Análisis Del Rendimiento En Redes Wlan Caso Estudio: Wlan – Universidad Católica De Colombia Sede El Claustro (SCUCC)

Acuña Ostios Jonathan Humberto, Aponte Joya Daniel Camilo
Jhacuna59@ucatolica.edu.co, dcaponte33@ucatolica.edu.co
Facultad de Ingeniería, Programa de Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Católica Colombia
Bogotá D.C., Colombia

Abstract- This paper presents different elements that are important when a performance analysis Wlan networks such as the latency, coverage, interference, which are compared with samples of the current state of the network is performed SCUCC determined so as is the operation of this and which factors are beyond the theoretical standards. To make this comparison identification of Access Points present in the SCUCC is performed and different measures (Bandwidth, File Transmission) on the Wireless network for this behavior are made. The performance analysis carried out to the wireless network SCUCC showed that the network is able to support the demand of users present in an acceptable manner but is not this uniformity, this due to improper distribution of Access Point present which do not provide increased coverage to 50% of the seat. To provide a solution to this situation is planted a method to increase the coverage of it which is based on an optimization of the areas to be covered, thereby increasing the coverage achieved thus achieving optimum connection in any area headquarters.

Keywords: WLAN, Coverage, Bandwidth, Interference, Latency.

Resumen- El presente artículo expone diferentes elementos que son importantes cuando se realiza un análisis del rendimiento en redes Wlan como lo es la Latencia, la cobertura, la interferencia, los cuales se comparan con muestras de la situación actual de la red de la SCUCC, determinado así como es el funcionamiento de esta y cuales factores están fuera de las normas teóricas. Para realizar esta comparación se realiza una identificación de los Access Points presentes en la SCUCC y se realizan diferentes medidas (Ancho de Banda, Transmisión de Archivos) sobre la red Inalámbrica para conocer el comportamiento de esta. El análisis del rendimiento realizado a la red inalámbrica de la SCUCC demostró que la red es capaz de soportar la demanda de usuarios presentes de una manera aceptable aunque está no presente uniformidad, esto debido a la incorrecta distribución de los Access Point presentes los cuales no proporcionan una cobertura mayor al 50% de la sede. Para dar una solución a esta situación se plante un método para aumentar la cobertura de la misma la cual se basa en una optimización de las zonas a cubrir, con lo cual se logra aumentar la cobertura logrando así una conexión optima en cualquier zona de la sede.

Palabras Claves: WLAN, Cobertura, Acho de Banda, Interferencia, Latencia.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto el continuo avance tecnológico de los dispositivos electrónicos que permiten conectividad entre los usuarios, razón por la cual se requiere conexiones inalámbricas para permitir esta comunicación y dentro de la Universidad Católica de Colombia el uso de estos dispositivos genera una continua demanda de servicios (voz, datos, videos), que exige a la red existente el cumplimiento de normas de trasmisión que garanticen la calidad del servicio(Q o S) sin presentar inconvenientes para los intereses del usuario final.

Al no ser ajena a esta situación la Universidad ha demostrado el interés de ofrecerle mejor servicio a sus estudiantes, y por esto implementó una red inalámbrica a partir de su red cableada en todas sus sedes, para cumplir con la demanda que se está presentando dentro del campus universitario.

Teniendo en cuenta que esta red inalámbrica es sin restricciones y se accede por ser estudiante de la Universidad (autenticación por usuario y contraseña) su uso se ve altamente congestionado, presentándose una percepción de inconformismo por parte de la comunidad académica. Situación que repercute en el bienestar estudiantil por los servicios prestados por la institución.

A partir de dicha situación es que el presente proyecto realizará un análisis de la red inalámbrica de la Universidad Católica de Colombia sede el Claustro, donde se hará una comparación entre los elementos que intervienen en el rendimiento de una red inalámbrica tales como la latencia, la cobertura, los servicios, las interferencias con las muestras de la situación actual de la red. A continuación se exponen algunos conceptos a tener en cuenta para desarrollar el análisis propuesto.

II. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

A continuación se presentan las diferentes fases que se siguieron para desarrollar el proyecto.

a. *FASE 1: Investigación teórica.*

La primera fase se centra en la recolección de información sobre la teoría necesaria para la comprender las diferentes variables que intervienen en el diseño de una red inalámbrica, además de las tecnologías usadas por los dispositivos comunes.

a) *Actividad:* Recolectar documentación sobre la teoría de las redes inalámbricas e identificar las normas y parámetros que rigen a los dispositivos y redes inalámbricas.

b. *FASE 2: Recolección y clasificación de la información.*

Se realizara las mediciones de intensidad de potencia de los diferentes puntos de acceso existe en la Universidad para poder plasmar en un plano la ubicación de estos puntos. Posteriormente se realizara la captura de la información que se clasificara según el análisis propuesto.

a) *Actividad:* Usar un sniffer (aplicación para capturar intensidades de potencia emitidas por los Access Point), determinar la ubicación de los Access Point en un plano y determinar la irradiación para su respectiva cobertura.

c. *FASE 3: Análisis de la información.*

Con la información recolectada en el capítulo anterior y utilizando la teoría recolectada en la fase 1 se analizaran los diferentes componentes que interviene en el rendimiento de la WLAN al comparar la información teórica y práctica.

a) *Actividad:* Usar la información capturada en la fase anterior y compararla con la respectiva teoría para determinar si los conceptos investigados están funcionando adecuadamente en la red, arrojando así una clara visión del comportamiento de la red.

d. *FASE 4: Propuesta de mejoramiento, conclusiones y recomendaciones.*

Con los resultados del Análisis realizado en el capítulo anterior y en base en un modelo de optimización se realizara una propuesta de mejoramiento en donde se van a comparar las ubicaciones de los puntos de acceso en el momento de la toma de datos y las aproximaciones obtenidas mediante el modelo mencionado anteriormente.

a) *Actividad:* Teniendo resultados, hacer una propuesta de mejoramiento de la red para un mejor rendimiento de la misma, de tal manera que se cumpla con el cubrimiento deseado y que el número de usuarios que se conecten puedan tener el mejor rendimiento de la red. Posteriormente se realizaran las conclusiones en base a los resultados obtenidos.

III. DESARROLLO DEL PROYECTO

Inicialmente para el desarrollo del proyecto se realiza la recolección de información teórica necesaria.

a. *Redes de área local inalámbrica.*

Estas redes están basadas en la interconexión de datos mediante ondas electromagnéticas, básicamente en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, aunque también pueden funcionar en la banda de los 5 GHz. Las redes inalámbricas ofrecen la ventaja de la conectividad sin las limitaciones que supone estar atado a una ubicación o por cables.

En cualquier escenario vale la pena destacar que las redes inalámbricas actuales basadas en estándares funcionan a alta velocidad, el acceso al usuario supera los 11 Mbps y es de 30 a 100 veces más veloz que las tecnologías de acceso telefónico o de las redes WAN inalámbricas estándar. Básicamente las redes inalámbricas tienen dos formas de trabajar, según la topología Ad-hoc y según la topología de infraestructura [1].

a) *Topología de infraestructura:* Esta topología es aquella que conecta una LAN de cable con una LAN inalámbrica a través de una estación base, denominada punto de acceso. El punto de acceso une una LAN inalámbrica y la LAN de cable y sirve de controlador central de la red LAN inalámbrica, en donde coordina la transmisión y recepción de múltiples dispositivos inalámbricos dentro de una extensión especifica denominada BSS la cual depende del estándar de la conexión inalámbrica que se utiliza.

b) *Topología Ad Hoc:* Esta topología carece de un controlador y punto de acceso por lo que los propios dispositivos inalámbricos crean la LAN, donde todos los dispositivos se comunican directamente con los demás que tengan el mismo SSID en lugar de pasar por un controlador central.

b. *Tecnologías 802.11.*

Como se mencionó anteriormente la tecnología 802.11 se utiliza para realizar conexiones en redes inalámbricas y debido al rápido desarrollo de la tecnología han aparecido diferentes variantes denominados estándares por la IEEE de esta tecnología. A continuación se explicaran los estándares más importantes para el desarrollo del análisis propuesto en este proyecto:

a) *802.11a:* El estándar 802.11a define un rango de operación de 5 GHz en los cuales se designan 8 canales dentro de su operación. Su velocidad oscila alrededor de 54 Mbps pero en realidad esto no se presenta ya que su tecnología se basa en un ancho de banda compartido, es decir que el espacio donde funciona se divide entre los usuarios que la estén utilizando en ese momento y a medida que aumenta la distancia el rendimiento disminuye [2].

Las principales ventajas de este estándar radican en que no presentan interferencias ya que usan la banda de 5 GHz, además de que su velocidad de hasta 54 Mbps es la mayor entre sus competidoras (802.11 b/g).

b) *802.11b:* Este estándar es la implementación más común que existe ya que al operar en una frecuencia de 2,5 GHz no hay que pagar por el uso del espectro. Este designa tres canales dentro de su operación y su velocidad máxima se ubica en los 11 Mbps debido a que funciona con un ancho de banda compartido al igual que el estándar anterior por lo que a mayor distancia el caudal de datos va a disminuir [3].

