

COMPARACIÓN ENTRE ENLACES PUNTO A PUNTO Y REDES TVWS PARA
CONECTIVIDAD DEL GRUPO DE ESCUELAS RURALES DEL
DEPARTAMENTO DEL CESAR ASIGNADAS A LA EMPRESA GLL INGENIERÍA
EU EN EL MARCO DEL CONTRATO 10K

JUAN SEBASTIAN MARTINEZ PATIÑO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTA
2022

COMPARACIÓN ENTRE ENLACES PUNTO A PUNTO Y REDES TVWS PARA
CONECTIVIDAD DEL GRUPO DE ESCUELAS RURALES DEL
DEPARTAMENTO DEL CESAR ASIGNADAS A LA EMPRESA GLL INGENIERÍA
EU EN EL MARCO DEL CONTRATO 10K

JUAN SEBASTIAN MARTINEZ PATIÑO

MONOGRAFIA

ANGELA TATIANA ZONA-ORTIZ, PHD

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTA
2022

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado en primer lugar a Dios, quien me concedió la sabiduría y los medios para realizarlo, a mi familia quienes incondicionalmente han estado para darme la mano en cualquier circunstancia, a mis docentes, que en toda la carrera tuvieron la disposición de colaborarme en todo lo que estuvo a su alcance y a mis compañeros con quienes compartí estos años de vida universitaria, ayudándonos a salir adelante en nuestro proyecto de vida, amigos que durarán para siempre.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3.2 JUSTIFICACIÓN	12
4. MARCO TEÓRICO	14
4.1 ANTECEDENTES TVWS EN COLOMBIA.....	14
4.2 LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES (TIC) EN LA EDUCACIÓN.	15
4.3 CONECTIVIDAD INALÁMBRICA	16
5. MATERIALES.....	18
5.1 MATERIALES	18
6. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO DESARROLLADO POR GLL INGENIERIA EU 19	
6.1 METODOLOGIA.....	19
6.2 CASO DE ESTUDIO ENLACE PTP	22
6.3 RESULTADOS DEL PROYECTO 10K	26
7. SOLUCION RADIO TVWS.....	31
8. COMPARACION ENLACES PtP CON TVWS.....	38
CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Instituciones educativas con requerimientos de ancho de banda.....	20
Tabla 2. Estaciones base con alturas.....	22
Tabla 3. Precios dispositivos PtP para la institución educativa.....	26
Tabla 4. Descripción enlace PtP para estación base #1	27
Tabla 5. Descripción enlace PtP para estación base #2	27
Tabla 6. Descripción enlace PtP para estación base #3	27
Tabla 7. Descripción enlace PtP para estación base #4	27
Tabla 8. Descripción enlace PtP para estación base #5	27
Tabla 9. Descripción enlace PtP para estación base #6	27
Tabla 10. Descripción enlace PtP para estación base #7	28
Tabla 11. Descripción enlace PtP para estación base #8	28
Tabla 12. Descripción enlace PtP para estación base #9	28
Tabla 13. Descripción enlace PtP para estación base #10	28
Tabla 14. Descripción enlace PtP para estación base #11	28
Tabla 15. Descripción enlace PtP para estación base #12	29
Tabla 16. Descripción enlace PtP para estación base #13	29
Tabla 17. Descripción enlace PtP para estación base #14	29
Tabla 18. Descripción enlace PtP para estación base #15	29
Tabla 19. Descripción enlace PtP para estación base #17	29
Tabla 20. Enlaces para instituciones sin línea de vista.	30
Tabla 21. Costo estimado de enlaces para instituciones educativas.....	30
Tabla 22. Enlaces satelitales a TVWS	32
Tabla 23. Canales de TV para cada institución educativa.....	37
Tabla 24. Costos estimados dispositivos enlaces Claro.....	38
Tabla 25. Costos estimados dispositivos enlaces tecnología TVWS.....	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Enlace PtP	16
Figura 2 Enlace PtMP	17
Figura 3 Delimitación de centro digital en institución educativa	23
Figura 4 Ubicaciones equipos indoor institución educativa	23
Figura 5 Ubicaciones equipos Outdoor institución educativa	24
Figura 6 Perfil transmisión PtP para la institución educativa	24
Figura 7 Cobertura wifi exterior.	25
Figura 8 Topología TVWS	31
Figura 9 Canales disponibles en la BDEB para la estación base #1	32
Figura 10 Canales disponibles en la BDEB para la institución educativa #61	33
Figura 11. Software OSS (RADWIN)	35
Figura 12. Generar red en OSS de TVWS.	35
Figura 13 Red TVWS ejecutado por RADWIN	36

