VI

IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS POR EDIFICIO

No	Edificio	Personas / edificio
1	Edificio Administrativo	220
2	Bar	24
3	Biblioteca	240
4	Bloque D	60
5	Departamento de Eléctrica y Electrónica	80
6	Edificio Central	235
7	Electro-Biotecnología	24
8	Geográfica	24
9	Idiomas	45
No	Edificio	Personas / edificio
10	Mecánica	20
11	Residencia	180
12	Casino	24
13	Coliseo	45
14	MED	230
15	Transportes	10

Una vez determinadas las zonas con mayor requerimiento del sistema, se procedió al cálculo de los distintos tipos de tráfico de acuerdo al número de usuarios. [4].

Para el análisis del tráfico total en sentido descendente (*downlink*) o ascendente (*uplink*) de cada edificación, se consideraron diferentes tipos de tráfico como: Acceso a la Red Internet, Transmisión de datos, Voz sobre IP, Servidores Web y Videoconferencia y se obtiene con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 \text{Total uplink} = & 0,7 * \sum \text{flujos ascendente s/usuario potencial (internet)} \\
 & + \sum \text{Tráfico (datos)} + \sum \text{Tráfico (Voz sobre IP)} \\
 & + \text{Flujos ascendente s/sector (Servidores Web)} \\
 & + \text{Tráfico (Videoconferencia)}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total downlink} = & 0,7 * \sum \text{flujos descendente s/usuario potencial (internet)} \\
 & + \sum \text{Tráfico (datos)} + \sum \text{Tráfico (Voz sobre IP)} \\
 & + \text{Flujos descendente s/sector (Servidores Web)} \\
 & + \text{Tráfico (Videoconferencia)}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

donde 0,7 representa el 70% de los usuarios potenciales, es decir es el porcentaje de proyección de la demanda.

En la tabla. VII. se presenta un resumen de los resultados obtenidos del tráfico total empleando (7) y (8) tanto *paradownlink* como *ouplink* de cada edificio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla. VII. se encuentra que el mayor tráfico se encuentra en la Biblioteca (9,83Mbps), lo que permite determinar las velocidades de transmisión necesarias que deben brindar los equipos a adquirir para una futura implementación de la red WiMAX en el campus politécnico.

TABLA. VII.
RESULTADOS DEL TRÁFICO POR CADA EDIFICIO

Edificio	Total downlink (Mbps)	Total uplink (Mbps)
Edificio Nuevo	9,19	7,04
Bar	2,54	4,60
Biblioteca	9,83	7,25
Bloque D	3,74	5,04
Departamento de Eléctrica y Electrónica	4,39	5,25
Edificio Central	9,67	7,20
Electrónica Biotecnología	2,54	4,60
Geográfica	2,54	4,60
Edificio	Total downlink (Mbps)	Total uplink (Mbps)
Idiomas	3,26	4,88
Mecánica	2,41	4,56
Residencia	7,70	6,41
Coliseo	3,26	4,88
Casino	2,54	4,60
MED	9,51	7,15
Transportes	2,09	4,45

B. Selección de la banda de operación

Las características de los equipos a emplearse en la implementación de la red WiMAX constituyen parámetros fundamentales ya que permiten conocer el verdadero alcance que podrá tener la red.

Uno de los parámetros importantes para la realización de cualquier implementación de redes tanto alámbricas como inalámbricas constituye la banda de frecuencia de funcionamiento u operación, debido a que se presentan dos tipos de bandas; una en la cual para su funcionamiento se requiere licencia, mientras que la otra es una banda libre que a pesar de no requerir licencia (banda ISM) si es necesario reconocer en el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) los equipos que vayan a ser empleados así como parámetros técnicos de funcionamiento y la finalidad que tiene la implementación de dicha red [5].

La tecnología WiMAX opera en bandas con licencia como la de 3,5 GHz y en bandas sin licencia como la banda ISM (5,8 GHz). Dichas bandas de frecuencia son empleadas por sistemas de telecomunicaciones que requieren técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha, con las cuales trabajan la mayoría de equipos WiMAX.

