

Optimización de puntos de acceso para una LAN bajo restricciones de cobertura, capacidad y FSL^{*1}

Optimization of points of access for a LAN under restrictions of coverage, capacity and FSL

Otimização de pontos de acesso para uma LAN baixo restrições de cobertura, capacidade e FSL

SEBASTIÁN ANDRÉE CAVIEDES CORREA², ADRIÁN GONZALO ULLOA DE SOUZA², ESTEBAN MAURICIO INGA ORTEGA³

Recibo: 14.04.2017 – Aprobación: 08.04.2018

Resumen: Este documento muestra una solución para minimizar el número de puntos de acceso (AP) necesarios en el diseño de un conjunto de usuarios que se distribuirá en una red inalámbrica de área local (LAN) con la creación de un modelo de optimización, que tiene como objetivo minimizar el número de sitios candidatos para entregar un servicio a cada usuario y reducir la utilización de recursos, por lo cual estará sujeto a restricciones de cobertura, capacidad y pérdida de espacio libre (FSL). La restricción de cobertura tendrá como bases las características proporcionadas por cada AP utilizado en función de su limitación para permitir una conexión entre el sitio candidato y el usuario, el cual debe

Modelo para la citación de este artículo / Template for citation of this article / Modelo para a citação deste artigo:

CAVIEDES CORREA, Sebastián Andrée; ULLOA DE SOUZA, Adrián Gonzalo & INGA ORTEGA, Esteban Mauricio (2017). Optimización de puntos de acceso para una LAN bajo restricciones de cobertura, capacidad y FSL. En: Ventana Informática No. 37 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 13-28. ISSN: 0123-9678

1 Artículo de investigación / Research article / Artigo de pesquisa

Proyecto / Project / Projeto: Optimización de una red de área local / Optimization of a local area network / Otimização de uma rede de área local

Periodo / Period / Período: 09/01/2017 –02/02/2017

Institución / Institution / Instituição: Universidad Politécnica Salesiana (Quito, Pichincha, Ecuador).

2 Estudiantes de Ingeniería Eléctrica / Electrical Engineering students / Estudantes de Engenharia Elétrica, Universidad Politécnica Salesiana (Quito, Pichincha, Ecuador). scaviedes, aulload{@est.ups.edu.ec}

3 Doctor en Ingeniería / Doctor of Engineering / Doutor em Engenharia. Coordinador del grupo de investigación GIREI / Coordinator of the research group GIREI / Coordenador do grupo de pesquisa GIREI, Universidad Politécnica Salesiana (Quito, Pichincha, Ecuador). einga@ups.edu.ec. <http://orcid.org/0000-0002-0837-0642>

estar dentro de su radio de cobertura. La segunda restricción de capacidad, también asociada con las características de los AP, junto con la restricción de cobertura permitirá una conexión a los usuarios dentro del intervalo de cobertura y un número específico de receptores que puedan soportar cada AP. Finalmente, para la tercera restricción se calculará el valor de FSL para cada distancia encontrada entre los AP que darán como resultado un promedio de pérdidas el cual servirá de referencia para condicionar la conexión.

Palabras clave: Red de área local, Pérdida de espacio libre, Puntos de acceso.

Abstract: This document shows a solution to minimize the number of points of access necessary (AP) in the design of a set of users that will be distributed in a wireless network of local area (LAN) by the creation of a model of optimization, who has as aim minimize the number of sites candidates to deliver a service to every user and to reduce the utilization of resources, for which it will be subject to restrictions of coverage, capacity and loss of free space (FSL). The restriction of coverage will take as bases the characteristics provided by every AP used depending on his limitation to allow a connection between the site candidate and the user, who must be inside his radio of coverage. The second restriction of capacity, also associated with the characteristics of the AP, together with the restriction of coverage will allow a connection to the users inside the interval of coverage and a specific number of recipients that every AP could support. Finally, for the third restriction FSL's value will be calculated for every distance found between the AP that they will give like proved an average of losses which will use as reference to determine the connection.

Keywords: Local area network, Free space loss, Points of access.

Resumo: Este documento mostra uma solução para minimizar o número de pontos de acesso necessários (AP) no desígnio de um grupo de usuários que serão distribuídos razão por que em uma rede sem fios de área local (LAN) com a criação de um modelo de otimização que tem como objetivo para minimizar o número de candidatos de lugares para dar um serviço a cada usuário e reduzir o uso de recursos, será assunto a restrições à cobertura, capacidade e perda de espaço grátis (FSL). A restrição que cobre terá como bases que as características proveram por cada AP usado em função de sua limitação permitir uma conexão entre o candidato de lugar e o usuário que deveriam estar dentro de seu alcance. A segunda restrição de capacidade, também associada

com as características de AP, junto com a restrição que cobre permitirá uma conexão aos usuários dentro do intervalo que cobre e um número específico de receptores que cada AP pode apoiar. Finalmente, para a terceira restrição que será calculado o valor de FSL por cada distância adversária entre AP que dará uma média como resultado de perdido que servirá como referência para condicionar a conexão.

Palavras-chave: Rede disto se junta local, Perda de espaço livre, Pontos de acesso.

Introducción

En el artículo se plantea un óptimo dimensionamiento de una red inalámbrica mediante la implementación dinámica de puntos de acceso (AP) candidatos sujeto a las restricciones de capacidad, cobertura y pérdidas en el espacio libre (FSL), los resultados están basados en el análisis de algoritmos de redes de comunicaciones.