Su principal ventaja es su compatibilidad ya que es el estándar actual para redes WLAN y sus costos son mucho más bajos en comparación con los demás estándares.

c) *802.11g:* Este estándar se creó como una continuación del estándar 802.11a y 802.11b al proporcionar la velocidad de 54Mbps del primer estándar con la compatibilidad del segundo. Es decir este permite crear redes en la banda de 2,4 GHz, compatibles con 802.11b pero trabajando con un ancho de banda de 802.11a [4].

Presenta compatibilidad total de ofertas con relación a los demás estándares, además de ofrecer una velocidad de 54 Mbps como 802.11a pero sobre la misma frecuencia de 2,5 GHz que le permite utilizar las mismas antenas que 802.11b. Al utilizar la frecuencia de 2,5 GHz sufre los mismos inconvenientes que el estándar anterior [5].

d) *802.11n:* Es un estándar de cuarta generación compatible con los estándares 802.a, 802.b, y 802.g ya que puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a), tiene un funcionamiento en las frecuencias de 2.4 y 5 GHz, La velocidad real de transmisión podría llegar a los 300 Mbps y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y unas 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También alcanza una operación en la redes mayor gracias a la tecnología MIMO Múltiple Input – Múltiple Output, que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos [6].

c. *Algunos conceptos para un análisis de rendimiento:*

A continuación se exponen algunos de los conceptos que se utilizan para realizar un análisis de rendimiento:

a) *Retardo:* El retardo es el tiempo que necesita una señal para atravesar un medio, este comprende el tiempo transcurrido entre el instante en que la información se encuentra lista parar transmitirse a través de la red y el instante en que ha llegado al otro extremo [7].

b) Cobertura: Se denomina cobertura a la zona en la que el receptor puede recibir una señal con un nivel de potencia que le ofrezca al usuario final los servicios esperados (voz, datos) con una calidad aceptable. Por lo tanto al hablar de cobertura se debe tener en cuenta el área que la estación base es capaz de cubrir para proporcionar servicios con una determinada calidad [8].

c) Interferencias: En la tecnología inalámbrica, la palabra interferencia es usada típicamente en sentido amplio, para disturbios desde otras fuentes de RF, por ejemplo canales adyacentes. Entonces cuando los constructores de redes inalámbricas hablan de interferencias, generalmente se refieren a todos los tipos de alteraciones generadas por otras redes y otras fuentes de microondas [9].

d. *Estado del Arte.*

La facilidad de acceder a una red utilizando dispositivos electrónicos permite manejar grandes cantidades de información la cual puede generar congestiones en las redes a las que se conectan y de esta manera perder QoS para el

usuario final. El conocimiento sobre el funcionamiento de una red inalámbrica y sus tecnologías son parte fundamental para el análisis de una red existente además de conocer las variables que afectan el desempeño de estas, para así ofrecer una visión clara de los factores que pueden afectar el rendimiento de una red. A continuación se mostraran trabajos que exponen conocimientos teóricos sobre redes inalámbricas y análisis de sus tecnologías en diferentes entornos.

Un recuento sobre las características de la tecnologías inalámbricas se observa en "NORMAS IEEE 802.11ª, 802.11b y 802.11g" [10], donde expone que una de las funciones principales ofrecidas por las redes WLAN, es la capacidad de proporcionar conectividad y acceso a las redes Ethernet (Redes cableadas), brindando al usuario la posibilidad de tener movilidad y flexibilidad que ofrecen las redes inalámbricas que tienen como medio de transmisión el aire o el espectro electromagnético, la masificación de utilizar dispositivos inalámbricos y beneficios que brindan como ahorro de infraestructura y económicamente presenta más beneficios es un punto determinante para tener una regulación a nivel de estándares, de tal manera regular las conexiones inalámbricas, los dispositivos tienen que regularse de manera que puedan tener interconectividad entre ellos teniendo en cuenta que unos tienen características más significativas que para el usuario se ven reflejadas en el aprovechamiento del servicio.

En el caso mencionado por Velázquez [11] se diseña una red inalámbrica tenido como base la demanda de tráfico en donde para revisar el tráfico que más se demandaba se diseñó un software que permita el diseño de redes inalámbricas dentro de un entorno regional usando métodos de optimización Tabu (Tabu Search), permiten identificar los posibles puntos de acceso (AP) que se necesitaran, el uso de los canales para que los AP puedan irradiar sin que se presente interferencia y la ubicación para poder tener la mejor cobertura ofreciendo mejor servicio para cumplir con la demanda de trafico necesitada.

Para un análisis de desempeño en rede 802.11 tenemos el caso de Rojas [12] que para la demanda de tráfico (voz, texto, imágenes, video) que se necesitan debe cumplir con varios requisitos, fácil acceso a ella y movilidad debido a que la evolución de los dispositivos que permiten conectarse es bastante amplia y de una forma muy rápida, de esta tecnologías se usó la voz como estudio siendo una de las más usadas y hacia dónde va la tendencia de la voz, que se llama voz sobre IP (VoIP), la convergencia de servicios ofrecidas por los ISP, está transportando la voz en redes de conmutación de paquetes de esta forma es un beneficio económico disminuyendo los costos, en este estudio se diseñaron y definieron métricas para poder ver el desempeño que pueda describir que tanto puede congestionar la red y poder interpretar las métricas cargando voz en los paquetes que se envían de forma conmutada

Al tener la información teórica necesaria se realizó la identificación de la situación actual de la red de la SCUCC para conocer su funcionamiento.

e. *Identificación De Los Ap Presentes En La Sede El Claustro.*

Las redes inalámbricas cumplen con unos estándares definidos por la IEEE, estos vienen determinados por su respectiva tecnología, 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n.

Las tecnologías anteriormente nombradas tienen unas características únicas que las identifican, estas varían teniendo en cuenta la velocidad de transmisión, la frecuencia a la cual funciona, su ancho de banda y el método de modulación que usan, en la tabla 1 se pueden ver las características más relevantes de los estándares 802.11x que se encuentran en la actualidad.

ESTANDAR	**802.11ª**	**802.11b**	**802.11g**	**802.11n**
Frecuencia	5GHz	2,4GHz	2,4GHz	2,4 /5 GHz
Velocidad	54Mbps	11Mbps	54Mbps	300Mbps
Modulación	OFDM	DSSS	DSSS/OFDM	OFDM

Tabla 1. Características Estándares, Indican la frecuencia, velocidad y modulación para cada estándar definido dentro de la tabla.

De la Tabla 1 se puede observar que la frecuencia de operación del estándar 802.11a es de 5 GHz en comparación con los demás estándares de frecuencia 2.4 GHz, esta presenta menos interferencias causadas en su mayoría por ondas de microondas. La velocidad de trasmisión de datos es mayor en el estándar 802.11n debido a que la propagación de ondas en esta tecnología es diferente a las demás al ser aditiva cuando sus ondas se van reflejando en los obstáculos, es decir que su radio de cobertura no es circular si no una propagación de las ondas lo que permite tener buenas velocidad en distancias donde generalmente seria limitada.

Para identificar los Access Point presentes en la sede el Claustro de la Universidad Católica de Colombia (SCUCC) se usó una aplicación llamada Xirrus Wi-Fi Inspector que permite identificar parámetros propios de la red Ver Fig. 1.

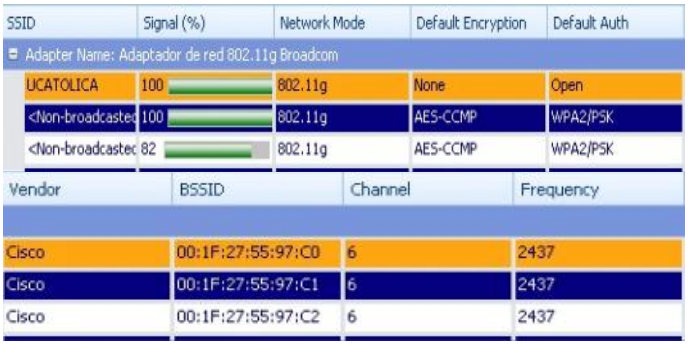

Fig. 1. Información suministrada por Xirrus Wi-Fi Inspector.

La Fig. 1, muestra la siguiente información, la primera columna de izquierda a derecha muestra el SSID (Service Set IDentifier) que es el nombre de la red, la segunda columna muestra la intensidad de la señal en dB o en porcentaje, en la tercera columna se observa la tecnología (estándar 802.11) que utiliza el AP, de la columna cuatro a seis se observa información como el tipo de encriptación, autenticación y por último el fabricante del dispositivo. La columna siete muestra la dirección MAC del AP, en la columna ocho se observa el canal que usa el dispositivo para trasmitir y recibir información y por último la columna nueve muestra la frecuencia de operación.

Para identificar el primer AP presentes en la SCUCC se ejecutó la aplicación mencionada anteriormente la cual se filtró en modo de autenticación abierto, para para identificar los que pertenecen a las SCUCC, se seleccionaron el primer AP que tuvieran el SSID U CATOLICA para el cual se hizo un seguimiento teniendo en cuanta la potencia que se estaba obtenido en el rada del software y para cuando se obtuvo un 90% de esta se logo ubicar el AP físicamente. Este procedimiento se realizó varias veces dentro de la SCUCC donde al final se lograron identificar 7 AP que se nombraron de la siguiente manera ver Tabla 2.

