



## Estudio y diseño de una red inalámbrica (WIMAX), para un operador de comunicación de la ciudad de Guayaquil

Silvana Ruiz, Gustavo Cornejo, Andrés Atiencia, José Escalante.

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Km. 30.5 vía perimetral, Guayaquil, Ecuador

kelmy18@yahoo.com, ojenrocag@hotmail.com, atienci@hotmail.com, jescalante@espol.edu.ec

### Resumen

*En este trabajo de tesis se muestra el diseño de una red inalámbrica para la ciudad de Guayaquil utilizando el estándar IEEE 802.16d-2004 o también conocida como WIMAX.*

*Se realiza una comparación de las diferentes tecnologías existentes al momento en el mercado de Guayaquil, para que de esta manera darnos cuenta lo favorable que sería aplicar la tecnología WIMAX.*

*Se elabora una encuesta con la finalidad de analizar los sectores de la ciudad de Guayaquil en la que debemos enfocar la cobertura de servicio, y gracias a que nuestra ciudad tiene una topología en su mayoría plana nos facilita la elaboración del diseño y haciendo uso de sus principales elevaciones, donde colocaremos las radio bases, que permitirán cubrir la ciudad.*

*Finalmente se analiza los costos que conlleva la implementación del diseño del proyecto, así como también de la recuperación de la inversión.*

**Palabras Claves:** WIMAX, IEEE 802.16-2004, Internet, tecnologías inalámbricas

### Abstract

*In this thesis work shows the design of a wireless network for the city of Guayaquil, using the IEEE 802.16d-2004 or also known as WiMAX.*

*A comparison is made of the different technologies available on the market at the time of Guayaquil, so that in this way realize what it would be favorable to implement WiMAX technology.*

*A survey was developed with the aim of analyzing the city areas of Guayaquil in which we must approach the coverage of service, and thanks to our city has a mostly flat topology provides us with the design development and making use of their main elevations, where they put the radio bases, which will cover the city.*

*Finally, we analyze the cost involved in the implementation of the project design, as well of the return on investment.*



## 1. Introducción

No existe tecnología de acceso ideal, pero cada una presenta condiciones, que lo hacen más apropiado para una determinada situación geográfica o de acuerdo al tipo de mercado que se dirige.

Las tecnologías que normalmente utilizan los proveedores de Internet en Guayaquil son: ADSL, LMDS, ATM, SOLNET, CDMA, GSM, los cuales tienen un precio accesible para los usuarios, pero algunas tienen dificultad para acceder a ciertos sectores, para lo cual se ha realizado el diseño de una red con la tecnología Wimax que permite la flexibilidad al momento de instalar y llegar a lugares de difícil acceso.

La tecnología WiMAX es un estándar de redes inalámbricas que ofrece más alcance y ancho de banda que Wi-Fi. Además presenta una alternativa inalámbrica a las instalaciones backhaul por cable y de última milla que usan al momento módems para cable.

El diseño tiene como objetivo primordial el proveer a la mayor parte de la ciudad el servicio de Internet a un costo asequible, para lo cual se realiza los estudios necesarios para lograrlo.

## 2. WIMAX (IEEE 802.16)

El estándar IEEE 802.16 o más conocido como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) permite la conexión a una velocidad similar a la de ADSL en distancias de entre 50 y 60 Km., y esta nueva tecnología es compatible con Wi-Fi (IEEE 802.11).

La IEEE aprobó en Enero del 2003 el estándar, como una enmienda al estándar IEEE 802.16 – 2001, el cual ha recibido apoyo de fabricantes de equipos terminales. El estándar fue diseñado para aplicaciones de última milla en sistemas que utilizan bandas de 2 Ghz y 11 Ghz. La capa de acceso al medio es capaz de soportar múltiples especificaciones de capa física optimizadas para dichas bandas de frecuencia.

IEEE 802.16-2004 La principal diferencia con la versión anterior, el IEEE 802.16a, se relaciona con la mejora en el consumo de potencia en los sistemas.

Utiliza OFDM, por la capacidad de gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto y por que realiza la combinación de múltiples portadoras solapadas espectralmente de manera que no se producen interferencias entre ellas.

WiMAX está proyectado para tratar desafíos relacionados con tipos de instalación de acceso por cable tradicional tales como:

- Backhaul. Usa antenas punto a punto para conectar sitios de abonados entre sí y a las estaciones base en largas distancias.
- Last mile. Usa antenas punto a multipunto para conectar abonados hogareños o de empresas a la estación base.