Con base en estudios previamente realizados, se considera que las redes inalámbricas implementadas generalmente en la localidad son poco eficientes, y hacen uso de un número innecesario de puntos de acceso lo que se traduce en altos costos de implementación y mantenimiento, por lo que este estudio considera necesario la optimización de dichos elementos para lograr una mayor eficiencia de cada uno de los *Punto de acceso*, asegurando que la red inalámbrica brinde cobertura, confiabilidad y seguridad a cada usuario sujeto a la misma. La función fundamental de una red inalámbrica es hacer posible la interconexión entre varios puntos, como lo aseguran Arciniega, Ayala & Inga (2016, 79), mediante las ondas que se propagan por el espacio transportando información entre mecanismos de comunicación; dicha red inalámbrica debe ser escalable, refiriéndose a la propiedad de crecer sin perder su calidad, seguridad y confiabilidad según lo indican Chang, Liu & Zhang (2013, 879) y Park et al. (2013, 188)

Las tecnologías inalámbricas incorporadas actualmente para la transmisión de información, aseguran Viani et al. (2013, 2385), brindan interoperabilidad, flexibilidad y rentabilidad a la red. Debido al rápido avance, los equipos utilizados tienen un tiempo de vida corto, por lo que, según Masache, Inga & Hincapie (2015, 50), es importante seleccionar de manera adecuada la tecnología que se va a utilizar para implementar la red inalámbrica.

El presente estudio considera las limitaciones que tienen las redes inalámbricas en lo que se refiere a cubrir con cada uno de los usuarios que requieran conectarse, las cuales son: capacidad, cobertura, interferencia y pérdidas en el espacio libre. Haciendo referencia a la limitación de cobertura, Andrade, Morejón & Inga (2016, 74) indican que dicha cobertura de cada uno de los usuarios miembros de la red, está determinada por la característica del punto de acceso, el cual debe garantizar que el 100% de los usuarios puedan acceder a la red en cualquier momento.

El radio de cobertura puede ser fijo o variable, dependiendo del equipo que se utilice y de la marca, para este caso se considera que todos los puntos de acceso utilizados serán de la misma marca y de las mismas características, según coinciden Gómez (2016, 3) y Wang, Qian & Sharif (2013, 125). Por su parte, Varma & Postoyan (2016, 2729) y Zhang & Zhu (2016, 3), consideran dos radios de cobertura, uno de 15 Km y otro de 25 Km en el mejor de los casos, con el fin de que se asegure la transmisión de toda la información de una forma eficiente.

Otra de las limitaciones de las cuales el presente estudio considera importante analizar es la interferencia entre los distintos puntos de acceso, la cual se produce cuando dos o más *Access Point* se encuentran muy cercanos entre sí, lo que provoca que exista una región de intersección de las señales, de acuerdo con Wu, Zhang & Ozgur (2016, 4) y Xu, Liu & Zeng (2016, 581), la optimización planteada en el estudio determina en el caso de que dos puntos de acceso se interfieran, el usuario se conecte al de menor carga, o al que preste mayor capacidad. Se plantea también una restricción de pérdidas en el espacio libre, donde el usuario ubicado a una distancia que originen grandes pérdidas, deberá buscar otro punto de acceso, según señalan Dillon et al. (2016, 3) y Chiu, Chen & Chiu (2016, 121).

1. Fundamento teórico

1.1 Redes de área local (LAN)

De acuerdo con Anaya (2016, 30) las redes de área local, son utilizadas generalmente en empresas, instituciones públicas, librerías y universidades para compartir o comunicar información y recursos, tales como internet, bases de datos, entre otros. Su estructura consiste en

un *switch* principal al cual están conectados otros, los cuales conectan a cada uno de los usuarios de la red. Estas pueden ser alámbricas e inalámbricas.

Según Ruíz et al. (2016, 1), las LAN inalámbricas presentan limitaciones para establecer una conexión eficiente y confiable con cada uno de los usuarios presentes. Por ello, al momento de diseñarlas, para que puedan ser funcionales, escalables y fácil de administrar, de acuerdo con Acurio (2006, 31), se deben tomar en cuenta varios aspectos como conocer los principios de funcionamiento, los medios de transmisión y las topologías existentes.

Las LAN se caracterizan por ser privadas, sus recursos pueden ser compartidos, disponer de una cobertura geográfica limitada, poseer velocidades de transmisión elevadas, y fácilmente instaladas. Estas pueden respaldarse en la tecnología de una red Ethernet, que Acurio (2006, 32) considera como la más utilizada en la actualidad, pues permite un equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación, es decir, obtener grandes velocidades de transmisión, requisito indispensable para el diseño de una LAN, a costos relativamente bajos y teniendo una sencilla implementación e instalación.

1.2 Limitaciones de una red inalámbrica

Con el paso del tiempo se ha buscado simplificar el tipo de red, surgiendo la LAN inalámbrica, que *«proporciona una comunicación de punto a punto y punto a multipunto de alta velocidad. Esta tecnología se adoptó bajo el estándar IEEE 802.11 (WiFi), el cual permite que varios usuarios ocupen la misma banda de frecuencias con mínima interferencia entre ellos»* (Poveda, Medina & Zambrano, 2014, 30), obteniendo una mejor accesibilidad a servicios de comunicación y asegurando mayor calidad de servicio en comparación con una red convencional (cableada), permitiendo una conexión en cualquier lugar y momento de forma simple, lo que la convierte *«en una alternativa para democratizar el acceso a los servicios de comunicación, lo cual reduce fronteras y ofrece diversidad, calidad y costo accesible a los usuarios»* (Pedraza, Gómez & Salcedo, 2012, 47).

