

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE REDES WI-FI EMPRESARIALES

Pedro Julio Cairo Martínez¹

¹Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), calle 114 No. 11901 entre Rotonda y Ciclovía, Marianao, La Habana, Cuba.

¹pedroj@tesla.cujae.edu.cu

RESUMEN

El empleo de redes Wi-Fi ha renovado el proceso de acceso a la información y los servicios en las organizaciones empresariales. Sin embargo, los métodos utilizados para la planificación, despliegue y control de estas redes no han sido óptimos en muchas ocasiones al ignorar aspectos que pueden hacer más eficiente la red Wi-Fi, mejorar la experiencia de los usuarios y optimizar los recursos empleados en la misma. Por tanto, en el presente artículo se propone un procedimiento de diseño de redes Wi-Fi empresariales teniendo en cuenta las necesidades y restricciones reales de las empresas.

PALABRAS CLAVES: Wi-Fi, *top-down*, procedimiento, diseño.

DESIGN PROCEDURE FOR BUSINESS WI-FI NETWORKS

ABSTRACT

The use of Wi-Fi networks has renewed the process of access to information and services in business organizations. However, the methods used for the planning, deployment and control of these networks have not been optimal in many occasions by ignoring aspects that can make the Wi-Fi network more efficient, improve the user experience and optimize the resources used in it. Therefore, this article proposes a design procedure for enterprise Wi-Fi networks taking into account the real needs and constraints of companies.

INDEX TERMS: Wi-Fi, *top-down*, procedure, design.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy día para llevar a cabo muchos procesos empresariales se necesita Internet, ya sea directa o indirectamente. Tener la información disponible en todo momento y en todo lugar es un punto clave en la actualidad y un servicio que demandan los usuarios cada vez más. El creciente desarrollo tecnológico actual requiere servicios como Intranet, Internet, correo electrónico internacional y nuevas aplicaciones informáticas en disímiles campos.

El proceso de asimilación tecnológica es dinámico y ha devenido en la renovación de los métodos tradicionales de acceso a la información y los servicios. Para ello, el empleo de una red Wi-Fi ha sido una solución ampliamente empleada a nivel de empresa. Sin embargo, los métodos utilizados para la planificación, despliegue y control de estas redes no han sido óptimos muchas veces[1]–[3]. La mayoría de las empresas se limitan a desplegar sus redes de acuerdo a las recomendaciones del proveedor de infraestructura que seleccionaron e ignoran otros aspectos que pueden hacer más eficiente su red, mejorar la experiencia de los usuarios y optimizar los recursos empleados en la misma.

Por otra parte, muchos diseñadores ignoran los requisitos de la empresa en sus soluciones de diseño o tienen preestablecida la tecnología a emplear. Esto ha provocado que la metodología empleada por ellos no sea escalable en muchas ocasiones o se limite a diseños simplistas. A su vez también causa que la red Wi-Fi desplegada cumpla limitadamente los procesos de la empresa. De esta situación problemática se identificó la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar redes Wi-Fi en entornos empresariales que cumplan con los objetivos del negocio, los requerimientos y las restricciones de la entidad? Por ello esta investigación tuvo como objetivo elaborar un procedimiento de diseño de redes Wi-Fi para entornos empresariales, basado en la filosofía de diseño *top-down*, que satisfaga las necesidades de las empresas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Las investigaciones en la rama de las redes Wi-Fi crecen exponencialmente. A igual ritmo estas publicaciones también

se vuelven obsoletas. Para cumplir con el objetivo de esta investigación el autor realizó una búsqueda bibliográfica sobre el diseño de redes Wi-Fi, cuidando garantizar un índice de Price elevado. El principal resultado del análisis realizado, fue que no se identificó una metodología definida y actualizada que cumpla con la estructura *top-down* para el diseño de redes Wi-Fi, y sirva de referencia para diseñadores.

Cronología de los estándares IEEE 802.11

Aunque en sus inicios las WLAN (del inglés *Wireless Local Area Network*) basadas en el protocolo IEEE 802.11, o nombradas como Wi-Fi por la *Wifi Alliance*, fueron enfocadas a lograr movilidad antes que elevadas tasas de transmisión, poco a poco esa visión fue cambiando. La Tabla 1 muestra la evolución de la familia de protocolos IEEE 802.11.

Cada vez se demanda de redes más rápidas y seguras. La creciente demanda de aplicaciones multimedia no puede ser satisfecha empleando los estándares IEEE 802.11b/a/g debido a sus bajos parámetros de *throughput* y capacidad. Sin embargo, IEEE 802.11n marca el inicio de un nuevo tipo de redes Wi-Fi, las WLAN de alto *throughput* (HT-WLAN, del inglés *High Throughput-Wireless Local Area Network*), las que son demandadas para soportar las aplicaciones y servicios actuales, sobre todo, aquellas aplicaciones sensibles al ancho de banda. El reciente protocolo IEEE 802.11ax agrega el concepto de alta eficiencia (HE, del inglés *High Efficiency*) a las redes Wi-Fi. Se considera que en la actualidad el despliegue de las redes Wi-Fi en entornos empresariales debe ser realizado empleando los estándares IEEE 802.11 n/ac/ax. En 2012 y 2013 se introducen IEEE 802.11ad e IEEE 802.11af destinado a las WLAN de muy alto *throughput* (VHT-WLAN, del inglés *Very High Throughput-Wireless Local Area Network*), en la banda de 60 GHz, y TVWS (del inglés, *Television White Space*), respectivamente.