El objetivo principal del WIMAX FORUM que es una organización conducida por industrias, sin fines de lucro, fue desarrollar un estándar para conseguir un desarrollo del acceso en banda ancha inalámbrico, masivo y a los menores precios posibles, a través de la creación de un estándar para el acceso inalámbrico en ámbito metropolitano.

El IEEE 802.16e utiliza OFDMA1 que permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM de esta manera se asegura de que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

El IEEE 802.20 A finales de 2002 el IEEE aprobó la creación del grupo de trabajo para el acceso móvil inalámbrico de banda ancha. La misión del mismo es desarrollar las especificaciones para un interfaz inalámbrico eficiente basado en paquetes que estén optimizados para el transporte de servicios IP. El objetivo es permitir el uso mundial de redes de acceso móviles inalámbricas de banda ancha que puedan interoperar entre diferentes proveedores y que permita un uso ubicuo, económico y siempre activo, para que se puedan cubrir las necesidades de los usuarios finales tanto en un entorno doméstico como profesional.

Y está llamado a competir con el WiMAX de movilidad 802.16e.

Al momento ya existen diferentes proveedores instalando WIMAX en la ciudad de Guayaquil, pero también hemos realizaremos nuestro diseño con la finalidad de cubrir a la mayor parte de los usuarios de la ciudad de Guayaquil.

Según nuestro diseño, la tecnología que más se adapta a las necesidades actuales del usuario, según el coste y velocidad de despliegue es WIMAX, por todas las ventajas que este nos ofrece.

## 3. Situación del mercado en Guayaquil.

Antes de realizar el diseño de la red inalámbrica WiMAX, primero se realizó una encuesta enfocada a la parte del mercado personal y Pymes con la finalidad de encontrar las zonas en las que debemos

enfocar la cobertura de la red inalámbrica WiMAX. Con esta evaluación pudimos diseñar una red inalámbrica con visión de ganancias para la operadora de telecomunicaciones.

Las encuesta realizada dio como resultado que la mayor parte de personas encuestadas viven al norte de la ciudad, de las cuales tan solo el 20 % conoce la tecnología WiMAX, el 37% tiene Internet en casa y un 98.1% de los que no lo tienen desean adquirirlo.

Desean usar Internet en mayor proporción para la educación, seguido de la comunicación, el trabajo, entretenimiento y otras actividades que desean realizar. Para esto prefieren tenerlo las 24 horas del día con un precio módico que va de \$30 a \$45.

Con respecto a las empresas encuestadas, el mayor porcentaje se encuentran ubicadas en el centro de la ciudad, continuando decrecientemente al norte, vía Daule, vía a la Costa, Sur y por ultimo Samborondón. Estas empresas se dedican en su mayoría al área comercial. Además el 50 % de dichas empresas encuestadas requieren un ancho de banda de 128 kbps. Y un 54% lo prefiere con compartición 3 a 1, a un precio módico que por lo regular está entre los \$80 a \$120. Lo que mas utilizan como última milla son los enlaces con tecnología radial.

Solo el 61% de estas empresas conocen de la tecnología WiMAX y de acuerdo a sus necesidades un 72% se encuentra interesado en adquirirlo.

Por lo que podemos concluir que A nivel de usuario personal la tecnología es poco conocida, debido a que es relativamente nueva y con poca penetración en nuestro país; es una tecnología que apenas se está instalando en las principales ciudades de Latinoamérica.

Dónde existe mayor necesidad de servicio de Internet en la vía a la Costa, sector de vía Samborondón, en el sector sur y suroeste, y en menor medida en la vía a Daule; esto debido a que los proveedores se han enfocado a sectores más comerciales de la ciudad, como el sector norte y el centro.

También concluimos que el principal uso que se hace del Internet en los hogares es para fines educativos, seguido de comunicación, trabajo, y por último como medio de entretenimiento. El uso del servicio de Internet no tiene un horario predominante definitivo, pero es más utilizado en horarios nocturnos, por lo que prefieren contratar el servicio las 24 horas. Los presupuestos están acorde a los precios del mercado que van de \$30 a \$45.

En cuanto a los resultados del mercado empresarial, podemos decir: Los sectores con mayor demanda es el Centro donde se encuentran edificios con muchas oficinas de diferentes áreas. Seguido por

el sector Norte, la vía Daule, vía a la Costa, Sur y Vía a Samborondón.

La mayor parte de las empresas son comerciales e industriales, y las hay de otros tipos como financieros, educativos y estatales.