No obstante, trae consigo *«algunas limitaciones como: mala disponibilidad de la señal inalámbrica, se ve afectada por las radiaciones electromagnéticas en lugares de alta tensión y no menos importante, las interferencias ocasionadas por las frecuencias de radio que afectan el funcionamiento de los equipos»* (Poveda, Medina & Zambrano, 2014, 30). Tales limitaciones a la red de dos formas: - la primera, se da por

una dependencia con respecto a las características que tenga el *router* que se ve limitado por su capacidad y cobertura, y - la segunda, en la propagación de su señal en las que se ven involucradas las limitaciones de interferencia y pérdidas de espacio libre. En otras palabras, las limitaciones pueden incidir sobre la capacidad (número máximo de usuarios que puede abarcar), cobertura (área geográfica que cubre), interferencia (zonas en la que existe una intersección de varios equipos) y pérdidas de espacio libre (a medida que la señal se aleja del medio transmisor la densidad de potencia disminuye).

1.3 Antecedentes

Entre los antecedentes que reporta la literatura, en el entorno ecuatoriano, son:

- Pérez, Inga & Hincapié (2016, 6) presentan un algoritmo que permite realizar la optimización de las estaciones base requeridas para agrupar un número N de medidores inteligentes, cuyo modelo considera restricciones de capacidad, cobertura e interferencia; parte la necesidad de analizar el comportamiento de un modelo que considere restricciones de capacidad, cobertura y pérdidas en el espacio libre (FSL) para la optimización de puntos candidatos (AP) en una LAN.
- La creciente instalación de AP para la implementación de redes inalámbricas, incrementa los niveles de interferencia entre ellos, por lo que Soriano & Urriola (2015, 6), proponen «*distribuir y coordinar los APs desplegados en el escenario densamente poblado, mediante el desarrollo de un mecanismo de asignación de canales basado en el algoritmo Simulated Annealing con capacidades OSA, que permita minimizar los niveles de interferencia*».
- Mejía (2016, 1), considerando que en la mayoría de los hogares ecuatorianos se instalan *routers Wi-Fi* con tecnología ADSL, que suelen proporcionar conectividad en la banda de 2,4 GHz y con las conexiones *ethernet* disponibles, que trae inconvenientes cuando el alcance de la señal *wireless* no es la esperada, ya sea por la excesiva distancia entre el *router* y el dispositivo receptor o por interferencias, proporcionan diferentes alternativas para ampliar la cobertura de la señal *wireless* en todas las áreas de los hogares.
- Villarreal (2016), atendiendo un requerimiento institucional del Gobierno Autónomo Descentralizado de Otavalo (Ecuador), plantea una propuesta de implementación de redes con tecnología WIFI para proveer servicio de internet inalámbrico en 12 parques y plazas.

- Maldonado (2017, 2), diseña una nueva propuesta de red inalámbrica en los campus Granados. Colón y Queri de la Universidad de las Américas, que aceptará cualquier tipo de dispositivo en cualquier ambiente de navegación, bajo condiciones de seguridad adecuada, ya que *«el diseño contemplará una propuesta de costo beneficio en el dimensionamiento de equipos de nueva generación que se adapten al crecimiento proporcional de la universidad, permitiendo manejar estándares de calidad, servicio y crecimiento progresivo de la red»*.
- Jaramillo (2016, 7), diseña una red para dar un servicio de acceso a internet confiable y oportuno a estudiantes y profesores de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, considerando dimensionar la red inalámbrica con tecnología WiFi, a partir de los planos arquitectónicos, con la finalidad de cubrir el 100% de las áreas, optimizando la cantidad de puntos de acceso y cubrir la totalidad del edificio.

En la presente investigación se sugiere incluir la restricción de pérdidas en el espacio libre, debido a la pérdida de la densidad de potencia de la señal electromagnética, lo cual implica en la disminución de la calidad de conexión para el usuario; asimismo, siguiendo a Pérez, Inga & Hincapié (2016), no se considera la restricción de interferencia (restricción utilizada en la investigación citada anteriormente) haciendo que si un usuario se encuentra en una intersección entre los radios de cobertura de dos o más AP, dicho usuario se conecte al punto que represente la menor pérdida de densidad de potencia.

3. Metodología

3.1 Planteamiento del problema

Para el modelo de optimización creado se planteó un problema *outdoor georeferenciado* en el que se debe cubrir con una red inalámbrica a un total de 128 usuarios repartidos en varios sectores (Figura 1). Para su solución se utilizó un equipo emisor de la señal estandarizado bajo normativa IEEE 802.15.4G, con un rango de cobertura entre (10 - 75) m y una capacidad de 15 canales de 250 Kbps. Se ubicó un total de 41 AP candidatos por los diferentes sectores con el fin que el modelo logre minimizar dicha cantidad y seleccione aquellos que se encuentren mejor ubicados para realizar la cobertura total de usuarios.



Figura 1. Distribución de usuarios.