Tabla 1: Características generales de los estándares IEEE 802.11b/a/g/n/ac/ax [4]–[7].

	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ax
Año de publicación	1997	1999	1999	2003	2009	2013	2019
Banda de frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz y 5 GHz	5 GHz	2.4 GHz y 5 GHz
Ancho de banda del canal	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20 MHz	20, 40 MHz	20, 40, 80, 160 MHz	20, 40, 80, 80+80 y 160 MHz
Arquitectura del canal	DSSS, FHSS, IR	HR/DSSS	OFDM	OFDM HR/DSSS	OFDM (MIMO)	OFDM (MU-MIMO) (SU-SISO)	OFDMA (MU-MIMO) (SU-SISO) (Color BSS)
Esquemas de modulación	DBPSK DQPSK	CCK, DBPSK DQPSK	BPSK, QPSK,16-QAM,64-QAM	BPSK, QPSK,16-QAM,64-QAM, CCK	BPSK, QPSK,16-QAM,64-QAM,	BPSK, QPSK,16-QAM, 64-QAM, 256-QAM,	BPSK, QPSK,16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM
Tasa de Transmisión Máxima	2 Mb/s	11 Mb/s	54 Mb/s	54Mb/s	600.0 Mb/s	6933.3 Mb/s	9608 Mb/s
Funcionalidades de Calidad de Servicio (QoS, del inglés <i>Quality of Service</i>) estandarizadas	No	No	No	No	IEEE 802.11e	IEEE 802.11e	IEEE 802.11e

Mecanismos de Seguridad	Filtrado MAC	WEP	WEP	WPA	WPA2	WPA2	WPA3
Aceptación en el mercado	Mala	Muy Buena	Mala	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena (Reciente)
Compatibilidad	Ninguna	IEEE 802.11	Ninguna	IEEE 802.11b	IEEE 802.11b/a/g	IEEE 802.11a/n	IEEE 802.11b/a/g/n/ac
Throughput mayor que 100 Mb/s	No	No	No	No	Sí (HT-WLAN)	Sí (VHT-WLAN)	Sí (HE-WLAN)

Descripción de la filosofía *top-down* para diseño de redes

La metodología *top-down* para diseño de redes propuesta en [8] se enfoca en las aplicaciones. En la primera fase se llevan a cabo la identificación de aplicaciones y objetivos del negocio, el análisis de los objetivos y compromisos técnicos para las aplicaciones y la red como un todo, así como la caracterización de la red existente y su tráfico. La fase de análisis de los requerimientos es la fase más importante en el diseño *top-down* para redes. La segunda fase es el diseño lógico de la red. La fase de diseño lógico une la fase de análisis de los requerimientos, en la que son analizados el flujo de tráfico y los objetivos del negocio, con la fase III o diseño físico, en la que son añadidos el cableado, las tecnologías del nivel de enlace de datos y los dispositivos a la arquitectura final de la red. La cuarta y última fase consiste en probar, optimizar y, finalmente, documentar el diseño de la red elaborado. Tomando como referencia la metodología *top-down* para diseño de redes propuesta en [8], el autor de la presente investigación considera que en el diseño particular de una red Wi-Fi esta se manifiesta como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Adecuación de la filosofía *top-down* al diseño de redes Wi-Fi.

FASE I: Identificación de los objetivos y necesidades del cliente	FASE II: Diseño lógico de la red Wi-Fi
Identificar los objetivos técnicos y del negocio que persigue la empresa con el despliegue de la red Wi-Fi Diagnosticar la infraestructura de red inalámbrica en caso de existir. Caracterizar la red existente en aspectos cruciales para el diseño de la red Wi-Fi. Identificar las aplicaciones y servicios que debe soportar la red Wi-Fi. Analizar las limitaciones y restricciones estableciendo compromisos de diseño. Establecer los requerimientos a cumplir en el diseño de la red Wi-Fi que asegure lograr el nivel de QoS y QoE esperado.	Desarrollar la topología lógica de la red Wi-Fi teniendo en cuenta los requisitos establecidos. Identificar las características que deben cumplir los AP y el DS de acuerdo a la solución seleccionada y los objetivos trazados. Identificar las estrategias de seguridad y gestión de la red Wi-Fi.
FASE III: Diseño físico de la red Wi-Fi	FASE IV: Prueba, optimización y documentación del diseño de la red