AP	UBICACIÓN ACCESS POINT	DIRECCION MAC	TECNOLOGIA	CANAL
AP Nº 1	Laboratorio Nº 3, De electrónica y telecomunicaciones	00:23:34:3D:95:B0	801.11g	11
AP Nº 2	Laboratorio Nº 1 , De electrónica y telecomunicaciones	F4:EA:67:BE:31:30	802.11n	1
AP Nº 3	Arriba Del Laboratorio Nº 7, de electrónica y telecomunicaciones	00:1A:2F:26:13:C0	801.11g	6
AP Nº 4	Laboratorios Física, Tercer Piso	00:1F:27:55:97:C0	801.11g	11
AP Nº 5	Plazoleta De Ingles	00:3A:9A:2A:B5:40	801.11g	11
AP Nº 6	Plazoleta De Ingles	00:3A:99:FB:0C:70	801.11g	6
AP Nº 7	Laboratorio Física, Samsung	00:3A:9A:22:56:30	801.11g	1

Tabla 2. Características de los AP identificados

La Tabla 2 muestra en la columna dos la ubicación de los AP's dentro de la SCUCC, en la columna tres se observa la dirección MAC de cada AP con relación a su ubicación, en la columna cuatro se observa la tecnología que utiliza cada uno donde se evidencia que 6 de los 7 AP identificados utilizan el estándar 802.11g y uno el estándar 802.11n, y por último en la columna cinco se observa el canal que utiliza cada uno para trasmitir y recibir información.

Los Access Point identificados son del fabricante cisco, de los cuales como se mencionó anteriormente 6 Access Point tienen implementado el estándar 802.11g y son de referencia Cisco Aironet 1240AG Series 802.11A/B/G y el último AP es Cisco Aironet 1040 el cual funciona con el estándar 802.11n.

En el Fig. 2, se observa la distribución que existe en la actualidad de los Access Point en la SCUCC.

Fig. 2. Plano de ubicación de Access Point dentro de los SCUCC.

En la Fig. 2, se observa la distribución actual de los AP presentes en la SCUCC que dan cobertura a esta sede, donde se observa que los AP 5 y 6 están cubriendo la misma zona que se denominó anteriormente como plazoleta de inglés, además de que los AP 1 y 2 que al parecer cubren dos zonas diferentes están muy cerca uno del otro.

f. *Identificación Del Backbone.*

La red inalámbrica existente en la SCUCC funciona en modo infraestructura, que se define como una extensión de una LAN (Red De Área Local) de forma cableada que viene regido por la norma 802.3 (Estándar Ethernet), la cual está distribuida a lo largo de la SCUCC y que permite conectar los AP identificados para que de tal manera esta red pueda ser usada por los estudiantes que usen dispositivos con capacidad de conexión inalámbrica. En la Fig. 3, se observa el backbone identificado.

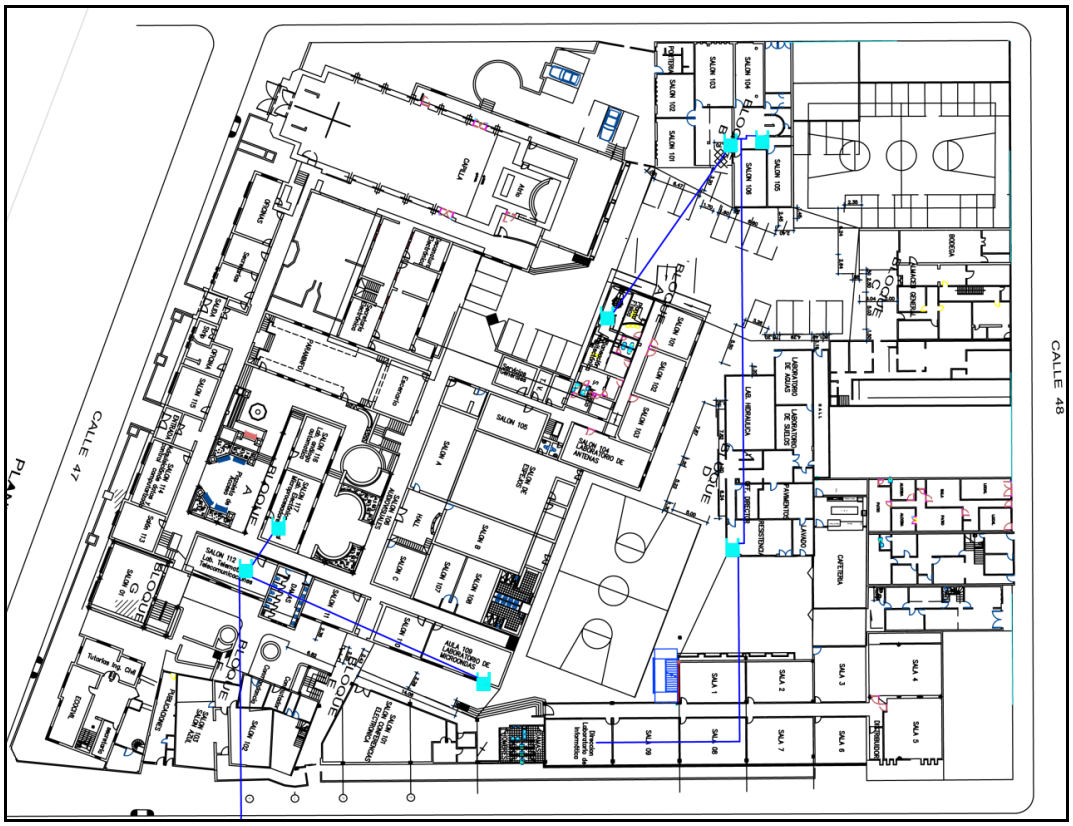

Fig. 3. Plano del backbone que conecta los Access Point identificados en la SCUCC.

Este backbone se identificó haciendo un seguimiento de los Access Point, e indagando a los funcionarios de los laboratorios de Electrónica, logrando identificar, el punto inicial de la red encontrándola en la Sede las Torres, la cual se reparte para la SCUCC llegando al Laboratorio Nº 3 de Electrónica y Telecomunicaciones, a partir de este punto existe una conexión al Access Point Nº 1, y de igual forma al laboratorio Nº1(Samsung), el cual conecta el Access Point Nº 2 y por ultimo este backbone llega al laboratorio Nº 6 el cual se conecta al Access Point Nº 3 que viene del laboratorio Nº 3.

Debido a la poca información suministrada para identificar las restantes conexiones y haciendo el seguimiento, se asume que el otro punto de inicio, para la conexión de los Access Point restantes, empieza en los laboratorios de sistemas del primer piso, desde ese punto conecta al Access Point 3, seguido de los Access Point 4, 5 y 6 ubicados, a partir de este punto se conecta al último Access Point el Nº 7.

De esta manera se logró ubicar el backbone que conecta a los 7 Access Point que se encuentran dentro de la SCUCC.

g. Identificación de la cobertura

Una cobertura es la zona en la cual el receptor puede recibir una señal que le ofrezca el nivel de potencia necesario, para que el usuario pueda acceder a los servicios que esté espera (voz, datos y video) con una calidad aceptable. Dentro de la información obtenida en la identificación de la situación actual de la red se puedo establecer que la tecnología que utiliza cada AP es 802.11g, donde la norma indica que el radio de cobertura que suministra esta tecnología es de 100 metros en interior (indoor) y 300 a 400 metros en exterior (outdoor). Para el caso estudio se tomó como radio de cobertura la distancia correspondiente a 100 metros, teniendo en cuenta que gran parte de las zonas que están dispuestas para que los estudiantes accedan a la red inalámbrica están rodeadas de obstáculo que limitan su libre propagación, por lo cual la mejor aproximación que se puede tomar es un radio de cobertura en indoor.

En los Datasheet de los AP identificados se especifica el radio típico en interior donde la máxima velocidad de trasmisión es de 54 Mbps lo cual concuerda con lo establecido en la norma, además de especificar que para lograr esa velocidad se debe estar a no más de 32 metros del AP. Para el caso estudio la cobertura de la SCUCC se observó al hacer capturas del nivel

de potencia de la señal recibida donde, mediante el uso de un sniffer denominado Inssider se lograron tomar las medidas de intensidad de potencia dada por cada AP presente en la sede desde distinto puntos de la misma ver Fig. 4.