Entendiendo el problema planteado anteriormente se detalla la función objetivo así como también las restricciones de cobertura, capacidad y pérdidas en espacio libre:

- Función objetivo. Pretende minimizar el número de AP utilizados en la red reduciéndolos a la mínima cantidad necesaria para dar un servicio adecuado a cada uno de los usuarios y reduciendo la ocupación de recursos cumpliendo los límites establecidos para lograr un diseño de red optimizado, de acuerdo con Aguilar et al. (2016, 3) y Donoso et al. (2005, 149).
- Mediante la variable de decisión (se puede asegurar si el sitio candidato es activo ya que toma dos valores de decisión $\{0,1\}$, si en la variable de decisión el valor llega a ser 1 significará que el sitio candidatos será activo por lo cual existirá conexión con al menos un usuario caso contrario si el valor de decisión llega a ser 0 no existirá conexión entre el AP y usuarios descartando de esta forma al sitio candidato, según señalan Aguilar et al. (2016, 3) y Donoso et al. (2005, 150).
- Restricción de cobertura. Este limitante va de acuerdo con las características del equipo, el cual cubre a todos los usuarios que se

encuentren en su rango. Para cada AP (se define una cantidad $\{0,1\}$ de ser 1 el AP está activo, las mismas cantidades son definidas para cada usuario (de ser 1 significa que el usuario es cubierto por lo menos por un AP.

- Restricción de capacidad. Con esta restricción se logra que cada AP pueda conectarse con cierto número de usuarios dependiendo de su ancho de banda, que en conjunto con la restricción de cobertura se limita los AP a conectarse con usuarios que estén dentro de su rango de cobertura y de acuerdo a la cantidad de canales que este posea, como lo expresan Donoso et al. (2006, 2).
- Restricción de FSL. Las pérdidas por espacio libre se generan por la propagación de las ondas electromagnéticas, pues a medida que incrementa la distancia del origen de la señal pierde potencia. Para limitar este inconveniente, señalan Kamo, Cakaj & Agastra (2016, 3), se toma como referencia un valor de pérdidas, que se compara con las distancias entre cada AP con los usuarios, permitiendo la conectividad en aquellas que generen pérdidas menores a la de referencia.

3.2 Metodología del modelo de optimización

Para la formulación de problema se consideraron las variables presentadas en la Tabla 1, modelos matemáticos y pseudocódigo.

Tabla 1. Variables consideradas

Nombre	Interpretación
Conjuntos	
N	Número de usuarios a conectar
M	Número de sitios candidatos (AP)
C	Capacidad de APs
Parámetros y Coeficientes	
S	Sitios candidatos ($S_1, \dots, S_M$)
U	Número de usuarios ($U_1, \dots, U_N$)
X_{si}	Posición de sitio candidato i-esimo, en plano X
Y_{si}	Posición de sitio candidato i-esimo en el plano Y
X_{uj}	Posición usuario j-esimo en el plano X
Y_{uj}	Posición usuario j-esimo en el plano Y
d_{ij}	Distancia entre usuarios y sitios candidatos
FSL_{ij}	Valor de pérdidas en el espacio para cada distancia entre usuarios y APs
Variables de Decisión	
X_i	Si el usuario está cubierto por una AP $\{0,1\}$
Z_i	Si el AP está activo $\{0,1\}$
Y_j	Si existe cobertura $\{0,1\}$

Los modelos matemáticos de la función objetivo son:

Sujeto a:

$$\min \sum_{i=1}^M Z_i$$

$$Y_j \leq \sum_{i=1}^M X_{i,j} Z_i$$

$$X_{i,j} \leq \alpha_{i,j} Z_i$$

$$\sum_{j=1}^N X_{i,j} \leq C \cdot Z_i$$

$$FSL_{i,j} = \left(\frac{4\pi d_{i,j}}{\gamma_{i,j}} \right)^2$$

El pseudocódigo, correspondiente al algoritmo para la creación del modelo de optimización en GAMS, es:

Input: Cobertura (R), Capacidad (Cap), Porcentaje (P), Coordenadas de los usuarios (x, y), Coordenadas de sitios candidatos (xs, ys).

Output: Archivo .gms

- 1: Cálculo del número de usuarios (N) y sitios candidatos (M)
- 2: Se calcula la distancia que existe entre usuarios a cada uno de los sitios candidatos
- 3: Cálculo de FSL para cada distancia encontrada (FSL(i,j)) y creación de la matriz de FSL
- 4: $FSL_{i,j} = \left(\frac{4\pi d_{i,j}}{\gamma_{i,j}} \right)^2$
- 5: Instrucción para generar el archivo .gms
- 6: Declaración de la variable para la función objetivo (Z)
- 7: Declaración de variables binarias (Y, Z, X_{i,j})
- 8: Desarrollo de ecuaciones para la resolución en GAMS
- 9: Ingreso de la función objetivo
- 10: Aplicación de las restricciones de cobertura y capacidad para cada AP
- 11: $Y_j \leq \sum_{i=1}^M X_{i,j} Z_i$

12: $\sum_{j=1}^N X_{i,j} \leq C \cdot Z_i$

13: Ecuación de restricción para cada usuario

14: $X_{i,j} \leq \alpha_{i,j} Z_i$

15: Cálculo del promedio para valores de FSL calculados anteriormente

16: Aplicación de la restricción de FSL tomando como referencia el promedio

17: Generación del archivo .gms

4. Resultados y discusión

4.1 Descripción de resultados

Con el modelo creado (Figura 2) para el dimensionamiento adecuado de una LAN con tecnología WiFi, se minimiza el número de AP usados para brindar el servicio a los usuarios y un lugar estratégico para cada sitio candidato que cumpla con las limitaciones propuestas, considerando su capacidad y cobertura, lo que proporciona su radio de cobertura o alcance máximo y establece un promedio para los valores de pérdidas por espacio libre, calculados en función de las distancias que existan entre los usuarios para cada uno de los sitios candidatos.