Realizar el estudio de cobertura predictivo. Selección del proveedor de infraestructura para AP Wi-Fi, y de la infraestructura para el DS, que asegure cumplir los requisitos establecidos de acuerdo a la topología desarrollada y las características identificadas en el diseño lógico.	Probar el diseño de la red a través de pruebas de una parte representativa de la red Wi-Fi total a implementar que permita hacer inferencias respecto a la consecución de los objetivos trazados, los requisitos establecidos, y la QoS y QoE esperadas. Optimizar el diseño de la red Wi-Fi, de acuerdo a parámetros a mejorar identificados del análisis de los resultados de las pruebas aplicadas Documentar el diseño de la red que debe incluir la topología de la red Wi-Fi, las recomendaciones de seguridad e información acerca de las soluciones y la infraestructura, seleccionadas, así como, los resultados de las pruebas realizadas al diseño de la red y un plan para la implementación de la red Wi-Fi que incluya su gestión.
---	---

Evaluación de los métodos de diseño de redes inalámbricas identificados respecto a la filosofía *top-down*

En búsqueda de un método apropiado para el diseño de una red Wi-Fi se consultaron varias publicaciones en bases de datos como Ieeexplore y Springer, y en revistas científicas, conferencias del ramo, secciones de libros afines, entre otros. Todas las fuentes consultadas tienen un rigor científico y tecnológico adecuado a esta investigación.

Dentro de las publicaciones académicas consultadas se destacan tres que definen métodos claros de diseño de redes Wi-Fi [1]–[3] las demás sirven de complemento a partes del diseño[9]–[15]. Las tres publicaciones identificadas constituyen tesis de diploma de universidades de Perú, España y Ecuador correspondientes a los años 2015, 2018 y 2019 respectivamente. En ninguno de los tres métodos seleccionados se especifica que sigue la filosofía *top-down* para el diseño de redes Wi-Fi. La Figura 1 evidencia el cumplimiento de la metodología *top-down* en las publicaciones consultadas.

Los métodos de diseño identificados cumplen los objetivos para los cuales se emplearon, sin embargo, se puede apreciar que los escenarios de diseño en los que se desenvuelven son sencillos. Emplearlos en escenarios más complejos no sería factible ni eficiente; para ello es necesario reelaborarlos.

Al hacer un estudio de los principales proveedores que gobiernan el mercado internacional de las redes Wi-Fi empresariales en los últimos cuatro años, se observó que Cisco, Aruba y Huawei, coinciden en la mayoría de las referencias consultadas. Cada proveedor tiene su propio manual para desplegar la red Wi-Fi de acuerdo a la tecnología que ofrece.

Obtener un método adecuado para el diseño es crucial para lograr un proceso ordenado y coherente que conduzca a los resultados esperados con eficiencia. En su construcción, se evaluaron las metodologías identificadas en la revisión bibliográfica.

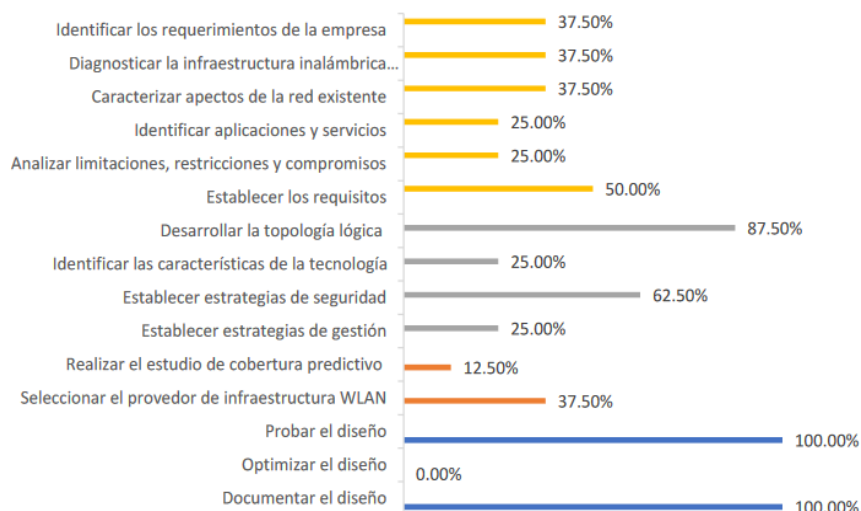


Figura 1: Cumplimiento de la metodología *top-down* en el estado del conocimiento científico.

La metodología 1 se limita al dimensionamiento de usuarios, a través de métodos estadísticos y a la realización de un estudio de cobertura, en función de las áreas identificadas a cubrir y la demanda de usuarios estimada. Se enfoca en configurar y ubicar los dispositivos de la red inalámbrica de forma tal que se alcance la máxima capacidad de cobertura con el equipamiento empleado. Esta metodología no cumple con la estructura propuesta en la metodología *top-down* para diseño de redes. Contempla la implementación práctica del diseño elaborado el cual se valida a través del juicio de expertos resultando que cumple con los objetivos para los que fue diseñada la investigación. Sin embargo, no evidencia un análisis claro de los requerimientos de los objetivos del cliente ni de los requisitos del diseño. No muestra criterios de selección de la tecnología o los dispositivos a emplear ni un diseño lógico de la red de forma tal que se vea que el nuevo diseño de la red Wi-Fi se integra con la red existente y sus mecanismos de seguridad, gestión y administración, entre otros aspectos de interés.

