

Proyecto de investigación para el diseño e implementación de redes MESH
como opción de conectividad a internet en entornos rurales

Edgar Bautista Gamba
Esperanza Valencia Certuche
febrero 2021

Universidad Santo Tomas
Facultad de Telecomunicaciones
Proyecto Dirigido I

Abstract

En este documento se realiza el planteamiento de un proyecto de diseño y metodología de implementación de una red inalámbrica en topología malla MESH, como propuesta de solución de conectividad adecuada, eficiente y oportuna para territorios rurales en Colombia que actualmente no cuentan con servicio de telecomunicaciones o el que se les ofrece es demasiado costoso y está fuera del alcance del promedio adquisitivo de la población.

Tabla de Contenidos

Abstract.....	2
INTRODUCCION	4
1. JUSTIFICACIÓN	5
2. PROBLEMA	7
3. GESTIÓN	8
3.1 Objetivos	8
3.1.1. Objetivo general	8
3.1.2. Objetivos específicos	8
4. REQUERIMIENTOS	9
4.1. MARCO TEÓRICO.....	9
4.1.1. Antecedentes.....	9
4.1.2. Terminología.....	19
4.2. MARCO LEGAL	21
4.2.1. Marco legal para las redes en malla MESH	21
5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	24
5.1. Planeación Metodológica:	25
5.2. Desarrollo Tecnológico:.....	28
6. CONCLUSIONES	29
7. REFERENCIAS.....	30

INTRODUCCION

Este proyecto de investigación va dirigido a poblaciones rurales de Colombia que por distintas razones, como las condiciones de acceso al territorio, una ubicación geográfica específica, o simplemente falta de interés de inversión por parte de los proveedores de servicio, se han visto obligados a mantenerse alejados de la evolución digital, internet, y los beneficios que brindan las telecomunicaciones; especialmente en este tiempo de aislamiento que atraviesa el mundo entero por cuenta del COVID19, afectando aún más aspectos educativos, sociales, ubicándolos en condiciones de desigualdad frente a otras poblaciones que cuentan con beneficio de conectividad, y que, de alguna manera, han podido dar continuidad virtual a actividades tan fundamentales como la educación.

1. JUSTIFICACIÓN

La evolución y el avance de las redes y las telecomunicaciones han impulsado la generación de una era digital, que ofrece infinitas ventajas y soluciones no solo a las personas como individuos, sino a todo tipo de grupo social, empresarial, educativo, entre otros; y ha contribuido en gran manera al desarrollo de la sociedad actual en todos los aspectos, a tal punto de generar una dependencia total de acceso y conectividad. Hoy en día es difícil imaginar alguna actividad que no pueda ser apoyada por el uso de los avances tecnológicos y de telecomunicaciones.

Sin embargo, con estos cambios, nacen también algunas desigualdades que amplían enormemente las brechas ya existentes, y es que, a pesar de la gran evolución, se van notando muchas diferencias con las poblaciones que no tienen acceso a las bondades de la tecnología, entre otras razones porque no llegan soluciones de conectividad a sus territorios. Es el caso de las zonas rurales, las cuales debido a su ubicación geográfica no tienen acceso, o las soluciones que se les brindan son muy costosas.

Surge entonces la inquietud por encontrar una solución que les permita estar en conexión con el mundo digital y alcanzar los beneficios que se pueden obtener de estar comunicados digitalmente.

De acuerdo con lo expuesto, este proyecto se basa en diversos estudios que plantean las redes inalámbricas en malla como una solución acertada para cubrir largas distancias en diversas geografías y en distintas partes del mundo.

Es posible implementar una red de cadena inalámbrica económica que abarque una distancia de cientos de kilómetros con una resistencia razonable contra la propagación de radio incierta y las fallas de los nodos. Se puede lograr una mayor robustez de las redes en cadena utilizando métodos de reenvío oportunistas y agregando redundancias en la topología

de la red. Las redes con nodos redundantes también exhibieron robustez frente a diversas situaciones de falla. (Zaidi, Z. y Lan, KC, 2017, p. 29)

Algunos proyectos de redes inalámbricas comunitarias fueron publicados en la revista Visión Electrónica año 6 número 2, donde se expone y demuestra su viabilidad y sostenibilidad a largo tiempo, demostrando ser adaptables a las condiciones geográficas de la zona.

Abdelaal y Alí describen la instalación de una red comunitaria WiFi en Nepal que fue creada con la finalidad de ampliar la cobertura en zonas aisladas y de difícil acceso, esto ofreció a las comunidades de 42 aldeas acceso a internet, y servicios como correo electrónico, educación virtual, tele consultas, transferencias de dinero, entre otros; beneficiando escuelas, clínicas, centros culturales y comunitarios.