Sin embargo debido a los altos costos que implican la adjudicación de una banda licenciada, no hacen posible la utilización de este tipo de bandas para la implementación de la red en el campus politécnico de la ESPE ya que sus fines son netamente académicos, por lo

que necesariamente se debe utilizar una banda de frecuencia libre que en este caso será la de 5,450 – 5,850 GHz debido a su amplia aplicación comercial.

VI. SIMULACIÓN DE COBERTURA

Para el análisis de cobertura fue utilizada la herramienta SIRENET [2] que permite simular redes WiMAX; sin embargo éste no cuenta con el modelo de propagación SUI por lo que para el establecimiento de este modelo se seleccionó el método de cálculo llamado *Editable Ampliado* propia del simulador; una vez seleccionada dicha opción se introducen todos los parámetros para el establecimiento del modelo SUI y de esta manera lograr resultados satisfactorios, que traten en lo posible de representar el comportamiento de la red en un entorno real.

Considerando los parámetros propios del entorno del campus politécnico se llegó a la siguiente expresión:

$$P_{L, \text{modificado}} = 13,441 + 26 \log(f) + 43,99 \log(d) \quad (9)$$

donde P_L representa las pérdidas de la señal con el modelo SUI, el mismo que se encuentra en función de la frecuencia y distancia.

Otro parámetro utilizado en SIRENET es, k (factor de corrección del radio de curvatura de la Tierra), que depende directamente de la ubicación geográfica y de la zona climática donde se quiere realizar el estudio, en este caso se selecciona un factor $k=4/3$ que corresponde al Ecuador.

A. Análisis de los resultados

A fin de conocer la cobertura de la red y una vez establecidos los parámetros de la misma, se procedió a delimitar el área de cobertura ya que resulta importante para el análisis de la red a fin de conocer la extensión de la misma dentro del área geográfica de estudio.

La figura 4 muestra el área de cobertura correspondiente al campus politécnico de la ESPE, en la cual se establecen tres zonas representadas por colores los mismos que dependen de la potencia de recepción que deben tener los equipos para identificar y procesar las señales emitidas por la estación base, dichos colores en el programa tienen la siguiente valoración:

1. Rosado ($-66 \text{ dBm} \leq P$)
2. Azul ($-76 \text{ dBm} \leq P < -66 \text{ dBm}$)
3. Rojo ($-86 \text{ dBm} \leq P < -76 \text{ dBm}$)

donde P representa la potencia de la señal al llegar a cada una de las distintas zonas geográficas del mapa, en otras palabras representa los niveles mínimos de sensibilidad con que debe contar el equipo suscriptor para recibir la señal y aprovechar al máximo los servicios que proporciona la red.

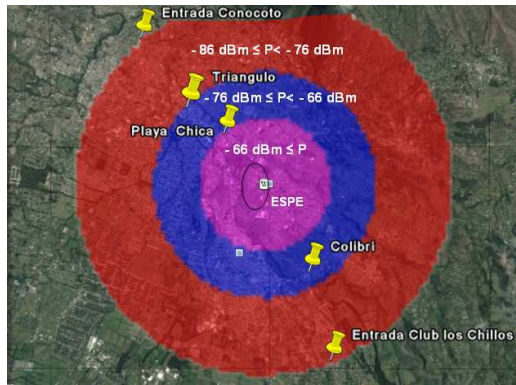


Fig. 4. Área de cobertura del Campus Politécnico

El área de interés corresponde aquella en la que se incluye el campus (área rosada), dicha área tiene un radio de cobertura de 1,42 km, la señal que se recibe en ésta área es excelente, y los equipos pueden trabajar en condiciones favorables para que los usuarios obtengan las señales transmitidas.

Se observó también el comportamiento de la red WiMAX, específicamente en referencia a sus niveles de potencia en las distintas dependencias del campus como se observa en la tabla. IX, teniendo en cuenta que la simulación emplea el modelo de propagación recomendado por la IEEE para este tipo de redes.