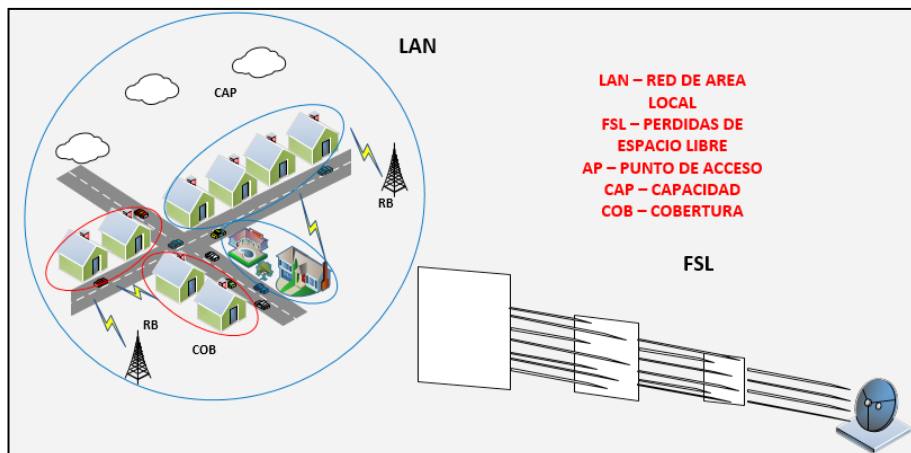


Figura 2. Modelo de la red

En la Figura 2 puede observarse la optimización lograda: cómo los AP proporcionan servicio a los usuarios según el radio de cobertura y su

capacidad, y cómo afectan las FSL, haciendo tangible la reducción considerable de los AP candidatos y su ubicación estratégica. Además, muestra el modelo LAN original considerando los 41 AP con su radio de cobertura representado por cada circunferencia y cada enlace de conexión (15 usuarios por AP), donde los usuarios están conectados a varios puntos, al no considerarse las pérdidas en espacio libre y la variable de decisión (Tabla 1).

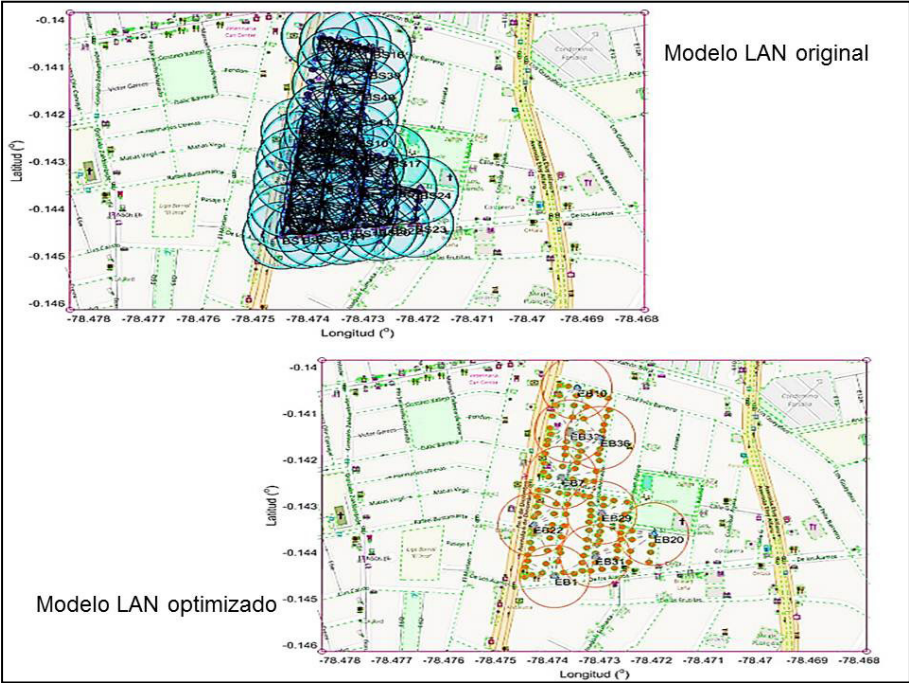


Figura 3. Modelo LAN (original y optimizado)

La Tabla 2 presenta una comparación en la cantidad de equipos utilizados para el modelo LAN original y el modelo optimizado, de tal forma que el segundo puede cubrir a todos los usuarios con una menor cantidad de AP.

Tabla 2. Comparación de resultados del modelo original y optimizado

	# de APs utilizados	# de usuarios cubiertos
Modelo LAN original	41	128
Modelo LAN optimizado	9	128

El modelo de optimización entrega como resultado la cantidad de 9 APs suficientes para que el sistema logre proporcionar un servicio a cada uno de los usuarios. Este resultado se lo obtiene a cada una de las restricciones, ya que se considera un máximo de 41 AP disponibles y cada uno de ellos con una capacidad de 15 canales, esto quiere decir que son 15 usuarios como máximo que se puede conectar a cada AP siendo lo ideal la utilización de 7 o 8 AP, pero bajo la limitación de cobertura no se cumple lo mencionado anteriormente debido a que el radio considerado para cada punto de acceso fue de 12 m y sumándole a esto la restricción por pérdidas en espacio libre los AP que se encuentren a una distancia cercana a los 12 m del punto de acceso activo no serán consideradas, porque exceden el límite de pérdidas permitidas, por esta razón los 9 APs en la Tabla 2 es el resultado óptimo del modelo.