La metodología 2 no cumple con la metodología *top-down* para diseño de redes. En esta primero se realiza la implementación física de toda la red y luego su diseño lógico, lo cual puede perjudicar el desempeño final y la optimización de la red. Divide el diseño en dos partes: Radiocomunicaciones y Telemática. La parte de radiocomunicaciones en cierta forma puede verse como un análisis de requerimientos que establece varios parámetros a emplear en el diseño físico de la red, lo cual es muy útil y complementa a la parte telemática, donde también se establecen requerimientos y además se realizan tanto el diseño físico como lógico de la red.

La metodología 3 contiene todas las partes de las fases de la metodología *top-down* para diseño de redes, aunque no recoge que siga la misma. El autor de la presente investigación opina que la metodología 3 es la más integral, pero debe ser reajustada de acuerdo a la filosofía de diseño *top-down* propuesta en [8] para poder ser aplicada a escenario más grandes.

En la Tabla 3 se muestran los requisitos funcionales (RF) perseguidos por los clientes identificados en las metodologías estudiadas. El autor de la presente investigación tiene en cuenta en la elaboración de su procedimiento de diseño, estos RF y los requisitos no funcionales (RNF) que propone la metodología *top-down* en cuanto a escalabilidad, disponibilidad, desempeño, seguridad, administración, usabilidad, asequibilidad y sus compromisos de diseño.

Tabla 3: Requisitos funcionales de las empresas para la red Wi-Fi.

Requerimiento del cliente	Explicación
Fácil accesibilidad	La red Wi-Fi debe permitir interfaces de acceso amigables, fáciles de usar, que mejoren la experiencia del usuario inexperto sin descuidar la seguridad
Acceso simultáneo de calidad	La red Wi-Fi tiene que garantizar a cada usuario un nivel de calidad de acceso determinado, que asegure QoS, independientemente de la cantidad de usuarios que accedan simultáneamente.
Amplia cobertura	La red debe garantizar conectividad en cada punto del área, no puede haber zonas oscuras. Se tiene que lograr que el área de cobertura sea máxima en la zona de interés.
Escalabilidad	La red tiene que permitir el acceso a la totalidad de usuarios proyectados en un futuro determinado, sin que esto degrade la calidad del acceso ni requiera incorporar más dispositivos. La red tiene que permitir incorporar nuevos dispositivos cuando se requiera.
Mínima ocurrencia de fallas	La red tiene que minimizar la probabilidad de ocurrencia de interrupciones en el acceso inalámbrico.

Descripción de las pruebas y simulaciones identificadas

La propagación de las ondas de radio en los sistemas de comunicaciones inalámbricas es muy difícil de predecir debido a las múltiples fuentes de interferencia y atenuación que pueden existir en el sitio de interés, lo cual hace que las estaciones móviles reciban un nivel de señal aleatorio dentro de ciertos límites [16]–[18]. El nivel de señal recibido es uno de los factores claves en el establecimiento de la comunicación, por eso es necesario realizar un estudio de cobertura para entender completamente el posible comportamiento de la señal inalámbrica antes de colocar los AP Wi-Fi. La Tabla 4 muestra un resumen de las principales herramientas que se emplearon en los métodos de diseño identificados.

Tabla 4: Herramientas empleadas en el diseño de redes Wi-Fi.

Herramienta	Uso	Fase de Diseño
Cisco Packet Tracer	Probar la integración y funcionamiento lógicos de la red inalámbrica diseñada con la red cableada existente.	II
Encuesta	Recoger datos de experiencia del usuario.	I, IV
inSSIDer	Monitorizar el comportamiento de la señal en cada uno de los AP.	IV
NetSurveyor 802.11 Discovery Tool	Analizar el tipo de canal y la calidad de la señal.	IV
Vistumbler	Analizar el tipo de autenticación, tipo de encriptación, tipo de infraestructura, tipo de radio, y promedios de transferencias básicas.	IV
NetSpot Discovery	Analizarlos mínimos, máximos, promedio y banda de la señal.	IV
Juicio de Expertos	Toma de decisiones. Validar la propuesta de diseño.	III, IV

Tamograph Survey	Site	Estudios de cobertura activo, pasivo y predictivo. Análisis de espectro radioeléctrico.	I, III, IV
---------------------	------	--	------------

Las herramientas *inSSIDer*, *NetSurveyor 802.11 Discovery Tool*, *Vistumbler* y *NetSpot Discovery* se complementan entre sí y son útiles para escenarios de experimentación real en la realización de mediciones de diferentes parámetros de la red Wi-Fi, que pueden servir para probar y optimizar la implementación práctica del diseño; sin embargo, no son eficientes en redes inalámbricas de estructura compleja o tamaño grande. La función que hacen de conjunto la puede suplir el *software TamoGraph Site Survey* y las estrategias de gestión, sin embargo, este *software* es de pago.

Todas las metodologías estudiadas tienen en común que se apegan a las regulaciones nacionales sobre el control del espectro radioeléctrico para las redes Wi-Fi o de manera general para las redes de área local por radio (RLAN, del inglés *Radio Local Area Network*) que operen en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz y 5 GHz, según convenga.