En Wray, Inglaterra, se implementó una red en malla WMN en todo el pueblo, por iniciativa de la Universidad de Lancaster, permitiendo a los pobladores acceder a internet por primera vez. (Pedraza, L. Gómez, C. Salcedo, O.,2012, p. 47-48)

2. PROBLEMA

Las comunidades de las zonas rurales en Colombia constantemente presentan dificultades para acceder a la red de internet y, en términos generales, a los servicios que se ofrecen mediante las tecnologías de red y comunicaciones, por ejemplo, servicios de educación virtual, financieros, de salud, entre otros. Debido a la baja cobertura que brindan los operadores, los altos costos de inversión, la geografía de los territorios o el difícil acceso, como también el bajo poder adquisitivo de las poblaciones entre otros factores. Las posibilidades que brinda internet como fuente de información y comunicación, están siendo desaprovechadas en estas zonas precisamente por no contar con el servicio.

Una vez descritas las consideraciones anteriores se espera con este proyecto propuesto ofrecer una solución de conectividad efectiva y a bajo costo. ¿Podrían las redes inalámbricas en Malla MESH llegar a ser una solución efectiva para esta problemática en las poblaciones rurales de Colombia?

3. GESTIÓN

3.1 Objetivos

3.1.1. Objetivo general

Diseñar una red inalámbrica mediante la tecnología en Malla MESH, como alternativa de solución para mejorar la conectividad a internet en las zonas rurales de Colombia.

3.1.2. Objetivos específicos

- Demostrar que la solución ofrecida, basada en redes MESH, es la mejor alternativa a implementar por su eficiencia y bajo costo.
- Determinar una metodología para el diseño de una red en Malla MESH, que se ajuste a la problemática identificada.
- Definir los requisitos base indispensables para la implementación de una red inalámbrica en malla en las zonas rurales
- Identificar los territorios en Colombia que son poblaciones potenciales para ofrecer la solución propuesta en este proyecto.

4. REQUERIMIENTOS

4.1. MARCO TEÓRICO

4.1.1. Antecedentes

Con el propósito de presentar la información consultada más relevante y directamente relacionada con el objeto de investigación se relacionan los siguientes documentos y se organizan de acuerdo con la valoración del aporte investigativo para este proyecto:

1	Internet en zonas rurales Autores: Zaidi Z, Lan K-c Libro: Wireless multihop backhauls for rural areas: A preliminary study. (April 12, 2017)
	En este estudio preliminar los autores demuestran, por medio de simulaciones y modelos matemáticos, que el uso de redes Wifi de múltiples saltos puede ser una solución practica y rentable para la conectividad rural. Son estimadas diferentes posibilidades para brindar conectividad en las zonas rurales distantes de las grandes ciudades y poco pobladas. Por ejemplo, revisan la alternativa de conexión satelital, la cual, a pesar de proporcionar cobertura mundial, es muy costosa para poblaciones escasamente pobladas, lo que hace que sea descartada debido a su poca capacidad de retorno de inversión. Por otro lado, el uso de antenas direccionales requiere línea de vista, esto obliga a utilizar torres muy altas que garanticen el enlace, es así como estas y otras alternativas son consideradas en este estudio con el fin de determinar la solución más viable

	con el objetivo de ofrecer una atractiva, económica y efectiva solución de conectividad.
2	Gestión de recursos, redes malladas inalámbricas “A resource management system for transmission capacity enhancement in wireless mesh networks”. ARTICLE http://dx.doi.org/10.14482/inde.34.2.7162 Sistema de gestión de recursos para mejorar la capacidad de transmisiones en redes malladas inalámbricas Volumen 34, No. 2 Julio-diciembre, 2016 ISSN
	Con numerosos nodos activos en una red de malla inalámbrica basada en 802.11, que operan en rutas de varios saltos más largos, la capacidad de transmisión total es limitada y la red general se vuelve impredecible y menos confiable. Este documento describe los pasos hacia una gestión de recursos más eficiente de un nodo multiradio, con el fin de mejorar el rendimiento en este tipo de redes. Proporciona una revisión completa de los modelos de distribución de carga existentes. Afirma que la asimetría entre rutas es un problema importante en el equilibrio de carga de múltiples rutas. Con el equilibrio de carga de salto a salto, la asimetría es de menor importancia.
3	Redes inalámbricas en malla MESH Autores: Lesta, A. Andreu, F. Pellejero, I. Libro: Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN.