4.2 Discusión de resultados

El modelo de optimización planteado garantiza la conexión de cada uno de los usuarios a la red, cumpliendo con cada una de las limitaciones mencionadas.

Considerando solamente una restricción, se tiene como resultado un número menor de puntos de acceso óptimos (en comparación con los resultados obtenidos aplicando todas las restricciones), a medida que se aumentan las restricciones en el problema se nota que el número necesario de puntos de acceso incrementa, resultado coherente porque un determinado PA puede tener la capacidad para permitir la conexión de un determinado usuario a la red, pero no necesariamente tiene la cobertura estimada para lograrlo, o la atenuación de las ondas debido a las pérdidas en el espacio libre impiden que se realice una óptima conexión.

La reducción de puntos de acceso mediante el modelo de optimización planteado y la eficiencia aumentada de los mismos, se traducen en la reducción de costos de implementación y mantenimiento de la red, una razón más por la que se considera importante su aplicación. Al compararlo con el modelo empleado por Pérez, Inga & Hincapié (2016), se obtienen resultados similares, tanto la restricción de interferencia, como la de pérdidas en el espacio libre y disminuyen la cantidad de APs a ser utilizados.

5. Conclusiones

Con este modelo de optimización puede obtenerse una minimización de APs de la red que se diseña, de tal forma que cumpla con las restricciones deseadas (cobertura, capacidad y FSL). Tomando en cuenta que los 41 AP son el 100% de recursos con los que se puede contar, este modelo reduce a un 22% la utilización de los equipos que pueden ser considerados para la red permitiendo un 78% de disponibilidad, sin embargo dichos porcentajes pueden variar según el caso de estudio.

La cantidad de AP que se originan como resultado de este modelo puede variar mediante la forma en que se ubique a cada sitio candidato inicialmente, debido a que las distancias con los usuarios pueden aumentar o reducirse, por lo que las restricciones de cobertura y FSL juegan un papel muy importante al determinar el número óptimo de sitios candidatos que se activarán.

El software optimizador no presenta inconvenientes para resolver el algoritmo planteado en la investigación, pero se considera que al agregar un mayor número de variables no se logra encontrar una solución adecuada; requiriendo el desarrollo de una heurística para lograr convergencia y obtener un resultado ajustado a la realidad.

Se plantea como trabajo futuro el desarrollo de una heurística para el dimensionamiento de una red inalámbrica mediante la implementación dinámica de puntos candidatos sujeto a las restricciones de capacidad, cobertura, interferencia y FSL.

Referencias bibliográficas

- ACURIO CANTUÑA, Yadiria Fernanda (2006). Diseño de una red de comunicaciones para el honorable consejo provincial de Cotopaxi [en línea]. Proyecto previo de grado (Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones). Quito (Ecuador): Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Electrónica. 189 p + Anexos <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5020/1/T2500.pdf>> [consulta: 07/08/2017]
- AGUILAR S., Darwin; ESPINOSA, O. Nikolai; LEÓN P., Paola; ÁLVAREZ V., Jorge; PARREÑO C., Xavier & GARCÍA B., Marco (2016). Simulación y comprobación de cobertura y compatibilidad electromagnética de operadoras de transmisión de televisión digital para la ciudad de Quito [en línea]. En: IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM) (27-29/04/ 2016). Cartagena (Colombia): IEEE. p. 1-6. ISBN: 978-1-5090-1084-4 <<https://doi.org/10.1109/ColComCon.2016.7516387>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7516387/>> [consulta: 09/01/2017]
- ANAYA PADILLA, Diego Armando (2016). Diagnóstico de la Red de Área Local (LAN) de la Corporación Universitaria del Caribe CECAR [en línea]. Proyecto de grado (Ingeniero de Sistemas). Sincelejo (Colombia): Corporación Universitaria del Caribe, Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura. 190 p. <<https://repositorio.cecar.edu.co/jspui/handle/123456789/208>> [consulta: 21/01/2017].
- ANDRADE MONTOYA, Paúl Alexander; MOREJÓN BASTIDAS, José Luis & INGA ORTEGA, Esteban Mauricio (2016). Cobertura máxima de redes de sensores inalámbricos para un sistema de gestión de energía en hogares inteligentes