El ancho de banda es mínimo, de 128 Kbps., pero hay empresas que tienen también anchos de banda de hasta 1024 Kbps. Los presupuestos de las empresas están en los \$400 a \$550 en su mayoría, sin embargo hay empresas con menores presupuestos de hasta \$80 a \$120.

Las empresas buscan en la actualidad precios módicos, aunque también se basan en la tecnología y el servicio al cliente. La tecnología con mayor uso son los diferentes tipos con cobre; le sigue tecnologías de radio y en menor medida la fibra óptica. A diferencia del mercado personal y el mercado corporativo, es que la mayoría de encuestado fueron personas de sistemas y tecnología que si conocen o al menos han escuchado un gran porcentaje de WiMAX.

#### 4. Diseño y aplicación de la tecnología Wimax.



Figura 3.1 Mapa de Guayaquil.

La tecnología WiMAX es una tecnología que nos ayudará a proveer a los usuarios de la ciudad de Guayaquil, de conexiones de Internet de forma

inalámbrica, obviando las redes de cobre que normalmente presentan problemas por hurto de cable.

La planificación estratégica para la implementación de la red inalámbrica WiMAX, va de la mano con el estudio logístico y de mercado del área geográfica de la ciudad de Guayaquil.

La ciudad de Guayaquil de norte a Sur tiene una distancia de aproximadamente 30 Km de terreno y de este a Oeste aproximadamente 16 Km, como se lo aprecia en la figura 3.1.

Además uno de los sectores que se proyecta, es el de Samborondón que se encuentra cerca a la ciudad de Guayaquil.

Para acceder al servicio, los clientes cuentan con diferentes equipos terminales, los cuales serán elegidos de acuerdo a las necesidades del cliente.

#### 4.1. Análisis topográfico.

Analizando la topografía de la ciudad de Guayaquil, con la ayuda del Software Radio Mobile y el Software Google Earth se tiene la figura 3.2 que es un mapa topográfico, con el que podemos anotar que la ciudad de Guayaquil en general es plano, con pocas elevaciones, lo cual nos facilita llegar a la mayor parte de la ciudad con una buena señal, aunque WiMAX trabaja en Nlos.

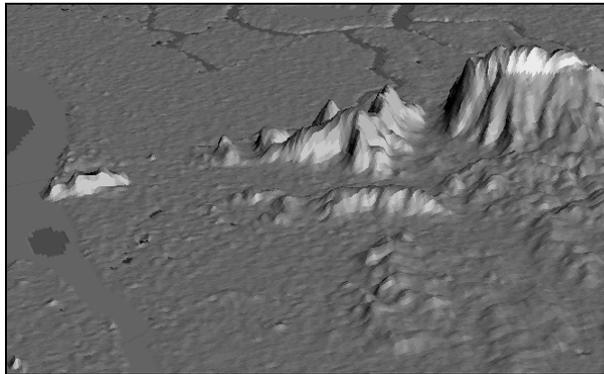


Figura 3.2 Mapa topográfico de Guayaquil

#### 4.2. Criterios para la planificación de frecuencias

Una de las partes fundamentales de las redes MAN apoyadas en WiMAX es la cobertura y estabilidad. En eso radica la búsqueda de la frecuencia de transmisión adecuada. El estándar 802.16 cubre las bandas entre 2 Ghz. y 66 Ghz., donde se divide en 2 grupos, la primera entre las

frecuencias de 2 a 11 Ghz., y la segunda entre las frecuencias de 10 a 66 Ghz.

En la región por sobre los 10GHz la atenuación sube abruptamente a un nivel inicial de 0.2 decibelios (dB) por kilómetro y generalmente, mientras más corta la longitud de onda, más rápido la atenuación de la señal cuando se propaga a través del aire.

Otro problema en el espectro sobre los 10 Ghz. Es que las transmisiones en estas bandas necesitan absolutamente línea de vista, lo cual hace más difícil la colocación de las estaciones bases, aunque se puede trabajar con un considerable incremento del ancho de banda.

Pero en este caso hay que tomar en cuenta que la mayor parte de los usuarios están en zonas con obstáculos (como es la ciudad de Guayaquil), y que las altas frecuencias no son las ideales por la antes indicado, por lo tanto vamos usar bajas frecuencias, en el orden de los 2 a 11 Ghz.

#### 4.3. Análisis de la demanda.

De acuerdo a la encuesta realizada a la parte corporativa la mayor parte de empresas utilizan un ancho de banda de 128 Kbps, seguido de 256 y 512 Kbps.; se proyecta una instalación promedio de 1 punto mensual de los clientes corporativos y 3 mensuales de los clientes Pymes.