	Se denominan redes Mesh a un conjunto de redes interconectadas mediante enlaces inalámbricos de manera dinámica y basado en un algoritmo que optimiza el proceso de enrutamiento. Por lo tanto, la ruta establecida optimiza el tráfico de red y genera otras rutas alternativas en caso de fallos. Esta tecnología de redes inalámbricas tiene como objetivo mejorar o ampliar la cobertura de las redes inalámbricas, cubriendo zonas en las que no es posible instalar cableado facilitando así la conectividad. En esta topología de redes es posible conectar múltiples antenas o puntos de acceso inalámbrico, al menos uno debe estar conectado a la red cableada. Las redes MESH ofrecen las siguientes ventajas en comparación con las redes estáticas tradicionales: Configuración dinámica de enlaces, facilidad de configuración, instalación y escalabilidad de la red, tolerancia a fallos, disponibilidad de caminos redundantes alternativos, soporte de mayor número de saltos entre puntos de acceso.
4	Arquitectura de gestión distribuida. Teja, J. Á. I. (2016). Arquitectura de gestión distribuida para redes malladas inalámbricas: aplicación en el entorno de la red personal (Doctoral dissertation, Universidad de Cantabria)
	Propuesta de una arquitectura de gestión que su autor basa en un modelo de organización centralizado/jerárquico de tres niveles, adaptándolo a las características de una arquitectura de redes de nueva generación, incluyendo conceptos novedosos como la Community Area Network (CAN), en la que los

	entornos personales comparten servicios y recursos en entornos distribuidos. Esta arquitectura de gestión se implementa y valida sobre un prototipo enmarcado en el proyecto europeo PACWOMAN. Este prototipo es, además, el punto de partida de una nueva línea de investigación, en la que se caracteriza de forma teórica las redes multisalto, para mejorar la arquitectura de gestión propuesta inicialmente hacia un modelo distribuido y jerárquico.
5	Arquitectura de una red MESH Autores: Blanco, F., & Ruiz, D. (2006). Formulación de una Metodología para Diseñar e Implementar redes MESH como alternativa de solución para redes comunitarias o rurales; Proyecto de Apoyo; Construcción de un esquema tecnológico para Protocolos de enrutamiento en redes MESH. Ph. D. disertación, Congreso iberoamericano deficiencia, tecnología, innovación y educación, Buenos Aires, Argentina. Artículo 941
	La arquitectura WMN se clasifica en tres tipos, está la WMN infraestructura, WMN Cliente y WMN Híbridas. Se describe a continuación cada una de ellas. WMN Infraestructura, permite conectar una red cableada a algunos dispositivos inalámbricos mediante una estación base, la cual es llamada punto de acceso y se usa de controlador central de la red inalámbrica, así mismo coordina la interconexión de los dispositivos de la red. WMN Cliente, en este caso se compone por dispositivos Mesh cliente, haciendo la función de conexión Ad-hoc o peer to peer hacia otros equipos cliente de la red, se procede a configurar como una red de área local independiente, la cual no se

	encuentra conectada a una red de infraestructura cableada, las estaciones se vinculan unas con otras, por lo tanto, la red es independiente. En cuanto a la configuración de una red inalámbrica modo Ad-hoc, se usa para instaurar una red en un sitio donde no haya infraestructura inalámbrica WMN Híbridas, en esta topología se combina la red Ad-hoc y la topología de la infraestructura. Las redes Mesh facilitan combinar las ventajas de las arquitecturas infraestructura y cliente. En varias ocasiones, la topología en malla es utilizada en conjunto con otras topologías y así conformar una topología híbrida.
6	Redes Privadas y Redes Públicas Autores: Mario Guerrero Soto Libro: Interconexión de Redes Privadas y Redes Públicas
	En este texto se describen diferentes elementos para conocer y elaborar redes y cómo realizar la interconexión, entre ellos se encuentran los medios físicos, interconexión de redes, modelos de referencia, dispositivos de infraestructura de red, direccionamiento de IP (IP addressing), encaminamiento IP (IP routing), conmutación y redes virtuales (VLAN), entre otros. Dentro de los factores para tener en cuenta, los conceptos de electricidad y electrónica son parte esencial. “Investigamos el consumo de energía y el uso del ancho de banda para el intercambio de información entre dos nodos terminales en una red ad hoc inalámbrica lineal. Específicamente, proponemos un esquema conjunto de codificación de red y control de potencia adaptativo (NCPC) que regula la potencia

	de transmisión para reducir el uso total de energía y aumentar la eficiencia del ancho de banda.” T. Tran, D. Nguyen y T. Nguyen
7	Redes inalámbricas Autores: Joaquín Andreu Libro: Redes inalámbricas (Servicios en red) 2011
	Las redes inalámbricas se refieren a las redes sin cable y se comunican a través de medios no guiados o mediante ondas electromagnéticas. La transmisión y recepción se realiza por medio de antenas. Algunas de las antenas se utilizan para la emisión y otras para la recepción o en su efecto, en la mayoría de las veces actúan de ambos modos. También se puede trabajar con antenas intermedias, las cuales son adecuadas para distancias cortas, o repetidoras para un alcance mayor. Las redes inalámbricas son utilizadas para realizar conexiones de datos y con frecuencia se usan para la emisión de señales de televisión, telefonía, cámaras de seguridad, sensores, entre otros. Algunas de las características para tener en cuenta en este tipo de sistemas son: la rápida instalación de la red, dado que no se requiere cableado, permite movilidad dentro del radio de recepción de la señal, los costos de mantenimiento son reducidos, accesibilidad, las redes inalámbricas contribuyen en la colaboración, se presta para realizar teletrabajo etc. De igual manera es una solución adecuada para las zonas donde no llega el cableado como son algunas zonas rurales.