- [en línea]. En: INGE CUC, Vol. 12, No 2 (jul-dic). Barranquilla (Colombia): Universidad de la Costa CUC, p. 68-78. e-ISSN: 2382-4700 <<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.07>>, <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/860/pdf_23> [consulta: 09/01/2017]
- ARCINIEGA CALDERÓN, Maricela Alexandra; AYALA ARCINIEGAS, Nelson Andrés & INGA ORTEGA, Esteban Mauricio (2016). Optimización de una red para una casa inteligente basada en IEEE 802.15.4g para una infraestructura de medición avanzada [en línea]. En: Revista de I+D Tecnológico, RIDTEC, Vol 12, No 2 (jul-dic). Panamá (Panamá): Universidad Tecnológica de Panamá. p. 79-88. ISSN: 1238-1271 <<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/1238/1271>> [consulta: 21/01/2017]
- CHANG, Gee Kung; LIU, Cheng & ZHANG, Liang (2013). Architecture and applications of a versatile small-cell, multi-service cloud radio access network using radio-over-fiber technologies [online]. In: IEEE International Conference on Communications Workshops, ICC 2013.(09-13/06/2013). Budapest (Hungary): IEEE. p. 879-883. e-ISSN: 978-1-4673-5753-1 <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6649358/>>. <<https://doi.org/10.1109/ICCW.2013.6649358>> [consult: 09/01/2017]
- CHIU, Jih-Ching; CHEN, Chien-Lung & CHIU, Hong-Wei (2016). The Adaptive Routing Algorithm for Linked-List Wireless Network with Wormhole Mechanism [online]. In: 3rd International Conference on Green Technology and Sustainable Development, GTSD'2016. (24-25/11/2016). Kaohsiung (Taiwan, USA): IEEE. p. 120-125. e-ISSN: 978-1-5090-3638-7 <<https://doi.org/10.1109/GTSD.2016.37>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7796632/>> [consulta: 25/01/2017]
- DILLON, Matthew; FU, Er-hsien Frank; GDULA, Daniel; MAI, Trang; MOLNAR, Joseph & TRAN, Lan (2016). Real and Virtual Wireless Radio Network Emulator [online]. In: IEEE Military Communications Conference, MILCOM 2016. (01-03/11/2016). Baltimore (MD, USA): IEEE. p. 1279-1285. e-ISSN: 2155-7586 <<https://doi.org/10.1109/MILCOM.2016.7795507>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7795507/>> [consult: 21/01/2017]
- DONOSO, Yezid; FABREGAT, Ramón; SOLANO, Fernando; MARZO, José Luis & BARÁN, Benjamín (2005). Generalized multiobjective multitree model for dynamic multicast groups [online]. In: IEEE International Conference on Communications, ICC 2005. (16-20/05/2005). Seoul (South Korea): IEEE. Vol. 1, p. 148-152. e-ISSN: 0-7803-8938-7 <<https://doi.org/10.1109/ICC.2005.1494337>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1494337/>> [consult: 09/01/2017]
- DONOSO, Yezid; FABREGAT, Ramón; SOLANO, Fernando; MARZO, José Luis & BARÁN, Benjamín (2006). Optimizing multiples objectives in dynamic multicast groups using a probabilistic BFS algorithm [online]. In: Fifth International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies, 2006. ICN/ICONS/MCL 2006. International Conference on. (23-29/04/2006). Morne(Mauritius): IEEE. ISBN: 0-7695-2552-0 <<https://doi.org/10.1109/ICN/ICONS/MCL.2006.164>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1628394/>> [consult: 25/01/2017]
- JARAMILLO VINUEZA, Édgar Daniel (2016). Diseño de una red WIFI para brindar servicios de Internet inalámbrico a la Facultad de Ingeniería en Ciencia Aplicadas [en línea]. Resolución del Problema Profesional (Magister en Informática). Ambato (Ecuador): Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Dirección de Posgrado. 50 p. <<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23057>> [consulta: 10/10/2017]
- KAMO, Bexhet; CAKAJ, Shkelzen & AGASTRA, Elson (2016). Poster : Downlink Free Space Loss Compensation through Receiver Bandwidth Selectivity at LEO Satellite Ground Stations [online]. In: Symposium on Communications and Vehicular Technologies, SCVT 2016. (22/11/2016). Mons (Belgium): IEEE. p. 1-5. e-ISSN: 978-1-5090-4361-3 <<https://doi.org/10.1109/SCVT.2016.7797671>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7797671/>> [consulta: 09/01/2017]
- MALDONADO PÁEZ, Francisco Javier (2017). Propuesta de rediseño de la red inalámbrica en ambientes de alto tráfico para la Universidad de las Américas en los campus: Granados, Colón y Queri [en línea]. Trabajo de Titulación (Ingeniero en Redes y Telecomunicaciones). Quito (Ecuador): Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias. <<http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7638/1/UDLA-EC-TIRT-2017-10.pdf>> [consulta: 09/10/2017]
- MASACHE, Paúl, INGA, Esteban & HINCAPIÉ, Roberto (2015). Optimal planning for cellular networks for smart metering infrastructure in rural and remote [online]. In: INGE CUC, Vol. 11, No 2 (jul-dic). Barranquilla (Colombia): Universidad de la Costa CUC. p. 49-58. e-ISSN: 2382-4700 <<http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.11.2.2015.05>>, <<http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/issue/view/69/showToc>> [consult: 21/01/2017]
- MEJÍA IBARRA, Klever Rolando (2016). Propuesta de un diseño de una red Wireless LAN para mejorar la cobertura del acceso al internet proporcionado por los ISP en un hogar [en línea]. Caso de estudio para unidad de titulación especial (Maestro en redes de Comunicación). Quito (Ecuador): Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería. 132 p. + Anexos. <<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13164>> [consulta: 07/10/2017]
- PARK, Soochang; CRESPI, Noel; OH, Seungmin & KIM, Sang Ha (2013). Overlay multicast protocol with proxy districts for dynamic wireless sensor networks [online]. In: 12th IEEE International Symposium on Network Computing and Applications, NCA 2013. (22-24/08/2013). Cambridge (MA, USA): IEEE. p. 187-194. e-ISSN: 978-0-7695-5043-5 <<https://doi.org/10.1109/NCA.2013.44>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6623662/>> [consult: 25/01/2017]