Con respecto a las encuestas personales se proyecta instalar unos 10 puntos por mes.

El ancho de banda se contratará de acuerdo a las necesidades mensuales por el incremento de clientes, empezando con un ancho de banda de 512 Kbps. Para el primer semestre de operación de la empresa se debe contratar 8 Mbps punto a punto y según como se incremente los usuarios a la red se realizarán los respectivos upgrades.

#### 4.4. Diseño de red inalámbrica.

El proyecto utilizará el estándar IEEE 802.16-2004 que es para sistemas estáticos, el cual fue escogido por sus características de funcionamiento que supera a las versiones antecesoras del estándar IEEE 802.16.

La frecuencia ideal para trabajar en zonas urbanas, como anteriormente se lo explico, son las que se encuentra por debajo de los 10 Ghz. Las frecuencias libres en el Ecuador son las que se encuentran en 2.4

Ghz, 5.4 Ghz y 5.8 Ghz, pero estas en algunos lugares de la ciudad de Guayaquil ya se encuentran saturadas, lo cual nos causaría inconvenientes.

La frecuencia que se utilizara en este diseño es la de 3.5 Ghz, la cual es una frecuencia privada.

Aunque tener la licencia tiene un precio potencialmente alto, pero es necesario tomar esta decisión cuando la oferta del servicio requiere una alta calidad de servicio y una gran proyección de crecimiento.

En el mercado Ecuatoriano existen cuatro firmas que utilizan bandas de frecuencia para la tecnología

WiMAX en el Ecuador, las cuales son: Andinatel,

Ecuador Telecom, TV Cable, y una cuarta que está en pugna entre Pacifictel y Etapatelecom.

Nuestra empresa ingresará a competir con estas dos últimas empresas para la adquisición de esta banda de frecuencia.

Se analiza varios equipos que cumplen el estándar IEEE 802.16 (WiMAX). En el mercado existen algunos fabricantes de equipos WiMAX que poseen diferentes modelos y trabajan en varias bandas de frecuencia, cada fabricante oferta sus equipos de acuerdo a ellas. Pero como en este proyecto utilizaremos la frecuencia de 3.5 Ghz nos enfocaremos en los equipos que cumplan esta característica.

Tomando en cuenta las características técnicas y precios de los equipos de los proveedores, se utilizara para este diseño los equipos de la marca Airspam. A su vez de esta marca se selecciona la Base MicroMAX y se utilizara los diferentes CPS's, de acuerdo a las necesidades del usuario. Por lo que los componentes de la red WiMAX, son: la estación Base, estaciones suscriptoras, antenas.

Con las ventajas que provee la tecnología WiMAX el cual tiene un extenso rango de cobertura, solo se utilizaran dos radios bases en la ciudad de Guayaquil.

El cerro de mayor elevación es el Cerro Azul, con más de 300 m. de altura, este por ser el más alto y tener línea de vista con la mayor parte de la ciudad.

Por esto se ha elegido como punto para instalar una radio base la cual cubrirá la vía Daule, la vía a la Costa y el norte de la ciudad.

Teniendo cubierto el norte de la ciudad, queda por cubrir el centro y sur; para esto se elige el cerro del Carmen donde se colocara la segunda radio base.

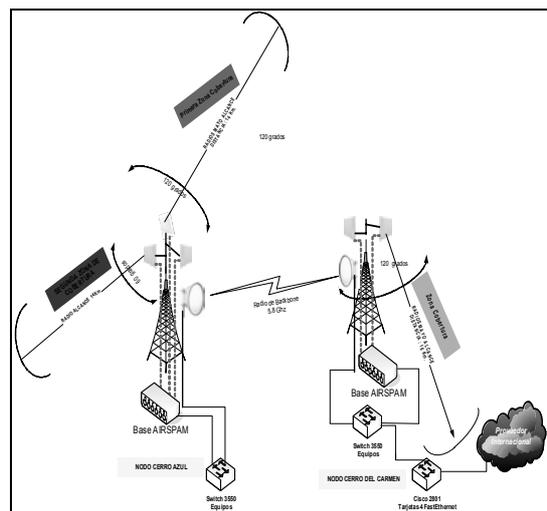
Con estas dos Radios Bases cubrimos en su totalidad la ciudad de Guayaquil y podremos satisfacer al usuario con un servicio de calidad.