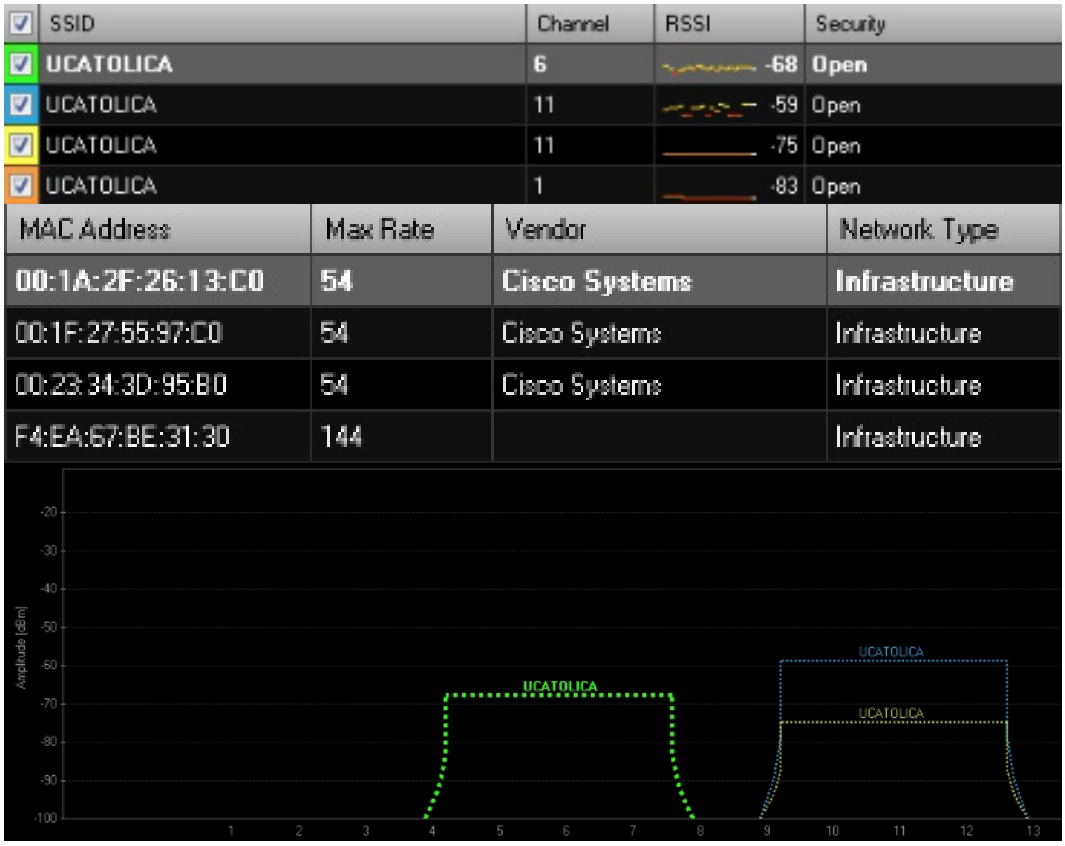

Fig. 4. Información suministrada por el software Inssider.

La Fig. 4, muestra el software Inssider el cual es muy similar a Xirrus Wi-Fi Inspector ya que este también da el SSID del AP, la dirección MAC, el canal de operación, la potencia recibida de cada AP, pero a diferencia del software anterior Inssider nos permite conocer la velocidad máxima de trasmisión de cada AP y una gráfica canal utilizado por cada AP.

En la Tabla 3 se puede observar los niveles de potencia de cada AP, según la distancia a la que se tomó, además de su promedio y se puede observar que al alejarse del AP la intensidad de la señal va disminuyendo al aumentar la distancia. Con la información obtenida se pudo graficar la cobertura real que está otorgando cada AP dentro de la SCUCC mediante el software SigmaPlot el cual permitió realizar una gráfica de niveles con lo cual se puede representar de una manera más clara como es la degradación en la intensidad de la señal al alejarse del AP.

La Tabla 3 muestra en amarillo los promedios de cada AP con relación a las medidas que se tomaron, los espacios en blanco que se observa en la misma corresponden a sitios en los cuales no se puedo tener acceso ya que eran ubicaciones que se encontraban en zonas que presentaban obstáculo y dificultaban las medidas desde esos puntos.

AP	AP 1. (dBm)	AP 2. (dBm)	AP 3. (dBm)	AP 4. (dBm)	AP 5. (dbm)	AP 6. (dBm)	AP 7. (dBm)
norte 5m	-53	-51	-42	-49	-50	-60	-43
occidente 5m		-64	-30	-44	-55	-52	-47
oriente 5m	-56	-38	-64	-59	-42	-45	-47
sur 5m	-39	-51	-53	-57	-46	-34	-36
Promedio	-49	-51	-47	-52	-48	-48	-43
norte 10m	-60	-57	-51	-60			-56
occidente 10m		-62	-40	-46	-45	-46	-53
oriente 10m	-62	-57	-64	-57	-65	-54	-53
sur 10m	-41	-56	-58	-56	-40	-50	-43
Promedio	-54	-58	-53	-55	-50	-50	-51
norte 15m	-58	-63	-82	-55	-71	-72	-66
occidente 15m		-67		-65			-56
oriente 15m	-63		-66	-65	-46	-68	
sur 15m	-46	-59	-58	-57	-73	-67	-47
Promedio	-56	-63	-69	-61	-63	-69	-56

Tabla 3. Niveles de potencia capturado de cada AP y promedios de cada uno.

En la Fig. 5, se observa la cobertura dada por el AP 4 en el cual el punto rojo del centro corresponde a la ubicación del AP con máxima potencia, el color azul indica la potencia recibida a los 15 metros.

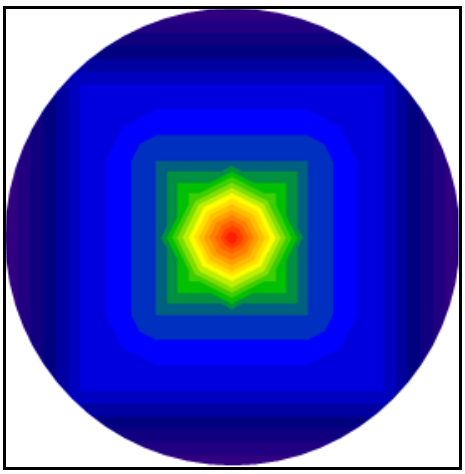

Fig. 5. Cobertura otorgada por el AP 4.

La Fig. 5, muestra una aproximación de la cobertura del AP 4, la cual se obtuvo mediante el software SigmaPlot al suministrarle los promedios de potencia en las diferentes distancias, esta información se pudo ingresar en una gráfica de niveles la cual dio la figura que se muestra, esta figura tiene una aproximación cuadrada ya que las medidas se tomaron en los cuatro puntos cardinales.

Con los radios de cobertura real otorgado por cada AP fue posible incluirlos en el plano de la SCUCC donde están identificados los AP y el backbone existente, para poder observar de una manera clara cuál es la cobertura real en esta sede de la Universidad, ver Fig. 6.

La Fig. 6, muestra la cobertura de los AP presentes en la SCUCC donde se está irradiando fuera de las zonas donde se presenta poca afluencia de estudiantes como lo es la cancha de baloncesto, el parqueadero de la sede, entre otros. Además se evidencia como hay una mala distribución de los AP debido a que más de uno está cubriendo la misma zona, como es el caso de los AP 5 y 6 en la plazoleta Ingles, y el AP 1 y 2 en la

plazoleta de entrada, lo que deja otras zonas de la sede sin una cobertura aceptable.

Para realizar un análisis de la cobertura que se está prestando en la SCUCC se decidió realizar sobre el plano de los AP identificados un diagrama de cobertura ideal para así poder comparar si la radiación que está otorgando cada AP es aproximada a una radiación en condiciones ideales. En la Fig. 7, se puede observar la cobertura ideal de cada AP sobre la SCUCC.

En la Fig. 7, se observa la cobertura ideal de cada AP realizado en un radio de 15 metros para poder comparar la cobertura real que se tomó en el mismo radio.

Al comparar los planos de la cobertura real e ideal de los AP identificados se puede observar que la radiación de los AP es diferente en ciertos lugares, como lo es la ubicación del AP 4, el cual al estar en una zona outdoor es más susceptible a sufrir de interferencias provocadas por las condiciones climáticas, e interferencia de microondas. En contraste para la ubicación de los AP 5 y 6 el diagrama real es una buena aproximación de la cobertura ideal ya que la ubicación en la que están da una condiciones indoor al estar rodeada de salones, lo cual limita las interferencia externas.