8	Protocolos de redes inalámbricas Autores: Neumann, A., López, E., & Navarro, L. (2015). Libro: Evaluation of mesh routing protocols for wireless community networks. Computer Networks, 93, 308-323.
	Dentro de los protocolos más utilizados para enrutamiento o encaminamiento de paquetes en redes inalámbricas en topología malla, se destacan DSDV (Destination Sequenced Distance Vector), OLSR (Optimized Link State Routing), B.A.T.M.A.N. (Better Approach To Mobile Ad hoc Networking), BMX (una versión de BATMAN avanzado), AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector) y DSR (Dynamic Source Routing). DSDV: Basa su funcionamiento en el manejo de tablas de rutas en las que están registrados todos los posibles destinos en la red y el número de saltos que debe dar hasta cada destino. Por medio de estas tablas se garantiza el encaminamiento de paquetes. OLSR: Este protocolo se adapta muy bien a tipos de redes con gran cantidad de nodos, y de alta movilidad, utiliza un método de testigo en el cual si se detecta caída de un enlace por un tiempo determinado se elimina este enlace de la tabla de encaminamiento. Esto se hace por medio de mensajes periódicos. B.A.T.M.A.N.: Especialmente diseñado para redes móviles, tiene la desventada de almacenar en cada nodo la estructura completa de la red, lo cual lo hace poco fiable en una red volátil o cambiante. Por medio de mensajes de broadcast se anuncian nuevos nodos en la red.

	AODV: Utiliza un sistema de descubrimiento de ruta por medio de broadcast, primero confirma en la tabla de rutas si existe el destino al que quiere enviarse el paquete, en caso de que no lo tenga registrado por medio de broadcast lo intenta alcanzar. DSR: En este protocolo se utiliza una regla de rutas reactiva que se almacena solamente en unos pocos nodos con capacidad de almacenar las rutas, liberando de esta carga a los otros nodos intermedios. En este caso el nodo origen tiene un listado de nodos intermedios por donde puede enviar la información
9	Estándar IEEE 802.11 Autores: Rico-Bautista, D., Sánchez-Espinosa, L., & Portillo-Ballesteros, E. Revista: Redes Mesh, una alternativa a problemas de cobertura de red: una revisión de literatura. Revista Ingenio, 7(1), 27-42.
	La IEEE creó una familia de estándares para las redes ethernet y las redes inalámbricas, la familia es IEEE 802. El estándar para ethernet es 802.3 y para las redes inalámbricas es 802.11. Con el IEEE 802.3 se describe el nivel físico y el subnivel MAC de una familia de redes de área local, utilizando topología de bus al inicio. El IEEE 802.11, es un estándar de protocolo para comunicaciones, el cual establece como usar los niveles inferiores de la arquitectura OSI, precisando las normas de funcionamiento en la WLAN. En la actualidad los estándares de mayor uso son el IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, permitiendo velocidades hasta de 54 Mbps.

	La IEEE desarrolló para las redes inalámbricas Mesh, el IEEE 802.11s, con el cual se espera unificar el despliegue de las redes en malla.
10	Seguridad en redes inalámbricas Autor: Miguel Soriano Libro: Seguridad en redes y seguridad de la información. (2014)
	Las redes inalámbricas han ganado bastante terreno en la expansión del internet a nivel mundial debido a su facilidad de instalación, amplia cobertura, disminución de costos de adecuaciones por cableado, versatilidad, y su relativamente sencilla administración. Sin embargo, un tema que hace pensar a los administradores de infraestructura y redes es el de la seguridad de la información. Al no utilizar un medio guiado, como sí lo hacen las redes cableadas de cobre y fibra, para la transmisión de señales. Se vuelven vulnerables a ataques de denegación de servicios. Surgen entonces protocolos de seguridad que intentan contrarrestar esta debilidad, por medio de restricciones de acceso y opciones avanzadas de seguridad, algunas muy confiables pero que afectan el rendimiento de la red. La solución más aceptada para ofrecer la seguridad necesaria en redes inalámbricas es la definida en el estándar IEEE 802.11i también conocido como WPA2.
11	Fundamentos de Antenas Autores: Simón R. Saunders Libro: Antenas y propagación para comunicaciones inalámbricas