En la figura 3.3 se muestra la ubicación de las bases y además puntos referenciales que muestran hasta donde llegara la cobertura de WiMAX.



**Figura 3.3:** Ubicación de puntos de radio base y referenciales.

Para el enlace de las radio – bases se colocara en Cerro del Carmen la Radio Base principal, la cual se conectará al proveedor de Internet Internacional. Esta radio base también la utilizaremos como backhaul para conectar la radio base que se encuentra en Cerro Azul, debido a la dificultad de conectar con fibra óptica a la Radio Base de Cerro Azul.



**Figura 3.4:** Enlaces.

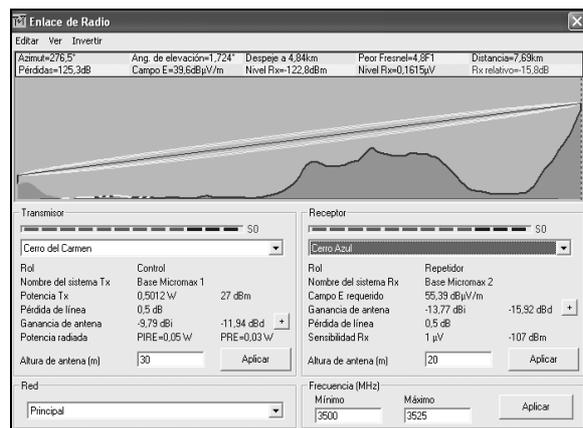
Además se colocará un enlace de radio de 5.8 Ghz, en caso de que la Base Cerro del Carmen presente inconvenientes los clientes que están

conectados a la Base Cerro Azul no se quedan sin servicio de Internet.

#### 4.5. Cálculo del enlace.

Considerando parámetros promedios de potencia, ganancia y sensibilidad de los equipos de la marca Airspam, se va a realizar el cálculo del enlace entre las dos radio bases, además se realizará cálculos de supuestos usuarios en diferentes partes de la ciudad de Guayaquil, esto con la finalidad de mostrar la cobertura de cada Radio Base.

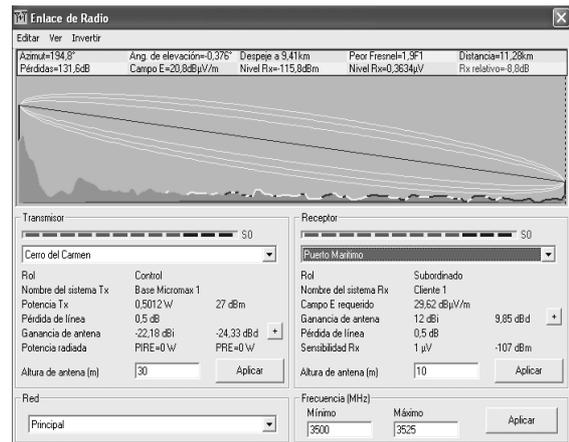
El cálculo del enlace se lo realizó con la ayuda del programa Radio Mobile que es un programa que permite el análisis y simulación del área de cobertura de un sistema de radio frecuencia (RF), ya que este programa traza el perfil de las posibles trayectorias, automáticamente construye el perfil de un enlace de radio entre dos puntos conocidos de forma digital, emplea una extensa base de datos de elevaciones para determinar la existencia de LOS o línea de vista entre dos puntos, ejecuta los cálculos que permiten automatizar cualquier enlace en cualquier banda de frecuencia, desde HF hasta SHF. Además, permite observar el efecto de cambiar la ganancia de las antenas, altura de las mismas, atenuación de los cables, etc., calcula la pérdida en el espacio libre y la debida a obstrucciones, calcula el área cobertura de una radio base útil para sistemas PMP (punto – multipunto).



**Figura 3.5:** Cálculo entre radios base.

En la figura 3.5 se muestra cálculo del radio enlace (Radios Bases principales) donde se puede observar que se tienen los valores como distancia, azimuth, ángulo de elevación, espacio libre, nivel de recepción y la zona de Fresnel que tiene como valor de 4.8 F1 que indica que el enlace no tiene ningún problema para operar ya que el valor mínimo para la

zona de Fresnel es de 0.6 F1. En este cálculo se consideró una altura de las antenas de 30 metros en el Cerro del Carmen y de 20 Metros en Cerro Azul; una potencia de 27 dBm en las estaciones base, ganancia de antena omnidireccional de 12 dBi y una sensibilidad de -98 dBm. En la figura 3.6 se indica el cálculo del enlace entre el cerro del Carmen y un posible usuario ubicado en el Puerto Marítimo.