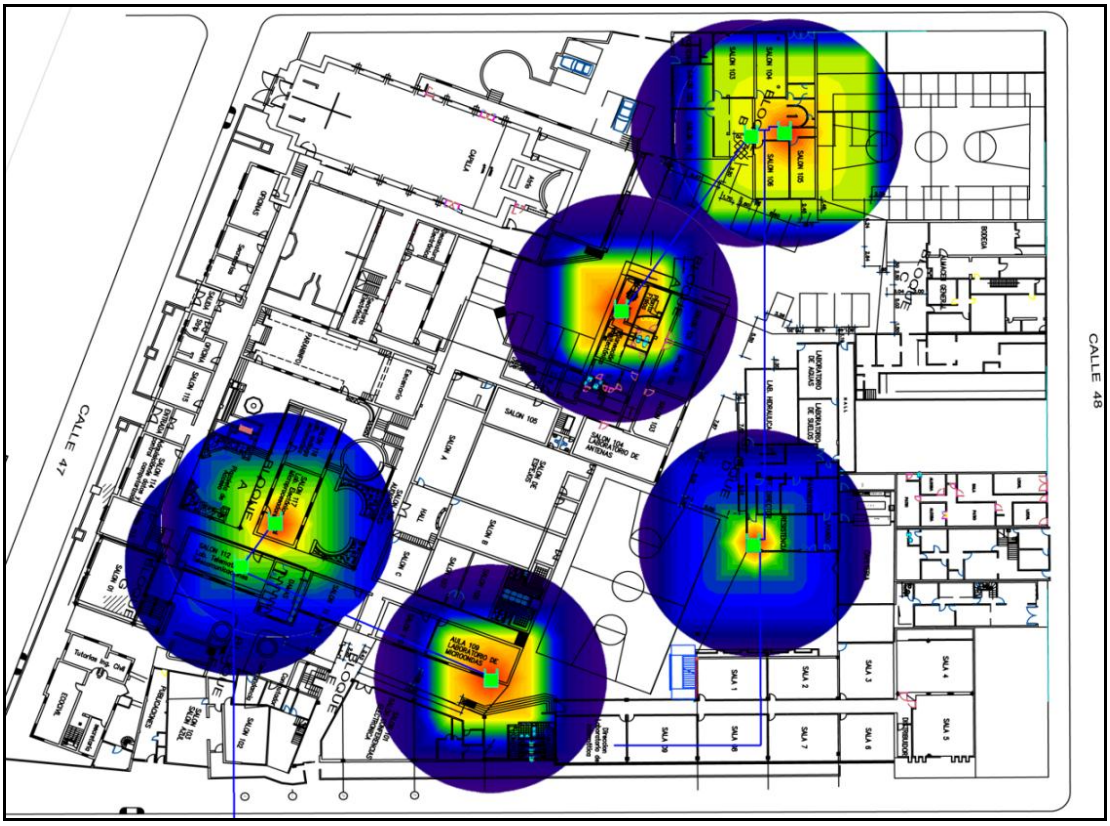

Fig. 6. Plano de la cobertura Ortigada por los 7 AP identificados.

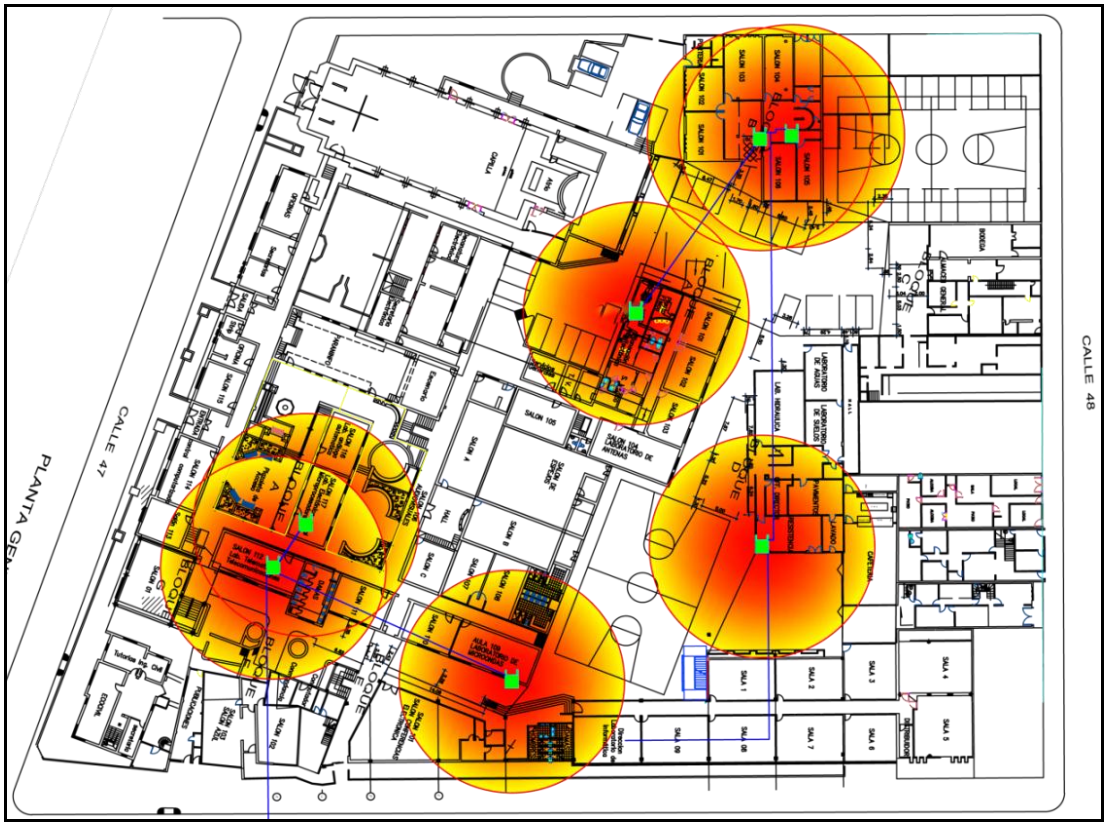

Fig. 7. Plano de la cobertura ideal de cada AP identificado.

h. *Ancho De Banda*

Los servicios que más tienen demanda por los usuarios (Estudiantes), son voz, datos y video, se va a determinar si es posible el acceso a estos servicios, teniendo en cuenta que estén dentro de la cobertura brindada por los Access Point, estos servicios funcionan sobre los protocolos UDP y TCP, sobre los protocolos UDP, corren servicios de voz y video, y en TCP corren servicio de datos.

Cada servicio de los que son usados debe contar con unas especificaciones mínimas de ancho de banda y transmitirlo de forma eficiente, se muestren la siguiente tabla 4. Los requisitos mínimos de ancho de banda que deben cumplir según el servicio para poder hacer la transmisión.

Application	Excellent (kbit/s)	Good (kbit/s)	Basic (kbit/s)	Rejected
Voice	30	30	30	0
Video	2000	384	256	0
Data	100	50	10	0

Tabla 4. Información de ancho de banda para transmisión de voz, datos y video

La Tabla 4 muestra en una calificación de excelente bueno y básico la relación de ancho de banda para poder trasmitir voz, video y datos donde con un ancho de banda de 256 kbit/s se podría trasmitir estos servicios de una manera básica y con un ancho de banda de 2000 kbit/s sería posible transferirlos de una manera excelente.

a. *Protocolo UDP Y TCP.*

El protocolo UDP, es un protocolo que funciona con el principio del mejor esfuerzo, esto me indica que permite la variación del ancho de banda, para poder hacer la transmisión, es un protocolo no orientado a conexión, ya que no existe una confirmación de lo que está enviando, no existe corrección de errores lo cual reduce la información transmitida y le da mayor velocidad.

El protocolo TCP es un protocolo que permite y facilita la administración, es un protocolo orientado a conexión, que permite ver la conexión, comunicación y sincronización entre los host involucrados en la transmisión, es un protocolo que brinda seguridad, al tener bits de confirmación indicando que la transmisión se está realizando de manera efectiva.

Para observar el comportamiento de los servicios con su protocolo, se usó un software que permite ver el ancho de banda, el software permite tener una conexión cliente servidor con el objetivo de que siempre exista alguien que envía y reciba información, según sea su respectiva configuración.

El software permite tener conexión de dos formas de configuración del software, el cual puede ser tanto cliente como servidor, y al ser configurado de modo cliente es necesario ingresar la dirección del servidor para establecer la conexión, además de que es posible configurar él envió de varios paquetes en paralelo, De igual forma permite definir el tamaño del paquete, la duración del envió, intervalos de envió, protocolo sobre el cual se va hacer la prueba.

Al hacer las pruebas sobre UDP, se estableció un ancho de banda de 54 Mbps que es la velocidad teórica que tiene la norma 802.11g, un intervalo de 180 segundos, cada segundo.

El servidor se conectó a la red cableada para poder tener una conexión de la red inalámbrica a la red cableada, se realizaron pruebas desde los puntos con más afluencia de estudiantes, y desde cada punto de estos se realizó la transmisión, se tomaron medidas usando tres tipos de computadores validando el fabricante de cada uno de los equipos usados, se usaron (Toshiba, Hp, Mac), cada tarjeta de red, que tiene los equipos está definida con su respectiva tecnología, este procedimiento se realizó para los dos protocolos (UDP, TCP),obteniendo los siguientes resultados, primeramente se observa los resultados para UDP (Tablas 5,6,7).

COMPUTADOR TOSHIBA		
	CLIENTE	
LUGAR DE TOMA	**BANWIDTH**	**UN**
Plazoleta Básicas	7953	Kbits/sec
Iglesia	6519	Kbits/sec
Plazoleta Gimnasio	22507	Kbits/sec
Plazoleta Samsung	13376	Kbits/sec
Cafetería	5585	Kbits/sec
Plazoleta Ingles	8934	Kbits/sec
PROMEDIO	**10812,33**	**Kbits/sec**

Tabla 5.

COMPUTADOR HP		
	CLIENTE	
LUGAR DE TOMA	**BANWIDTH**	**UN**
Plazoleta Básicas	4586	Kbits/sec
IEEE	3683	Kbits/sec
Plazoleta Gimnasio	6504	Kbits/sec
Plazoleta Samsung	5614	Kbits/sec
Laboratorio 7	3239	Kbits/sec
Plazoleta Ingles	5018	Kbits/sec
PROMEDIO	**4774,00**	**Kbits/sec**

Tabla 6.