	Una antena es un dispositivo metálico que cumple la función de radiar y recibir ondas electromagnéticas del espacio. Estas sirven para convertir las ondas guiadas que se encuentran en una guía de onda, en cable de alimentación o en una línea de transmisión de ondas radiadas que viajan por el espacio libre. Las ondas electromagnéticas se asocian con corrientes y tensiones eléctricas de altas frecuencias que son producidas por circuitos de transmisión y recepción de radio. Una de las funciones que cumplen las antenas es la de adaptar campos electromagnéticos, cumpliendo el rol de una interfaz entre el espacio libre y la línea de transmisión. Es posible adaptar antenas de diferentes tamaños dependiendo de las frecuencias que trabajará. Algunas características importantes para considerar en las antenas son respuesta en frecuencia, polarización, ganancia, longitud y área efectiva, peso, dimensiones, tipos de conectores, resistencia al viento, entre otros.
12	Redes de computadores e Internet Autores: Douglas E. Comer Libro: Redes de computadoras e Internet
	Las redes de computadores se usan en todo lugar. El crecimiento y el uso del internet global, ha sido uno de los fenómenos más interesante de las redes. Hacia los años ochenta, el internet fue un proyecto de investigación que involucró unos cuantos sitios. Actualmente ha crecido tanto que ha llegado a convertirse en un sistema de comunicaciones, llegando así prácticamente a todos los rincones del mundo, a través de módems de cable, DSL, tecnologías ópticas o inalámbricas.

La llegada y el uso de las redes han contribuido de manera amplia en la economía, así mismo las redes de datos ha permitido que las personas trabajen a distancia, también ha cambiado las comunicaciones de los negocios. De igual manera surgió una gran industria que desarrolla tecnología, productos y servicios de redes.

“Internet se forma mediante la interconexión de varias redes de conmutación de paquetes. La interconexión de redes es mucho más poderosa que una sola tecnología de redes, ya que la metodología permite incorporar nuevas tecnologías en cualquier momento sin requerir el reemplazo general de las viejas tecnologías”.

4.1.2. Terminología

Era Digital: (también conocida como Era de la información o Era Informática) es el nombre que recibe el período de la historia de la humanidad que va ligado a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). El comienzo de este período se asocia con la revolución digital, si bien tiene sus antecedentes en tecnologías como el teléfono, la radio o la televisión, que hicieron que el flujo de información se volviese más rápido que el movimiento físico

Internet: Red informática mundial, descentralizada, formada por la conexión directa entre computadoras mediante un protocolo especial de comunicación.

Mesh: Tipo de arquitectura de comunicación de redes inalámbrica en tipo malla, en el que todos los equipos integrantes de aquella están conectados entre sí.

Protocolos de enrutamiento: Son el conjunto de reglas utilizadas por un router para comunicarse con otros semejantes, con el objetivo de compartir información de enrutamiento, donde la información es usada para mantener y construir las tablas de enrutamiento.

Red inalámbrica: Es la que permite conectar varios nodos sin realizar una conexión física, establece comunicación mediante ondas electromagnéticas. Para realizar la transmisión y recepción de datos se necesitan dispositivos que hacen la función de puertos

Redes de Comunicaciones: Consiste en un conjunto de elementos con una serie de características comunes interconectadas a través de medios físicos en común, cuyo objetivo es la de optimizar y compartir recursos.

Seguridad de la red: Consiste en prevenir y proteger la intrusión en las redes, la seguridad de la red está regida por políticas y prácticas para supervisar y evitar el uso indebido, también el acceso no autorizado a una red, a los dispositivos y a datos de la red.

Tecnología: Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico

Zonas Rurales: Perteneciente o relativo a la vida del campo y a sus labores.

4.2. MARCO LEGAL

4.2.1. Marco legal para las redes en malla MESH

Al tratar el tema de redes públicas inalámbricas es imprescindible abarcar temas de regulación de uso del espectro electromagnético, este es considerado un bien público que forma parte del espacio aéreo colombiano, es un bien que está sujeto al control del Estado, el cual debe garantizar el pluralismo y la competencia, evitando monopolio de uso.

A continuación, se nombran las normas que regulan el uso del espacio electromagnético en Colombia, así como las restricciones impuestas, para esto es necesario consultar lo expuesto por la Agencia Nacional del Espectro, entidad encargada de la gestión, planeación, vigilancia y control de espectro radioeléctrico en Colombia, en coordinación con las diferentes autoridades.

Reglamentación sobre los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, las condiciones que deben reunir las estaciones radioeléctricas para cumplir con estos mismos y se dictan disposiciones relacionadas con el despliegue de antenas de radiocomunicaciones.

4.2.1.1. Leyes

LEY 1978 DE 2019: Por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), se distribuyen competencias, se crea un regulador único y se dictan otras disposiciones. Entre otras cosas esta ley garantiza igualdad de oportunidades a los proveedores de redes y servicios TIC para acceder al uso del espectro (Art 3). Así como el uso adecuado y eficiente del espectro radioeléctrico (Art 4).