Como se puede observar en la tabla. IX, todos los valores obtenidos fueron muy aceptables debido a que en la simulación se incluyen la sensibilidad de los equipos receptores la misma que es muy inferior, por lo cual se puede determinar que los parámetros técnicos seleccionados fueron los más adecuados para brindar una óptima cobertura al campus.

TABLA. IX.
NIVELES DE POTENCIA

Edificio	NIVELES DE POTENCIA (dBm)
Bar	-24,36
Biblioteca	3,63
Bloque D	-27,48
DEE	-32,28
Edificio Central	-20,09
Elec.-Biotec.	-32,29
Geográfica	-29,16
Idiomas	-21,00
Mecánica	-35,16
Residencia	-27,09
Coliseo	-33,93
Casino	-34,57
MED	-23,97
Transportes	-42,65

VII. ANÁLISIS DEL TRÁFICO

Fue obtenido el *throughput*, definido como la relación entre el número de paquetes recibidos y el tiempo total de envío, de cada uno de los enlaces entre la estación

base y las estaciones suscriptoras, para de esta manera conocer la capacidad real que debe tener la red en cuanto a la velocidad de transmisión y ancho de banda para brindar los servicios tanto de voz, video y datos (triple play) usando Network Simulator-2 [3].

La figura 5 muestra la topología de la red WiMAX empleada en Network Simulator-2.

A. Análisis de los resultados

Se analizará el *throughput* generado en la red de acuerdo al modelo de propagación a emplearse: *FreeSpace* y *Shadowing*. Para cada modelo se realiza un análisis con y sin interferencia. Se considera la aplicación FTP en cada enlace y se analiza el comportamiento de la red en *downlink*.

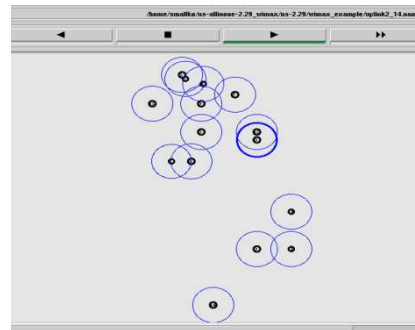


Fig. 5. Simulación de la red WiMAX en el Campus Politécnico ESPE

La figura 6 muestra el funcionamiento de la red considerando *FreeSpace* que cada nodo recibe información FTP. Se observa que el *throughput* tiene variaciones pequeñas como en el caso de los nodos 3, 4, 6 y 7, sin embargo la red en promedio tiene un *throughput* de 6,88 Mbps, que en relación a la velocidad de transmisión teórica de 10 Mbps, representa aproximadamente el 70% de la capacidad máxima de la red, por lo que los resultados son muy aceptables para una futura implementación de la red en el Campus.

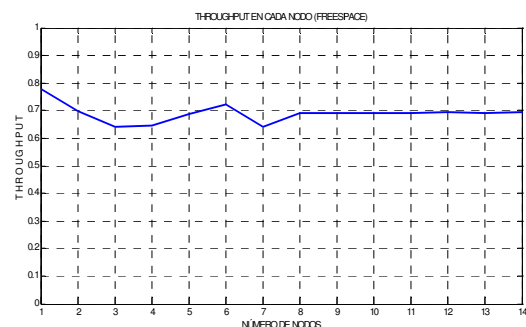


Fig. 6. Throughput de cada nodo sin interferencia

La figura 7 muestra el funcionamiento de la red considerando *Shadowing*, tomando en cuenta las

pérdidas que sufre la señal ya sea por desvanecimientos multirrayecto o la presencia de obstrucciones. Se puede observar que a pesar de las pérdidas debido al desvanecimiento de la señal, manteniendo un *throughput* aproximado de 6,30 Mbps en la mayoría de nodos, lo que en definitiva confirman los resultados obtenidos con *FreeSpace* en relación al comportamiento de la red al transmitirse sobre ella una aplicación de tipo FTP.