COMPUTADOR MAC		
	CLIENTE	
LUGAR DE TOMA	BANWIDTH	UN
Laboratorio 6	3942	Kbits/sec
Iglesia	5809	Kbits/sec
Plazoleta Ingles	4656	Kbits/sec
Cafetería	4265	Kbits/sec
Laboratorio 7	2792	Kbits/sec
Plazoleta Básicas	6136	Kbits/sec
Plazoleta Samsung	8604	Kbits/sec
Plazoleta Gimnasio	10505	Kbits/sec
PROMEDIO	**5838,625**	**Kbits/sec**

Tabla 7.

Los resultados obtenidos evidencian que no existe uniformidad en las medidas obtenidas usando los tres computadores, pero si se analiza más a fondo, se identifican las zonas donde existen mejores resultados de ancho de banda, son las plazoletas del gimnasio y Samsung, y los lugares con los resultados más bajos son la cafetería y laboratorio 7, ahora se observan los resultados obtenidos para TCP, (Tablas 8, 9, 10).

COMPUTADOR TOSHIBA		
	CLIENTE	
LUGAR DE TOMA	BANWIDTH	UN
Plazoleta Básicas	5822	Kbits/sec
Iglesia	3730	Kbits/sec
Plazoleta Gimnasio	13663	Kbits/sec
Plazoleta Samsung	9560	Kbits/sec
Cafetería	545.00	Kbits/sec
Plazoleta Ingles	6965	Kbits/sec
PROMEDIO	**7948,00**	**Kbits/sec**

Tabla 8.

COMPUTADOR HP		
	CLIENTE	
LUGAR DE TOMA	BANWIDTH	UN
Plazoleta Básicas		Kbits/sec
Laboratorio 7	1198	Kbits/sec
Plazoleta Gimnasio	14325	Kbits/sec
Plazoleta Samsung	12920	Kbits/sec
Cafetería	4423	Kbits/sec
Plazoleta Ingles	6588	Kbits/sec
PROMEDIO	**7890,80**	**Kbits/sec**

Tabla 9.

COMPUTADOR MAC		
	CLIENTE	
LUGAR DE TOMA	BANWIDTH	UN
Plazoleta Básicas	10358	Kbits/sec
Iglesia	4723	Kbits/sec
Plazoleta Gimnasio	34255	Kbits/sec
Plazoleta Samsung	20052	Kbits/sec
Cafetería	904	Kbits/sec
Plazoleta Ingles	7682	Kbits/sec
Laboratorio 7	2575	Kbits/sec
PROMEDIO	**11507,00**	**Kbits/sec**

Tabla 10.

Se muestran en las tablas que los sitios con mejores resultados de ancho de banda son la plazoleta Samsung y la plazoleta del gimnasio, y los resultados más pobres son los que ubican en la cafetería y en el laboratorio 7, si se comparan estas medidas con los valores indicados para tener una calidad de trasmisión excelente, buena y básica, la red puede soportar los servicios sin inconvenientes, pero para soportarlos el usuario debe estar dentro de la cobertura que está irradiando el Access Point.

i. Medidas TFTP

El protocolo TFTP, es un protocolo para transferencia de archivos, que realizar él envió de archivos y este permite tener lectura y escritura de un respectivo archivo de un servidor o hacia un servidor, cuenta con poca seguridad ya que no tiene autenticación, y las transferencias se realizan usando datagramas UDP, para realizar la toma de medidas se usó la aplicación TFTP32, que permite realizar transferencia de archivos indicando la dirección IP de los hosts involucrados. Se usaron los 3 computadores Mac, Hp y Toshiba, en los puntos de más afluencia de estudiantes teniendo conectado un equipo a la red cableada, al cual se le va a transferir el archivo desde los 3 computadores, Con este procedimiento podemos tener información sobre los tiempos de transferencia, según el tamaño del archivo, se relacionó con la potencia y el computador que está haciendo la transferencia de archivos.

Las tablas 11,12 y 13, permiten ver que las zonas en donde se presentan mayores tiempos, se encuentran en la cafetería que es donde no existe una buena cobertura, los sitios con menores tiempos se presentaron en las plazoletas Samsung y del gimnasio, ya que la cobertura en esta zona es la mejor que en las demás.

Es importante tener en cuenta que las potencias y tiempos de transferencia, van relacionados al AP, al cual se está conectando el computador, el lugar donde se esté ubicando, que este dentro de una cobertura de radio de 30 mts, y otro parámetro importante, es la cantidad de usuarios que estén conectados al AP, lo que significaría que los tiempos de transferencia tendrán un aumento.

COMPUTADOR TOSHIBA					
LUGAR DE TOMA	TAMAÑO ARCHIVO	UN	TIEMPO DE TRANSFERENCIA	UN	POTENCIA
Iglesia	152545746	bytes	1324	sec	80%
Plazoleta Gimnasio	152545746	bytes	988	sec	90%
Plazoleta Samsung	152545746	bytes	1330	sec	79%
Cafetería	152545746	bytes	3650	sec	30%
PROMEDIO	152545746	bits	1823	sec	70%

Tabla 11. Retardo computador TOSHIBA.

COMPUTADOR HP					
LUGAR DE TOMA	TAMAÑO ARCHIVO	UN	TIEMPO DE TRANSFERENCIA	UN	POTENCIA
Plazoleta Gimnasio	117478104	bytes	1257	sec	58%
Plazoleta Samsung	117478104	bytes	762	sec	74%
Cafetería	117478104	bytes	2331	sec	
Plazoleta Ingles	117478104	bytes	1175	sec	78%
Laboratorio 7	117478104	bytes	3360	sec	92%
PROMEDIO	117478104	bytes	1777	sec	75%

Tabla 12. Retardo computador HP.

COMPUTADOR MAC					
LUGAR DE TOMA	TAMAÑO ARCHIVO	UN	TIEMPO DE TRANSFERENCIA	UN	POTENCIA
Plazoleta Gimnasio	119945462	bytes	1092	sec	68%
Cafetería	119945462	bytes	1675	sec	
Iglesia	119945462	bytes	863	sec	84%
Plazoleta Ingles	119945462	bytes	859	sec	78%
Plazoleta Samsung	119945462	bytes	1008	sec	68%
PROMEDIO	119945462	bytes	1099	sec	80%

Tabla 13. Retardo computador MAC.

j. Propuesta

Con los resultados de las medidas obtenidos, se logra evidenciar que no existe cobertura en la totalidad en el campus universitario, La tecnología que se establece 802.11g, de manera indoor, con un radio de cobertura para que tenga la máxima velocidad de trasmisión debe ser aproximadamente un radio de 15 metros, un diámetro de 30 metros, Con esta información se coloca una cuadricula, tomando las zonas de interés.

Las zonas que van a ser objetivo de estudio tienen que ser numeradas, dando una totalidad de 35 zonas, la grilla que se ubica cada 15 metros, este identifica el radio para esta distancia y es por esto que la posible ubicación de los AP se realiza sobre todas las intersecciones que se presentan en la grilla, esto da como resultado 28 posibles ubicaciones de los AP, que se identifican sobre la Fig. 8, como x1, x2, x3, hasta x28. En la Fig. 8, se puede ver la distribución de las zonas y los Access Points, en las zonas de interés.

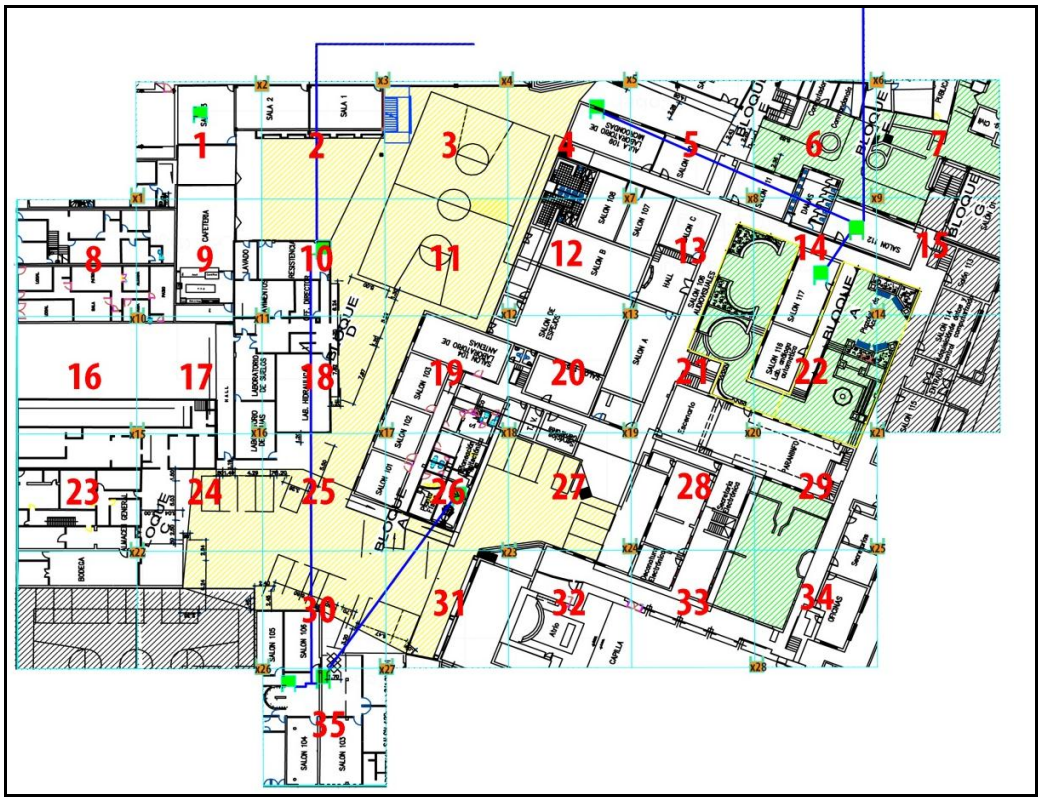

Fig. 8. Plano discretizado por zona y ubicación de los posibles AP.