**Figura 3.6:** Cálculo entre radios base y cliente.

Se está tomando el punto más lejano de la radio Base con la finalidad de conocer si es factible tener clientes por este sector.

Los resultados son muy favorables para colocar una antena externa, ya que se tiene un 1.9 F1.

Los resultados de los cálculos realizados son muy favorables, porque todos tienen un valor mayor al mínimo de la zona de Fresnel. Además hay que tomar en cuenta que es una zona urbana y se encontrarán obstáculos, como son los edificios.

Pero gracias a la característica de WiMAX no es necesario tener un 100% de línea de vista.

Para realizar el cálculo de la cobertura se utilizó el programa radio mobile en el cual se tiene la opción de ir variando la potencia y ganancia de los equipos, gracias a este programa se podrá obtener una distancia máxima a la cual los usuarios podrán acceder a los servicios que brindará la red inalámbrica, todo usuario que se encuentre dentro de esta área podrá acceder sin ningún problema a los servicios que brinda la red inalámbrica con tecnología WiMAX.

Los equipos de comunicación WiMAX de Airspam tienen un software que permite monitorear cada enlace. Se utilizará un router de la serie 2801 que proveen características de alto desempeño, modularidad y disponibilidad con bajo precio por puerto y servicioabilidad y manejabilidad, además de



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



un par de switches, un banco de baterías, rad, etc. Es decir todo lo necesario que debe utilizar un nodo.

### 5. Marco Regulatorio.

En este capítulo se realiza un estudio completo del marco legal, donde se analiza la regulación del sistema

WiMAX en el Ecuador y los diferentes reglamentos que se incluyen en el mismo tales como uso de frecuencia, comercialización de servicios y homologación de equipos terminales de telecomunicaciones.

Podemos, en forma general, decir que las leyes de nuestro país no regulan las tecnologías de telecomunicaciones, sino que regulan el uso de frecuencias.

### 6. Costos.

Realizamos un estudio de costos a lo largo de 5 años, donde analizamos la inversión inicial, costos mensuales, comercialización, estrategia de ventas, rentabilidad, y el valor de retorno de la inversión.

En general podemos concluir:

- El valor de retorno de la inversión, que es el punto de equilibrio se da en el mes 25.
- Calculando el VAN (Valor Actual Neto), que se realiza tomando la sumatoria del flujo de caja de los 5 años traídos al presente, más la inversión inicial, tenemos un valor positivo de \$1203,35. Se toma una tasa del 25% anual de rendimiento del dinero. Este valor positivo nos indica que la inversión es rentable.
- Se calcula el margen de amortización anual.
- Se saca un consolidado de las nuevas ventas anuales, que será uno de los parámetros de medición para el área

comercial si cumple con el objetivo anual.

### 7. Referencias

- [1]. <http://www.wimaxforum.org/home/>
- [2]. [maps.google.es](http://maps.google.es)
- [3]. <http://www.ieee.org/enterprise>
- [4]. <http://www.wimax-rural.us/>
- [5]. <http://www.tecnoWiMAX.com>
- [6]. [http://www.airspan.com/solutions\\_publicsafety.aspx](http://www.airspan.com/solutions_publicsafety.aspx)
- [7]. <http://blogwimax.com/blog/2007/05/31/alvarion-aperto-redline-y-airspan-son-los-principales-proveedores-de-hardware-wimax/>.
- [8]. [http://www.it46.se/course/wireless\\_es.php?lang=es](http://www.it46.se/course/wireless_es.php?lang=es).
- [9]. <http://www.wimaxforum.org/home/>

### 8. Conclusión y resultados.

Viendo la necesidad de disponer de redes que permitan ampliar la capacidad de comunicación de manera eficiente, se opta por utilizar tecnología inalámbrica de banda ancha.

Con el diseño propuesto utilizando la tecnología Wimax, se logra cubrir la mayor parte de la ciudad, enfocándonos a los sectores de mayor demanda, tanto para los usuarios personales y empresariales.

Utilizando 3.4 GHz como frecuencia de operación la cual es una frecuencia licenciada, que tiene como finalidad de evitar interferencia a futuro. Los equipos de comunicación a utilizar son los de marca Airspan, con un alcance de cobertura teórico de 15 km.

La inversión inicial del proyecto se podrá recuperar en el mes 25, de acuerdo al flujo de caja desarrollado; así mismo tenemos un Valor Actual Neto positivo al cabo de 5 años de iniciada la empresa.