Como se observa en los análisis del *throughput* en los dos modelos de propagación, el comportamiento de la red no presenta variaciones significativas en cada edificio analizado, es decir para este proyecto el *throughput* independiente de la topografía, ya que la distancia entre las diferentes dependencias no es significativo con respecto a las distancias que se pueden alcanzar con la aplicación de la tecnología WiMAX y el entorno no presenta obstrucciones severas que podrían variar la velocidad de transmisión de forma drástica de un nodo a otro.

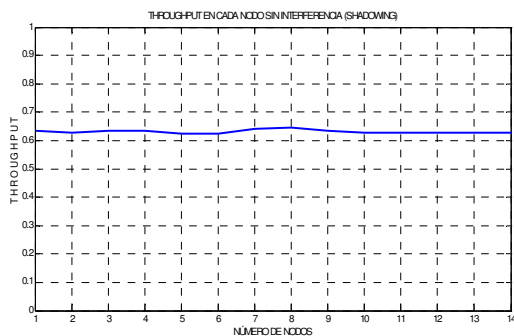


Fig. 7. Throughput de cada nodo sin interferencia

VIII. CONCLUSIONES

La ubicación de la estación base de la red Wimax en el campus de la Escuela Politécnica del Ejército se estableció en el Edificio Administrativo, seleccionándose luego de varios estudios de campo y analíticos, debido a las ventajas que proporcionaban con respecto a otros sitios, específicamente relacionados con la cobertura y la infraestructura a ser utilizada.

Con niveles de potencia relativamente bajos con respecto a los parámetros técnicos proporcionados por los distintos fabricantes, se obtiene un área de cobertura dentro de la cual se encuentra el campus politécnico. Además los resultados obtenidos en SIRENET, tratan de representar de la forma más aproximada posible la cobertura real que puede generar la red, ya que para la misma ha sido introducido el modelo de propagación SUI, el cual es recomendado por el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) para la representación de entornos de propagación.

Se logró establecer de acuerdo al análisis del tráfico generado por la red en el software Network Simulator, que la cantidad de información recibida por un nodo de la red en tiempo determinado (*throughput*) es independiente de la topografía que presenta el campus politécnico, ya que si bien es cierto se generan ciertas diferencias en cuanto al análisis de cada nodo, pero en términos generales la red muestra una relativa

estabilidad inclusive entre los nodos más cercanos y lejanos a la estación base.

Con el modelo de propagación *FreeSpace* es posible determinar las características mínimas requeridas por los equipos para trabajar con la tecnología WiMAX y de esta manera garantizar el funcionamiento de la red ya que solo se introduce una pérdida básica producida por la propagación electromagnética de la señal, en el caso de las simulaciones realizadas se ha determinado que con distintos escenarios con respecto al tráfico generado por la red, su capacidad disminuye de un 30 a 40% de su capacidad teórica.

El modelo de propagación *Shadowing* trata de simular las condiciones más adversas que puede enfrentar la propagación de la señal ya que introduce diferentes tipos de pérdidas debido principalmente a la presencia de obstrucciones entre la estación base y las estaciones suscriptoras, en cuyo grupo de simulaciones, al realizar el análisis como el caso anterior se determinó que la capacidad de la red disminuye aproximadamente un 45%, es decir el comportamiento de la red es bastante aceptable ya que mantiene un buen rendimiento en cuanto a las altas velocidades de transmisión que brinda, logrando de esta manera estabilizarse a pesar de ser sometida a un alto tráfico de información.

REFERENCIAS

- [1] IEEE, 802.16 Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, <http://www.ieee802.org/16/>, 1 de Octubre del 2004, 2 de Marzo del 2008.
- [2] Intelia Consultores, Sirenet versión 3.0-Simulación de redes radioeléctricas, 2007, 8 de abril del 2008.
- [3] Thens Manual, www.ecse.rpi.edu/Homepages/shivkuma/teaching/fall2002/ns-2/ns_doc.pdf, 10 de marzo del 2008, 10 de mayo del 2008.
- [4] Jácume Dávila Lenin, Trujillo Paredes Patricia, Estudio y Diseño de un Sistema de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (LMDS) para un área comercial de la ciudad de Quito, junio del 2001
- [5] CONATEL, RESOLUCIÓN 337-14-CONATEL-2008 CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.