Ley 1753 de 2015: El legislador expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, y en sus artículos 43 y 193, dispuso que la Agencia Nacional del Espectro, además de las funciones señaladas en el artículo 26 de la Ley 1341 de 2009 y el Decreto 4169 de 2011, debía expedir las normas relacionadas con el despliegue de antenas, acorde con la potencia

máxima de las antenas, los límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos y las condiciones técnicas para cumplir dichos límites, además de reglamentar la instalación de elementos de transmisión y recepción que no requerirán de licencia de uso de suelo, como las micro celdas y pico celdas de telecomunicaciones móviles.

Ley 1341 de 2009: Por la cual se definen Principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -TIC-, se crea la Agencia Nacional del Espectro y se dictan otras disposiciones. Con la expedición de esta Ley, las mediciones de los niveles de exposición a los campos electromagnéticos producidos por las estaciones radioeléctricas de telecomunicaciones son realizadas por la Agencia Nacional del Espectro.

4.2.1.2. Decretos

Decreto 464 de 2020: Por el cual se disponen medidas "con el fin de atender la situación de emergencia económica, social y ecológica" de la que trata el Decreto 417 de 2020; Art. 5

Decreto 1370 de 2018: por medio del cual faculta a la ANE para definir los límites de exposición a los campos electromagnéticos y especificar aspectos técnicos relacionados con las mediciones necesarias para demostrar el cumplimiento de dichos límites.

Decreto 1078 de 2015 - Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector de tecnologías de la información y las comunicaciones; arts. 2.2.2.1.1.1 a 2.2.2.1.1.8

Decreto 195 de 2005: Por el cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones. Este Decreto fue expedido por el entonces Ministerio de Comunicaciones, Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de vivienda y Desarrollo Territorial. Este Decreto fue después compilado con toda la normatividad

expedida por el MINCOM y posteriormente MINTIC, a través de Decreto Reglamentario 1078 de 2015.

4.2.1.3. Resoluciones

Resolución 134 de 2020: Por la cual se reglamenta el artículo 35 de la Ley 1978 de 2019. Reglamenta el procedimiento y las actividades que se deben adelantar cuando se evidencie un uso no autorizado del espectro radioeléctrico, de conformidad con las competencias establecidas en el artículo 35 de la Ley 1978 de 2019.

Resolución 963 de 2019: Se derogan unas disposiciones en materia de planeación, atribución y asignación del espectro.

Resoluciones 387 y 754 de 2016: Por la cual se reglamentan las condiciones que deben cumplir las estaciones radioeléctricas, con el objeto de controlar los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos y se dictan disposiciones relacionadas con el despliegue de antenas de radiocomunicaciones, en virtud de lo establecido en los art 43 y 193 de la Ley 1753 de 2015.

Resolución 3524 de 2015: Por la cual se adopta la política de Espectro radioeléctrico 2015-2018

Resolución 1645 de 2005: Por la cual se reglamenta el Decreto 195 de 2005, expedida por el Ministerio de Comunicaciones.

4.2.1.4. Circulares

Circular 20 DE 2019: recuerda las obligaciones a cargo de todos los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones entre otras pagar la contraprestación económica por el uso del espectro radioeléctrico, cuando se cuente con permisos para usar este recurso.

5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Considerando la problemática expuesta en el capítulo dos del presente proyecto de investigación, se propone la implementación de una solución que puede resultar viable para ofrecer conectividad a las zonas rurales en Colombia. Se trata de la instalación de redes inalámbricas utilizando la topología de multisalto Mesh, la cual ha demostrado ser una solución viable y a bajo costo en zonas rurales de países como Reino Unido, Nepal, Brasil, Bolivia, Perú, Ecuador, entre otros. Incluso en Colombia han surgido iniciativas que han implementado modelos a pequeña escala para redes inalámbricas comunitarias, por ejemplo, en la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá, y en otras zonas urbanas como: Medellín, Chocó, Espinal, Valledupar, Girardot, Fusagasugá.

Colombia es un país que cuenta zonas de difícil acceso y con una geografía compleja para implementar redes cableadas que abarquen largas distancias. Se encuentran soluciones como internet satelital pero no es una opción asequible para las poblaciones que habitan estas zonas. Recientemente ha tomado fuerza una iniciativa que subsidia Hughes y Facebook con la visión de lograr conectar cerca de 3.0000.000 de personas utilizando internet satelital a bajo costo, sin embargo, presenta fallas y algunas desventajas de seguridad.

Es entonces allí que toman fuerzas iniciativas como las desarrolladas por grupos de “redes libres” en las que se utilizan antenas repetidoras de múltiples saltos que redundan la conectividad, por distintos caminos, ofreciendo la ventaja de mantener la conexión a pesar de que uno o algunos de los puntos sufra algún error o falla.

Colombia tiene 48 '258.494 de habitantes de los cuales poco más de 11 millones de personas viven en las zonas rurales. La cifra fue revelada por Juan Daniel Oviedo, director del Departamento Administrativo de Estadística (DANE) durante la presentación del Censo 2018. El censo también arrojó que de la población total que vive en las zonas rurales, el 20 por ciento, es decir unos 2,2 millones de personas, son niños y jóvenes entre 10 y 19 años,

mientras que cerca del 28 por ciento de los campesinos tienen más de 50 años. Amazonas, Putumayo y Guanía son los departamentos con mayor población joven.