3. PROPUESTA

En la sección anterior se realizó un análisis crítico de los métodos y herramientas de diseño de redes Wi-Fi identificados en las fuentes bibliográficas consultadas. Ello permitió al autor de esta investigación elaborar un procedimiento de diseño para redes Wi-Fi con referencia en la metodología *top-down* para diseño de redes. La Figura 2 muestra el esquema general del procedimiento propuesto, en forma de diagrama en bloques. Para una mejor comprensión de este método de diseño, el autor hace un análisis de cada una de sus fases, siguiendo la estructura propuesta anteriormente. En la Figura 3 se muestra un esquema ampliado del procedimiento propuesto en la presente investigación.

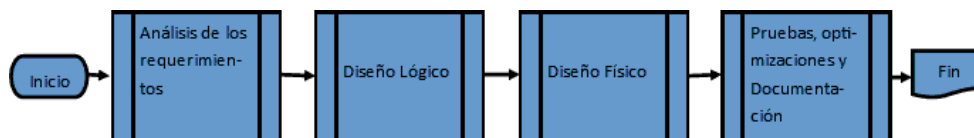


Figura 2: Esquema general del modelo de diseño de la red Wi-Fi empresariales.

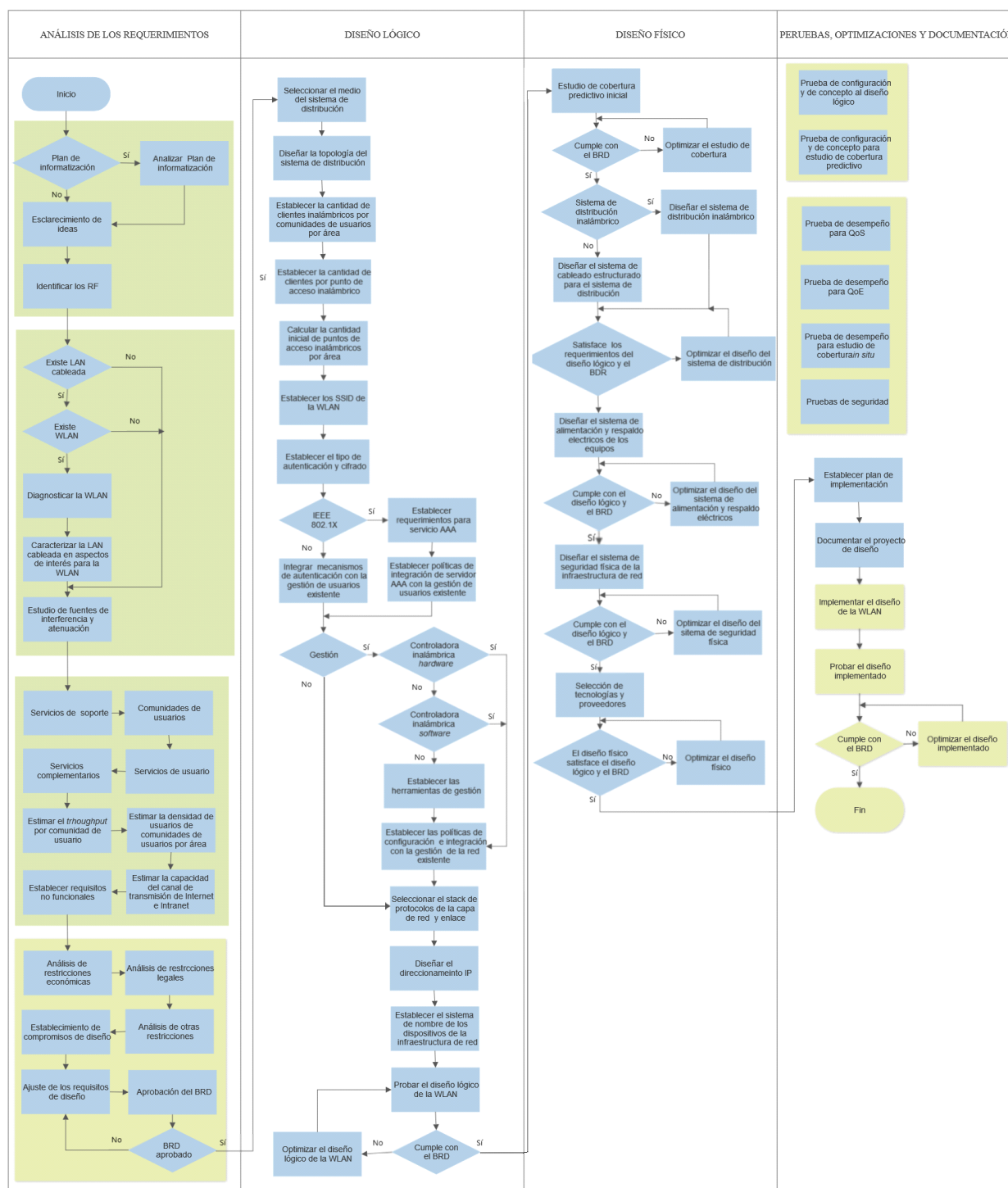


Figura 3: Esquema detallado del procedimiento de diseño de redes Wi-Fi empresariales.