Con el número de zonas y AP posibles identificados, es posible realizar una relación entre las zonas y los AP que les proporcionan cobertura, como se observa en la Tabla 14, donde para cada zona se identifican los posibles AP que la cubren.

Zonas	AP	Zonas	AP	Zonas	AP
1	x1 y x2	13	x7, x8 y x13	25	x16 y x17
2	x2 y x3	14	X8, X9 y X14	26	x17, x18 y x23
3	x3 y x4	15	X9 y X14	27	x18, x19, x23 y x24
4	x4, x5 y x7	16	x10 y x15	28	x19, x20 y x24
5	x5, x7 y x8	17	x10, x11, x15 y x16	29	x20, x21 y x25
6	x6, x8 y x9	18	x11, x16 y x17	30	x26 y x27
7	x6 y x9	19	x12, x17 y x18	31	x23 y x27
8	x1 y x10	20	x12, x13, x18 y x19	32	x23 y x24
9	x1, x10 y x11	21	x13, x19 y x20	33	x24 y x28
10	x11	22	x14, x20 y x21	34	x25 y x28
11	x12	23	x15 y x22	35	x26 y x27
12	x7, x12 y x13	24	x15, x16 y x22		

Tabla 14. Relación de las zonas y los AP que las cubren.

En la Tabla 15, se observa la relación entre las diferentes zonas y los AP posibles, donde se destaca como una zona puede ser cubierta por varios AP, como es el caso de las zonas 15, 20, y 27 que son cubiertas por cuatro AP al mismo tiempo, y otras zonas que solo son cubiertas por un AP como las zonas 10 y 11. Esta relación entre las zonas y los AP nos lleva a concluir que es necesario poder minimizar la cantidad de AP maximizando las zonas cubiertas para lo cual se utilizó el software Lingo 13.0.

Se observa la programación en Lingo para la minimización de los AP, donde la primera fila representa la función objetivo que como se dijo anteriormente es la minimización de los AP, luego se relacionan las restricciones que se deben cumplir para cada zona según la Tabla 20 las cuales se restringen a menores o iguales a 1 para obtener un AP por cada zona. En la Fig. 9, se observa el resultado dado por Lingo donde se relacionan la cantidad de variables que se tuvieron, las restricciones y el resultado de los AP seleccionados.

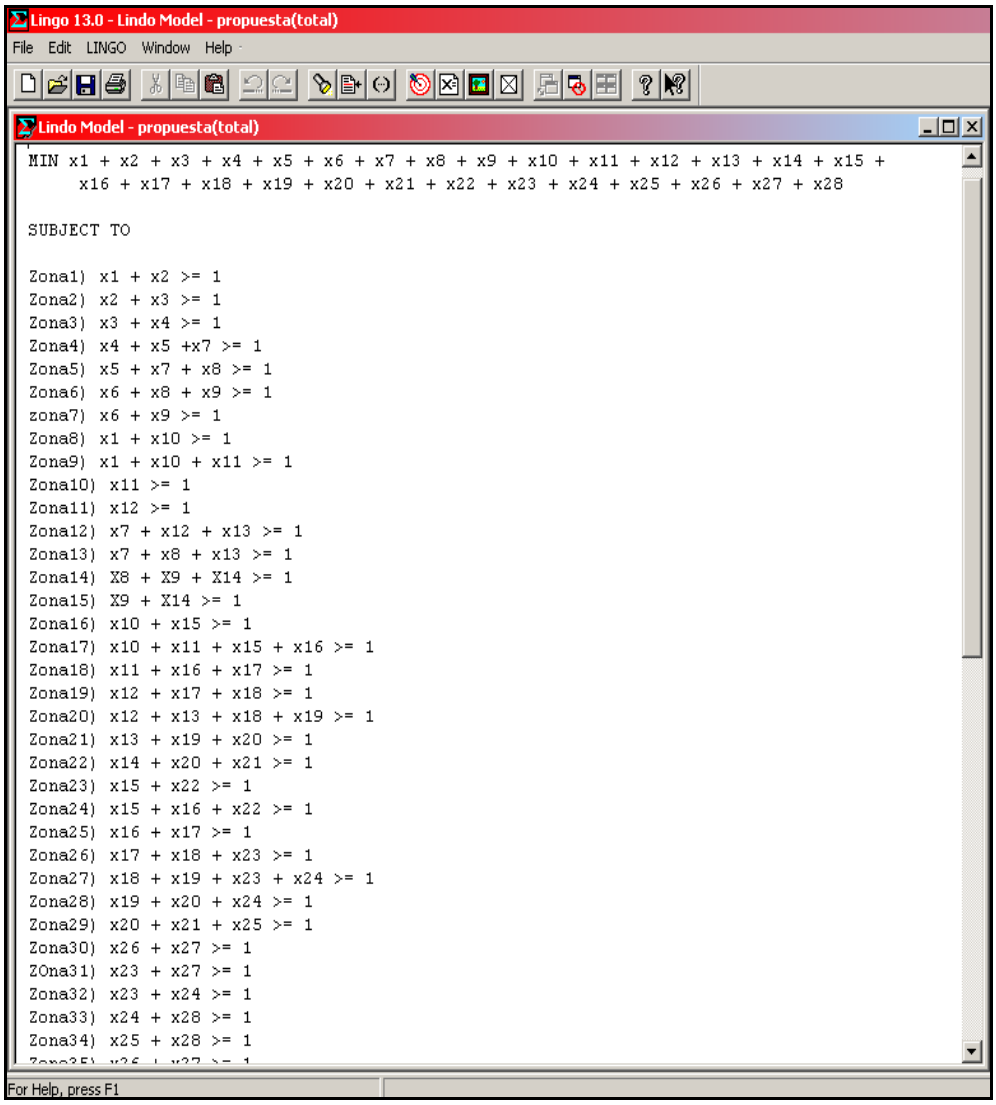

Fig. 9. Programación en Lingo 13.0.

En la Fig. 10, se observa el resultado del cálculo de Lingo, en la parte izquierda se observa la información correspondiente al resultado para la cual la línea Objetive value da el número de AP minimizados el cual es 12 AP de los 28 que se tenían inicialmente. Luego se observa información tal como la cantidad de variables que se ingresaron y las restricciones que se tenían. Finalmente en el costado derecho de la figura se observan los AP que proporcionan la mayor cobertura según las restricciones que se ingresaron.

Global optimal solution found.

Objective value:	12.00000
Objective bound:	12.00000
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	0
Total solver iterations:	0
Model Class:	PILP
Total variables:	28
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	28
Total constraints:	36
Nonlinear constraints:	0
Total nonzeros:	117
Nonlinear nonzeros:	0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	1.000000	1.000000
X2	0.000000	1.000000
X3	1.000000	1.000000
X4	0.000000	1.000000
X5	0.000000	1.000000
X6	0.000000	1.000000
X7	1.000000	1.000000
X8	0.000000	1.000000
X9	1.000000	1.000000
X10	0.000000	1.000000
X11	1.000000	1.000000
X12	1.000000	1.000000
X13	0.000000	1.000000
X14	0.000000	1.000000
X15	1.000000	1.000000
X16	0.000000	1.000000
X17	1.000000	1.000000
X18	0.000000	1.000000
X19	0.000000	1.000000
X20	1.000000	1.000000
X21	0.000000	1.000000
X22	0.000000	1.000000
X23	0.000000	1.000000
X24	1.000000	1.000000
X25	0.000000	1.000000
X26	0.000000	1.000000
X27	1.000000	1.000000
X28	1.000000	1.000000

Fig. 10. Resultado de la minimización de los AP dado por Lingo.

Estos AP representan la minimización que se estaba buscando desde un inicio con los cuales se puede garantizar la cobertura en las diferentes zonas que se plantearon, minimizando el recurso que en este caso serían los AP. En la Fig. 11, se observa la cobertura que se obtiene al incluir en el plano de la SCUCC los 12 AP que se obtuvieron de la minimización.