La solución propuesta de redes Mesh tiene la gran ventaja de ofrecer conectividad estable y de buena calidad abarcando amplias zonas por medio de saltos múltiples y múltiples antenas según la extensión de la zona alcanzando cientos de kilómetros, sin necesidad de tener un punto de conexión a internet en cada nodo. En el caso de contar con varios puntos de conexión a internet como se ve en la imagen, los dispositivos que se conecten utilizarán el camino óptimo para disponer siempre de la mejor señal posible.

Con el objetivo de realizar el diseño de implementación de la red Mesh propuesta para las zonas rurales se deben contemplar características que son propias de cada región, como son las dificultades de acceso, las condiciones geográficas, la densidad de la población a la que se pretende llegar, las escuelas y edificios gubernamentales, entre otros. Contemplando estas y otras condiciones se podría diseñar un modelo de red que supla las necesidades propias de la región.

Por lo anterior se sugiere seleccionar una zona rural que cumpla con condiciones similares a las regiones que se esperan cubrir; seguidamente iniciar la fase de diseño que garantice el éxito del proyecto, por medio de simuladores y herramientas tecnológicas que permitan llevar a una implementación piloto que aporte experiencia, y evidencias de éxito, además de brindar insumos para la toma de decisiones (financiero, medición poblacional, cobertura y alcance de las antenas, velocidad de internet, entre otros).

5.1. Planeación Metodológica:

Fase 1. Preparación

Actividades

- Levantamiento de información

- Reconocimiento del terreno.
- Identificación de densidad de la población por sectores
- Plan de implementación proyecto
- Estimación de juicios expertos
- Cronograma de proyecto
- Aprobación de los entregables de la fase de planeación

Fase 2. Análisis de negocio

Actividades

- Mesas de trabajo
- Documento Análisis de negocio
- Revisiones de calidad de los entregables
- Solución de hallazgos de los entregables de la fase
- Aceptación y cierre por parte del cliente

Fase 3. Levantamiento de requerimientos

Actividades

- Documento de levantamiento de requerimientos
- Especificación técnica e identificación de antenas repetidoras.
- Hardware y software
- Estimación de esfuerzo detallada
- Revisión de especificaciones del fabricante.(distancia, impedancia, ángulos de proyección, máxima potencia, pérdidas por propagación, sensibilidad de recepción, relación señal/ruido)
- Reconocimiento de mejores condiciones para ubicación de Puntos de Acceso (AP) y antenas según el fabricante
- Solución de hallazgos de los entregables de la fase

- Aceptación y cierre por parte del cliente

Fase 4. Diseño

Actividades

- Construcción del documento de arquitectura
- Construcción del documento de diseño detallado
- Construcción del Informe
- Construcción del documento Plan de pruebas diseño y construcción
- Revisión De calidad de los entregables
- Solución de hallazgos de los entregables de la fase
- Aceptación y cierre por parte del cliente

Fase 5. Construcción

Actividades

- Instalación de antenas repetidoras Wifi en topología mallada
- Cableado de fibra para nodos principales
- Configuración de nodos principales
- Configuración de nodos secundarios
- Interconexión de nodos
- Mediciones reales de señal, alcance, distancia, impedancia, ruido
- Configuración protocolos de detección de rutas
- Realizar inventario de elementos activos instalados
- Aceptación y cierre por parte del cliente

Fase 6. Pruebas

Actividades

- Conexión cerca de antenas aleatorias.
- Revisión de velocidades ofrecidas según la distancia a las antenas.

- Desactivación intencional de antenas.
- Revisión de funcionamiento de rutas redundantes.
- Documento resultante de las pruebas realizadas.
- Lecciones aprendidas.
- Recomendaciones.

Fase 7. Puesta en marcha

Actividades

- Conexión de edificios de gobierno y sitios públicos.
- Hogares y empresas
- Firma Acta de aceptación.

5.2. Desarrollo Tecnológico:

Dado que para este proyecto no se realiza un desarrollo tecnológico, se anexa cronograma de actividades propuesto en archivo PDF (Diagrama Gantt Project)

6. CONCLUSIONES

Con la definición del problema y la formulación del proyecto como alternativa de solución a la problemática planteada, se da inicio al desarrollo del proyecto de investigación con el objetivo claro de disminuir la brecha digital, que margina ciertas poblaciones del territorio colombiano.

Las redes MESH, son una buena opción para tener en cuenta, debido a su facilidad de implementar en áreas geográficas con dificultades para acceder a la señal de comunicaciones. Son consideradas la opción más viable en cuanto al uso de la conectividad se refiere, cuenta con múltiples ventajas tecnológicas a partir de su implementación. Se considera una alternativa óptima en la solución a problemas de interconexión y optimización del transporte de la información entre usuarios.