Análisis de los requerimientos

La primera fase del procedimiento la constituye el análisis de los requerimientos, en la que se hace la captación de los requerimientos de diseño. En esta fase se tiene una interacción empresa-diseñador constante y necesaria para entender los objetivos que persigue la empresa con el diseño de la red Wi- Fi, y las limitaciones y compromisos de diseño. Se

traza el camino para lograr un exitoso diseño final que satisfaga las expectativas de la empresa y brinde un servicio de calidad a todos los usuarios de la red Wi-Fi.

Para iniciar el proceso de diseño es fundamental que tanto el diseñador como la empresa esclarezcan sus ideas al respecto y establezcan metas prácticas. La empresa debe brindar acceso al diseñador al plan de informatización y a la documentación de la red, en caso de que exista. En esta primera etapa el autor propone emplear técnicas como encuestas, entrevistas individuales, diagramas y lluvias de ideas. El autor prefiere que los encuestados sean una muestra heterogénea del personal de la empresa dentro de la que no puede faltar personal con poder para toma de decisiones (Ej. Director General, Director Económico, Asesor Jurídico), personal que dirige la informatización (Ej. Director del Área TI), personal con conocimientos técnicos sobre redes de telecomunicaciones (Ej. Administradores y técnicos de redes y seguridad informática) y usuarios que hagan amplio uso de los servicios de la red (Ej. Cualquier usuario experto de la red). Las preguntas dirigidas al personal con poder para la toma de decisiones deben establecer las restricciones económicas, tecnológicas, jurídicas, medioambientales o de otra índole que tenga la empresa. Las restricciones que resulten de este análisis llevan a establecer los compromisos en el diseño y los requisitos finales a cumplir con el diseño de la red Wi-Fi.

En el caso de que la empresa posea LAN (del inglés *Local Area Network*) cableada y WLAN es necesario analizar estas redes. Diagnosticar la WLAN existente es conveniente para verificar si cumple con los propósitos de la empresa y determinar si es necesario o no un diseño que parta desde cero. En este proceso es importante identificar qué puede ser reutilizado en el nuevo diseño. Aunque no exista una red Wi-Fi previa, se hace necesario hacer un estudio de las principales fuentes de interferencias, debido a redes inalámbricas cercanas; y atenuaciones de la señal, debido al entorno donde se desplegará la red Wi-Fi. En redes empresariales la red Wi-Fi se ve como una extensión de la LAN cableada y, por ende, emplea aplicaciones y servicios de o a través de esta. Por lo cual hay que caracterizar la LAN en estos aspectos que pueden ser de interés para el diseño de la red Wi-Fi.

El análisis de los servicios que debe soportar la red Wi-Fi es conveniente dividirlo en análisis de servicios de soporte y análisis de servicios de usuarios. Este debe incluir una búsqueda suficientemente exhaustiva de todos los servicios de usuario y soporte de la red Wi-Fi, si requieren o no QoS y la capacidad del canal que emplean. Esta información es útil para determinar cuál es el estándar a emplear de la familia de protocolos IEEE 802.11 y la tecnología de capa física que lo soporte. La capacidad para cada servicio se puede estimar por análisis de referencias si no se tiene documentada o es un servicio nuevo. En el estudio de los servicios de soporte de la red que influyen en el diseño de la red Wi-Fi, el autor considera como fundamentales el servicio de gestión de identidad y acceso y el servicio DHCP (del inglés *Dynamic Host Configuration Protocol*).

La gran mayoría de las empresas hacen distinciones entre los usuarios de acuerdo a los niveles de acceso y privilegios en el uso de los servicios y aplicaciones de la red, lo cual es también un aspecto a tener en cuenta en el diseño de la red Wi-Fi. El estudio de la capacidad que requiere un usuario para acceder a los servicios y aplicaciones de la red merece una distinción particular ya que es la base para realizar un diseño eficiente y sobre la que se sustentan otras partes del diseño. Es muy difícil calcular con exactitud la capacidad del canal que requiere un usuario para acceder a cada servicio que brinda la red Wi-Fi. Para ello se necesita hacer un análisis de tráfico complejo y minucioso. La mayoría de los diseñadores de redes Wi-Fi no profundizan en esto, sino que toman referencias de datos históricos publicados referentes a servicios homólogos a los que desea emplear y tienen en cuenta, en la estimación de la capacidad, los servicios y aplicaciones que pueden surgir en el futuro. Sin embargo, el autor no siguió ese enfoque en el presente procedimiento. La capacidad inicial total estimada se debe comparar con la capacidad del canal provista a la empresa y la capacidad inicial estimada por área se debe comparar con la tecnología de enlace, lo cual conlleva a establecer otros compromisos en el diseño de la red Wi-Fi y a seleccionar qué estándar de la familia de protocolos IEEE 802.11 es más adecuado en cada escenario.

Una vez que se analicen todos los pros y contras para el diseño, se deben establecer los requisitos finales del diseño que puedan garantizar QoS y QoE al usuario que acceda a los servicios y aplicaciones de la red Wi-Fi. Para concluir la fase de análisis de los requerimientos los acuerdos entre las partes involucradas deben quedar recogidos en el documento de requerimientos del negocio (BRD, del inglés *Business Requirement Document*).