- PEDRAZA, Luis F.; GÓMEZ, Carlos A. & SALCEDO P., Octavio (2012). Implementación de red inalámbrica comunitaria para Ciudad Bolívar [en línea]. En: Revista Visión Electrónica, Vol. 6, No. 2 (Jul). Bogotá (Colombia): Universidad Distrital 'Francisco José de Caldas'. p. 46-57. e-ISSN: 2248-4728. <<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3885/5500>>, <<https://doi.org/10.1109/NCA.2013.44>> [consulta: 07/08/2017].
- PÉREZ CRUZ, David Alberto, INGA ORTEGA, Esteban Mauricio & HINCAPIÉ, Roberto (2016). Optimal sizing of a network for smart metering [en línea]. In: IEEE Latin America Transactions, Vol. 14, No. 5 (may). Rio de Janeiro (Brasil): IEEE Regional 9. ISSN: 1548-0992 <http://www.revistaieeela.pea.usp.br/issues/vol14issue5May2016/14TLA5_13PerezCruz.pdf> <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7530403/>>, <<https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7530403>> [consult: 07/08/2017]
- POVEDA, Neyra; MEDINA, Carlos & ZAMBRANO, Mayteé (2014). Tecnologías de comunicación para redes de potencia inteligentes de media y alta tensión [en línea]. En: Prisma Tecnológico, Vol. 5, No. 1. Panamá (República de Panamá): Universidad Tecnológica de Panamá. p. 29-32. e-ISSN: 2312-637X. <<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/520>> [consulta: 10/10/2017]
- RUIZ-GÓMEZ, Laura; LOZANO-GARZÓN, Carlos; BRAVO, Martín Diomedes, & DONOSO, Yezid (2016). Optimization model to determine the relay stations location into 4G cellular networks [online]. In: IEEE Colombian Conference on Communications and Computing, COLCOM' 2016. (27-29/07/2016). Cartagena (Colombia): IEEE. p. 1-6. e-ISSN: 978-1-5090-1084-4 <<https://doi.org/10.1109/ColComCon.2016.7516390>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7516390/>> [consult: 21/01/2017]
- SORIANO BARZOLA, Fernando Renato & URRIO LA ESTRADA, Diana Stephanie (2015). Algoritmo distribuido coordinado de asignación de canales para redes de comunicación inalámbricas con acceso oportunista [en línea]. Tesina de Seminario (Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones). Guayaquil (Ecuador): Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. 80 p. <<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30054/D-84626.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>> [consulta 10/10/2017]
- VARMA, Vineeth S & POSTOYAN, Romain (2016). Energy Efficient Time-Triggered Control over Wireless Sensor / Actuator Networks [online]. In: 55th IEEE Conference on Decision and Control, CDC' 2016. (12-14/12/2016). Las Vegas (NV, USA): IEEE. p. 2727-2732. e-ISSN: 978-1-5090-1837-6 <<https://doi.org/10.1109/CDC.2016.7798674>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7798674/>> [consulta: 09/01/2017]
- VIANI, Federico; ROBOL, Fabrizio; POLO, Alessandro; ROCCA, Paolo; OLIVERI, Giacomo & MASSA, Andrea (2013). Wireless architectures for heterogeneous sensing in smart home applications: Concepts and real implementation [online]. In: Proceedings of the IEEE, Vol. 101, No.11 (nov). Piscataway (NJ, USA): IEEE. p. 2381-2396. e-ISSN: 1558-2256 <<https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2266858>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6568872/>> [consult: 21/01/2017]
- VILLARREAL LÓPEZ, Irene del Rocío (2016). Diseño de una propuesta de infraestructura de red de comunicaciones móviles WIFI para parques y plazas del cantón Otavalo [en línea]. Caso de estudio para unidad de titulación especial (Maestro en Redes de Comunicación). Quito (Ecuador): Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería. 77 p. + Anexos. <<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13690>> [consulta: 08/10/2017]
- WANG, Honggang; QIAN, Yi & SHARIF, Hamid (2013). Multimedia communications over cognitive radio networks for smart grid applications [online]. In: IEEE Wireless Communications, Vol. 20, No. 4 (aug). New York (NY, USA): IEEE Communications Society. p. 125-132. e-ISSN: 1558-2256 <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6590059/>>, <<https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2266858>> [consult: 25/01/2017]
- WU, Xiugang; ZHANG, Shengli & OZGUR, Ayfer (2016). STAC: Simultaneous Transmitting and Air Computing in Wireless Data Center Networks [online]. In: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 34, No. 12 (Dec). New York (NY, USA): IEEE Communications Society. p. 4024-4034. ISSN: 0733-8716 <<https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2611838>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7572172/>> [consult: 25/01/2017]
- XU, Jing; LIU, Wei & ZENG, Kai (2016). Monitoring Multi-Hop Multi-Channel Wireless Networks: Online Sniffer Channel Assignment [online]. In: IEEE 41st Conference on Local Computer Networks, LCN' 2016 (07-10/11/2016). Dubai (United Arab Emirates): IEEE. p. 579-582. e-ISSN: 978-1-5090-2054-6 <<https://doi.org/10.1109/LCN.2016.97>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7796845/>> [consult: 09/01/2017]
- ZHANG, Xi & ZHU, Qixuan (2016). Information-Centric Network Virtualization for QoS [online]. In: IEEE Military Communications Conference, MILCOM' 2016. (01-03/11/2016). Baltimore (MD, USA): IEEE. p. 1-6. e-ISSN: 2155-7586 <<https://doi.org/10.1109/MILCOM.2016.7795465>>, <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7795465/>> [consult: 21/01/2017]