Este trabajo de investigación, al ser el resultado de un ejercicio que se hizo desde la virtualidad y la distancia maneja muchos supuestos y se desconocen las condiciones reales de cada región. Desde luego el cronograma y plan de trabajo no son una camisa de fuerza sino más bien una guía para la implementación de la solución.

Las redes inalámbricas en malla demuestran ser una solución viable en diferentes regiones del mundo, en una época en que la inteligencia artificial y el internet de las cosas avanza tan vertiginosamente deben contemplarse estos parámetros y condiciones para proyectar una solución que cubra las necesidades de la sociedad y cierre la brecha digital que cada vez es más amplia a pesar de los esfuerzos de los gobiernos territoriales y nacional.

7. REFERENCIAS

- Abdelaal, A, y Ali, H, "Community Wireless Networks: Emerging Wireless Commons for Digital Inclusion," presentado en The International Symposium on Technology and Society (ISTAS'09), Tempe, Arizona, mayo 2009.
- Andreú, J, "Redes locales - Ciclos Formativos" Editor Editex, 2011.
- Blanco, F., & Ruiz, D. (2006). Formulación de una Metodología para Diseñar e Implementar redes MESH como alternativa de solución para redes comunitarias o rurales; Proyecto de Apoyo; Construcción de un esquema tecnológico para Protocolos de enrutamiento en redes MESH. Ph. D. disertación, Congreso iberoamericano de ciencia, tecnología, innovación y educación, Buenos Aires, Argentina.
- Douglas E. Redes de computadoras e Internet, Pearson Educación, 2015
- García, P, Transmisión de datos y redes de computadores, Pearson Educación, 2014.
- Guerra, M. (2017) Interconexión de redes privadas y redes públicas, Ediciones de la U, 2017.
- Ishmael, J, Bury, S, Dimitrios P, y Race, N, "Deploying Rural Community Wireless Mesh Networks," IEEE Internet Computing, vol.12, no.4, pp. 22-29, Agosto del 2008.
- Köbel, C., Baluja García, W., & Habermann, J. (2016). A resource management system for transmission capacity enhancement in wireless mesh networks. Ingeniería y Desarrollo, 34(2), 370-396.
- Lesta, A. Andreu, F. Pellejero, I. (2006). Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN. Marcombo
- Lozano, A. C., & Blanco, F. (2018). Diseño de una arquitectura de seguridad para redes MESH en entornos comunitarios o rurales de Colombia. Revista Avenir, 2(1), 30-38.
- Mehic, M. Fazio, P. Voznak, M. Partila, P. Komosny, D. Tovarek, J. Chmelikova, Z. "Sobre el uso de múltiples métricas de enrutamiento con protocolo de vector de distancia secuenciado de destino para redes ad hoc inalámbricas MultiHop", Proc. SPIE 9848, Modelado y simulación para sistemas y aplicaciones de defensa XI, 98480F (12 de mayo de 2016)
- Neumann, A., López, E., & Navarro, L. (2015). Evaluation of mesh routing protocols for wireless community networks. Computer Networks, 93, 308-323.
- Padilla, P. Redes e infraestructuras de telecomunicación, Pearson Educación, 2014.

- Pedraza, L. Gómez, C. Salcedo, O. "Implementación de red inalámbrica comunitaria para Ciudad Bolívar" Revista Visión Electrónica Año 6 No. 2 pp. 46 - 57 julio - diciembre del 2012.
- Rico-Bautista, D., Sánchez-Espinosa, L., & Portillo-Ballesteros, E. Y. (2014). Redes Mesh, una alternativa a problemas de cobertura de red: una revisión de literatura. Revista Ingenio, 7(1), 27-42.
- Simón R. Saunders, "Antenas y propagación para comunicaciones inalámbricas /", McGraw-Hill Interamericana, 2013. Consultado en línea en la Biblioteca Digital de Bogotá (<https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/2215176/>)
- Soriano, M. (2014). Seguridad en redes y seguridad de la información.
- Teja, J. Á. I. (2016). Arquitectura de gestión distribuida para redes malladas inalámbricas: aplicación en el entorno de la red personal (Doctoral dissertation, Universidad de Cantabria).
- Tran, T, Nguyen, D, y Nguyen, T. "A Case for Joint Network Coding and Power Control in Wireless Linear Networks", 2009 6ta Conferencia Anual de la Sociedad de Comunicaciones de IEEE sobre sensores, mallas y talleres de comunicaciones y redes ad hoc, Roma, 2009, págs. 1-6, doi: 10.1109 / SAHCNW.2009.5172910.
- Zaidi, Z., & Lan, K. C. (2017). Wireless multihop backhauls for rural areas: A preliminary study. PloS one, 12(4), e0175358. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175358>