Diseño Lógico

La segunda fase del procedimiento lo constituye el diseño lógico de la red. Durante esta fase se establecen las características del DS (del inglés *Distribution System*) y el ESS (del inglés *Extended Service Set*) de la red Wi-Fi, así

como sus mecanismos de seguridad y gestión que satisfagan los requisitos finales de diseño establecidos en la fase de análisis de los requerimientos.

El DS es el medio a través del cual viajan los datos en una red Wi-Fi y se provee la integración con otros tipos de redes. Un DS cableado ofrece mayor seguridad y velocidad de datos que uno inalámbrico, sin embargo, existen escenarios donde es más factible emplear un DS inalámbrico.

El cálculo del número de AP (del inglés *Access Point*) inicial que se debe combinar con un estudio demográfico para determinar la cantidad óptima de usuarios y, por ende, AP para área y puede incluir el factor F llamado por ciento de simultaneidad de uso de la red el cual toma valores positivos menores que 1. El autor recomienda fijar F en 1 para tener en cuenta la escalabilidad de la red. La cantidad de AP obtenida se debe optimizar por ejemplo por planta de la edificación, por áreas de trabajo, y por áreas de mayor concentración. La tasa de transmisión esperada no debe considerarse como la tasa de transmisión teórica máxima si se quiere obtener una representación real. Para el establecimiento de los SSID (del inglés *Service Set Identifier*) es fundamental analizar los tipos de usuarios, la información que manipulan y el nivel de QoS que requieren, así como la movilidad de estos usuarios dentro de la empresa.

Generalmente las redes empresariales utilizan direccionamiento IPv4 (del inglés *Internet Protocol version 4*) lo que puede causar un agotamiento de las direcciones IP (del inglés *Internet Protocol*) privadas. Se recomienda que dentro del mismo SSID, todos los AP estén dentro de la misma subred para facilitar el proceso de transición entre BSS (del inglés *Basic Service Set*) y emplear un servidor DHCP para el establecimiento de las direcciones IP de los AP de la red Wi-Fi. El autor no recomienda emplear AP Wi-Fi con servicio de traducción de direcciones de red (NAT, del inglés *Network Address Translation*) en redes Wi-Fi empresariales que requieran movilidad transparente entre BSS. Para nombrar los dispositivos de la WLAN se debe establecer un sistema cómodo que permita localizar a los dispositivos rápidamente. Una vez concluido el diseño lógico deben quedar establecidas las características del DS y el ESS a emplear en el diseño físico. En redes de alta complejidad es recomendable culminar el diseño lógico con una prueba de configuración y de concepto.

Diseño Físico

La tercera fase del procedimiento lo constituye el diseño físico de la red. Durante esta fase se realiza un estudio de cobertura predictivo o modelado virtual para lograr una distribución óptima de los AP. El éxito está garantizado si se parte de los requisitos del diseño establecidos en el BRD y del diseño lógico realizado.

La simulación inicial de cobertura inalámbrica de la red Wi-Fi constituye un proceso interactivo de constante evaluación de los requisitos finales del diseño y la seguridad física de los equipos. Como resultado de este proceso se deben recoger los mapas de nivel de señal, tasa de transmisión a nivel físico, relación señal a ruido (SNR, del inglés *Signal-to-noise ratio*), relación señal a interferencia (SIR, del inglés *Signal-to-interference ratio*) y la planificación de radiofrecuencias. Esto es válido tanto para los estudios de cobertura predictivos como *in situ*.

Cuando se logre una distribución óptima de las ubicaciones de los AP entonces se diseña el DS que la soporte. De acuerdo al medio del DS seleccionado en la fase de diseño lógico, el diseño del DS será un diseño de cableado estructurado o de BSS mallados. Una vez distribuidos todos los dispositivos de la red Wi-Fi se debe diseñar el sistema de alimentación y de respaldo eléctrico para la red Wi-Fi, así como establecer la seguridad física de los dispositivos. El autor recomienda emplear tecnología que soporte *Power over Ethernet* (POE) para los dispositivos de la red Wi-Fi. Para la selección de los proveedores de infraestructura para el DS y el ESS se debe ser minucioso. El autor recomienda emplear el método de decisión multicriterio (MCDM, del inglés *Multi-criteria Decision Mechanism*) proceso analítico jerárquico (AHP, del inglés *Analytical Hierarchy Process*) para tomar la decisión final, porque le permite al decisor seleccionar la alternativa que mejor se adecue a los requerimientos de la entidad.

Pruebas, Optimizaciones y Documentación

La última fase del procedimiento recoge las pruebas, optimización y la documentación del diseño final. En la documentación del diseño se debe recoger el plan de implementación de la red Wi-Fi, así como los resultados de las pruebas realizadas. El autor recomienda someter la red Wi-Fi implementada a pruebas de desempeño, para verificar los parámetros de QoS que ofrece la red Wi-Fi; de QoE, para verificar la satisfacción del usuario en la utilización de

la red Wi-Fi y de cobertura inalámbrica, para verificar que el área de cobertura de la red Wi-Fi es óptima. En redes de gran complejidad es conveniente realizar una prueba de configuración y de concepto luego del diseño lógico para verificar que este es consistente y se integra con la LAN existente.