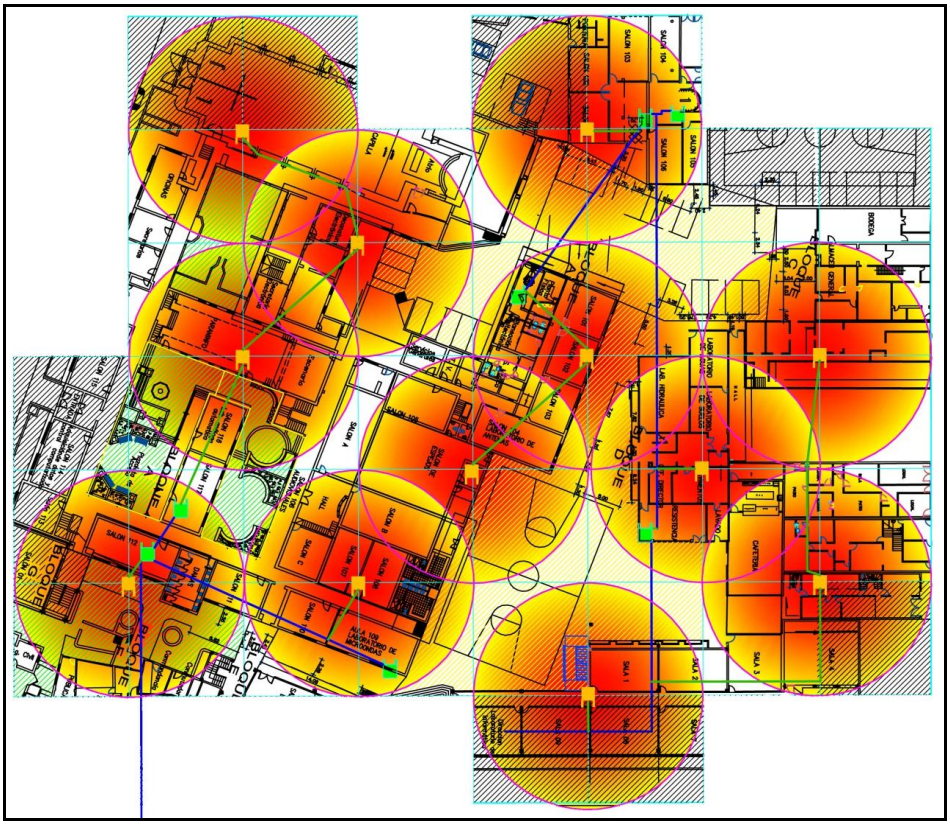

Fig. 11. Ubicación de los AP obtenidos para proporcionar una cobertura máxima en la SCUCC.

En la Fig. 11, se observan los radios de cobertura ideal que proporcionarían los AP obtenidos anteriormente, con lo cual se estaría dando a la SCUCC una cobertura mayor que la proporcionada por la ubicación de los AP que están instalados actualmente. Sobre la figura al observar la ubicación actual de los AP que se representan de color verde y al compararla con los AP obtenidos de color amarillo se puede concluir que la ubicación actual de los AP no fue pensada para proporcionar la mayor cobertura, ya que como se ha mencionado a lo largo de este proyecto existen zonas en las que el recurso no es administrado de la mejor manera como el caso de Plazoleta Ingles donde se observa en este plano que con un solo AP se puede lograr la misma cobertura que están proporcionando los dos AP actualmente. Adicional a los AP propuestos se trazó sobre este plano de color verde un posible recorrido del backbone para conectar esos AP el cual tuvo como origen el actual recorrido del backbone que se identificó en el Capítulo 2 de este trabajo, esto para darle una continuación al recorrido de la red existentes.

IV. CONCLUSIONES

Al momento de realizar el proyecto, como primer paso se recolecto el estado actual de la infraestructura de la red inalámbrica de la SCUCC en la cual al realizar un recorrido por la misma se identificó la ubicación de los AP que la conforman así como parte del backbone que los une, luego teniendo en cuenta las diferentes medidas realizadas sobre esta, se pudo determinar su comportamiento al enviar tráfico, lo que demostró que a pesar de la distribución de los AP , la red soporta él envió de información de una manera aceptable a pesar de que en algunas zonas la trasmisión fuera excelente.

Con la identificación de los Access Point y las pruebas realizadas para determinar su cobertura, se deduce que existe una mala distribución de los Access Point, teniendo en cuenta que existen zonas para las cuales los radios de cobertura presentan un superposición entre sí, como lo son los AP 1 - 2 y AP 5 - 6 los cuales cubren la misma zona generando un mala administración del recurso, además se observa que varias zonas de la universidad presentan una cobertura limitada lo que genera una caída en el rendimiento total de la red, como lo es la Cafetería que al tener un solo AP que la cubre a una distancia de más de 30 metros en su punto más lejano, esta presenta velocidades y ancho de banda menores en comparación con otros sitios donde varios AP cubren la misma zona.

En un ámbito personal y profesional, del proyecto aprendimos, que para un buen diseño de redes inalámbrica es necesario tener en cuenta varios factores como expone Velásquez [13], el cual dice que es importante conocer el tráfico que va a correr por la red, además de la cantidad de AP y los canales de operación, de igual forma como optimizar el recurso para ofrecer un servicios con estándares de calidad altos, porque al observar e intentar interpretar la forma en la que está distribuida la red actualmente no encontramos que esta haya sido pensada en ofrecer a los estudiantes una red que puedan a provechar a máximo si no por el contrario esta posiblemente se forma a base de la demanda que se iba presentando en ciertos lugares de la misma por lo que es posible que esta razón haya generado que existan ciertas zonas de la SCUCC que no tengan una cobertura adecuada.

Para el diseño de una red WLAN, buscando la optimización y la calidad de servicio, se debe tener en cuenta, la cantidad de usuarios, pensando en el crecimiento de los mismos, el área a abarcar, la distribución de los Access Point, porque son puntos de partida que ayudan a que la red tenga un buen desempeño y buena cobertura. Para poder tener calidad de servicios en las conexiones a internet se deben tener en cuenta los procesos que permiten evaluar las tramas que se transmiten, de tal manera el diseño de servidores de autenticación, filtrado de contenido, procesos de NAT (network address traslation), firewall, deben tener una buena distribución con el fin de evitar congestiones en la red y de esa manera disminuir la latencia y tener optimización en la salida a internet.

En conversación con el director del Programa de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones, Ingeniero Luis Felipe Herrera dio a conocer que la cobertura de la red inalámbrica que tiene la SCUCC es de un 30%, lo cual es muy cercano a la aproximación que se obtuvo cuando se graficó la cobertura real dada por los AP. Esto demuestra que el método utilizado para identificar la situación actual de la cobertura fue el indicado, porque al tener en cuenta aspectos como la propagación en indoor y las zonas de mayor afluencia de estudiantes, estas permitieron lograr su identificación con buena exactitud.

Otro aspecto de la red que se obtuvo por parte del Ingeniero fue el canal de salida de la Universidad que es de 40 Mbyte, con el cual se garantiza una buena calidad de trasmisión para salir a internet, además de establecer que el problema de la red no está en su salida sino en la cobertura de algunas zonas de la sede y en la distribución que puedan tener los servidores que filtran el tráfico, los cuales si están mal distribuidos pueden generar latencias aumentando la mala percepción que se pueda tener de la red por parte de los estudiantes.

REFERENCIAS

[1] F. Moliner, Informáticos Generalitat Valenciana, España: Mad, S.L, .2005, Vol. 2.

[2] W. Wheeler, Integrating Wireless Technology in the Enterprise, Elsevier, USA, 2004. p. 56.

[3] W. Wheeler, Integrating Wireless Technology in the Enterprise, Elsevier, USA, 2004. p. 57.

[4] W. Wheeler, Integrating Wireless Technology in the Enterprise, Elsevier, USA, 2004. p. 58.

[5] M. Montico, Guía avançado de redes Wireless, Universo dos Libros Editora, Sao Paulo, 2009, p. 28.

[6] M. Solomon, and D. KIM, Fundamentals of Communications and Networking, Jones & Bartlett Learning, USA, 2013. p. 163.

[7] M. España, Servicios Avanzados de Telecomunicación, Díaz de Santos S.A., Madrid, 2003. p 7.

[8] O. Sallent, J. Valenzuela and R. AGUSTÍ, Principios de Comunicaciones Móviles, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2003. p 69.

[9] Varios Artistas, Redes Inalámbricas en los países Desarrollados. 3ra ed. Hacker Friendly. 2008. p 21.

[10] E. León, H. Siguencia, NORMAS IEEE 802.11ª, 802.11b y 802.11g. Tesina previa a la obtención del Título de Ingenieros en Electrónica. Universidad Politécnica Salesiana, 2006.

[11] C. Velásquez, Diseño de redes inalámbricas de área local (IEEE 802.11b) con base en la demanda de tráfico. Tesina previa a la obtención del Título de Ingenieros en Electrónica Universidad de los Andes. Bogotá, 2007.

[12] H. ROJAS, Análisis de desempeño de una red 802.11 para la transmisión de VoIP. Tesina previa a la obtención del Título de Ingenieros en Electrónica Universidad de los Andes. Bogotá., 2007.

[13] C. Velásquez, Diseño de redes inalámbricas de área local (IEEE 802.11b) con base en la demanda de tráfico. Tesina previa a la obtención del Título de Ingenieros en Electrónica Universidad de los Andes. Bogotá, 2007.