4. CONCLUSIONES

El estudio evolutivo la familia de protocolos IEEE 802.11 es un punto clave para el diseño de redes Wi-Fi debido al crecimiento ininterrumpido de estos estándares desde su surgimiento hasta la actualidad. De ello depende lograr mayor eficiencia, garantizar compatibilidad e incluir nuevos servicios y aplicaciones a la red Wi-Fi. Los resultados alcanzados en la investigación demuestran que el procedimiento desarrollado permite diseñar redes Wi-Fi empresariales de forma ágil y fácil. Constituye un método asequible, estructurado y de baja complejidad con el que se pueden desarrollar diseños eficientes y económicamente factibles. En la propuesta final del procedimiento se combinaron los análisis de capacidad y cobertura, algo que muchos métodos de diseño no conciben, resultando en una propuesta para satisfacer las capacidades de usuarios y cubrir las áreas de interés satisfactoriamente.

REFERENCIAS

- [1] F. J. Lima Guamaní, «Diseño de una red inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.11n/ac para la empresa NGT S.A.», ene. 2019, Accedido: 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20097>
- [2] M. Safont y J. María, «Diseño e implantación de una red inalámbrica unificada en el Colegio Nuestra Señora de Fátima de Valencia», Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València, 2015. Accedido: 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/57385>
- [3] G. A. Arévalo Tuanama, «Propuesta del diseño de red para la distribución de los dispositivos de conexión inalámbrica en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, año 2017», *Univ. Nac. San Martín-Tarapoto*, 2018, Accedido: 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2914>
- [4] «IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Port-Based Network Access Control», *IEEE Std 8021X-2020 Revis. IEEE Std 8021X-2010 Inc. IEEE Std 8021Xbx-2014 IEEE Std 8021Xck-2018*, pp. 1-289, feb. 2020, doi: 10.1109/IEEESTD.2020.9018454.
- [5] «IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications», *IEEE Std 80211-2020 Revis. IEEE Std 80211-2016*, pp. 1-4379, feb. 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9363693.
- [6] «IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN», *IEEE Std 80211ax-2021 Amend. IEEE Std 80211-2020*, pp. 1-767, may 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9442429.
- [7] «IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Enhanced Throughput for Operation in License-exempt Bands above 45 GHz», *IEEE Std 80211ay-2021 Amend. IEEE Std 80211-2020 Amend. IEEE Std 80211ax-2021*, pp. 1-768, jul. 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9502046.
- [8] P. Oppenheimer, *Top-Down Network Design*, 3rd ed. Cisco Press, 2010.
- [9] K. G. Panda, S. Das, D. Sen, y W. Arif, «Design and Deployment of UAV-Aided Post-Disaster Emergency Network», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102985-102999, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931539.
- [10] D. V. Gadasin, A. V. Shvedov, y I. S. Vakurin, «Designing WI-FI Wireless Networks with High Density of Subscriber Service», en *2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*, mar. 2020, pp. 1-4. doi: 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078567.
- [11] A. Aguado Marin, «Diseño de un sistema para la mejora de la QoS de una red Wi-Fi mediante aprendizaje automatizado», ene. 2023, doi: 10/59526.
- [12] O. R. Vega Aguirre, «Diseño de una red WI-FI con servicios analíticos y de hiperlocalización en un centro comercial, Bogotá D.C.», may 2019, Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16471>
- [13] R. C. Baldeón Guillama, «Diseño e implementación de redes Wi-Fi seguras», jun. 2019, Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/97826>

- [14] J. S. Salazar Sierra y B. D. Ortiz Foronda, «Reestructuración de la Red Wi - Fi del Campus Barcelona de la Universidad de los Llanos», oct. 2019, Accedido: 21 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1434>
- [15] M. Ramos Hernández, «Plataforma de gestión centralizada de los dispositivos inalámbricos en la UCLV», Thesis, Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, 2018. Accedido: 27 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/10053>
- [16] ITU Radiocommunication Bureau (BR), «P.341 : The concept of transmission loss for radio links». <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.341-7-201908-I/en> (accedido 27 de marzo de 2022).
- [17] ITU Radiocommunication Bureau (BR), «P.1238 : Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 450 GHz». <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1238-11-202109-I/en> (accedido 27 de marzo de 2022).
- [18] ITU Radiocommunication Bureau (BR), «P.1411 : Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz». <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1411-11-202109-I/en> (accedido 27 de marzo de 2022).

SOBRE LOS AUTORES

Pedro Julio Cairo Martínez: Graduado de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE) en 2020. Profesor de la disciplina Telemática del Departamento de Telecomunicaciones y Telemática de la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica de la CUJAE. Director de la Residencia Estudiantil en la CUJAE. Intereses de investigación: redes Wi-Fi. <https://orcid.org/0000-0001-8487-5653>

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Pedro Julio Cairo Martínez:** conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo hasta la aprobación de la versión final a publicar (100%).

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License*. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