GLOSARIO

PTP: Point to Point, es un canal de comunicación donde solo se comunican dos nodos

PtMP: Es un enlace punto a multipunto se establecen canales de comunicación con dos o más nodos desde un dispositivo maestro.

TVWS: Frecuencias de la banda comprendida entre 470 MHz a 698 MHz que no están asignadas en un área específica y que pueden ser usadas por aplicaciones de radiocomunicaciones en dicha área.

ANCHO DE BANDA: Es la capacidad máxima del canal donde se pueden transmitir los datos. Como ejemplo, en una tubería el ancho de banda sería el grosor de la manguera, que permite pasar una cantidad determinada de agua.

VELOCIDAD: Es un termino distinto al ancho de banda. Se refiere a la velocidad que se transfieren los datos en un medio de transmisión, se mide en Bit/s. Con el ejemplo de la tubería, consiste en la velocidad con que pasa el agua por medio de una tubería.

RESUMEN

Durante la ejecución de la pasantía en la empresa GLL ingeniería EU, específicamente en el desarrollo de estudios técnicos para el proyecto 10K, que consiste en llevar internet a instituciones educativas rurales en todo el territorio colombiano, encargado por el ministerio TIC a dicha empresa, se evidencio una forma alternativa de ejecutar proyectos de conectividad rural. El desarrollo de esta monografía se divide en cuatro capítulos, donde **expondré** una alternativa tecnológica llamada TVWS, para proyectos donde se requiera llevar conectividad a zonas alejadas o rurales.

En el primer capítulo se desarrolla el marco teórico para entender todos los conceptos desarrollados en este trabajo. En el capítulo dos **refiero** las actividades realizadas en la empresa GLL, describiendo las labores ejecutadas para dar conectividad a instituciones educativas rurales en el departamento de Cesar. En el capítulo tres, se describe la alternativa tecnológica TVWS y lo que se debería realizar para garantizar conectividad con esta tecnología. En el último capítulo se hace una comparación del proceso y de los costos de ejecutar proyectos con enlaces PtP contra TVWS, para explicar las ventajas de ejecutar proyectos con la adaptación de TVWS en Colombia.

PALABRAS CLAVE: Conectividad rural, TVWS, enlaces PtP.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que a lo largo de la historia ha tenido grandes brechas de conectividad, la crisis mundial del COVID 19 puso esto en evidencia, debido a la necesidad de mantenerse conectado. En muchos ámbitos se convirtió en un servicio esencial para poder tener continuidad, y mitigar el paso de la pandemia. La conectividad fue necesaria para la educación (clases virtuales), para el teletrabajo, para las compras (e-commerce), entre muchos otros aspectos de la sociedad. Conforme al balance del Ministerio de las TIC para el año 2020, el gobierno tiene un desafío importante para conectar las zonas más apartadas del país. Según el ministerio de las TIC en dicho periodo, “la meta era llegar al 70% de hogares conectados en todo el territorio”, por lo que se lanzaron diferentes proyectos de conectividad rural, uno de estos es el proyecto 10K, en el que la empresa GLL ingeniería EU realizó parte de los estudios técnicos para conectividad de escuelas rurales.

El proyecto 10K consiste en la instalación de centros digitales en instituciones educativas rurales. El rol principal de la empresa GLL ingeniería EU fue hacer el levantamiento técnico de cada institución, para garantizar conectividad Wifi en el centro digital y alrededor de la escuela. Para garantizar la transmisión, se deben establecer enlaces Punto a Punto (PtP, por sus siglas en inglés) desde la estación base de Claro y la respectiva institución.

El propósito general de esta monografía es desarrollar un estudio comparativo de una red de última milla entre TVWS (TV White Space, por sus siglas en inglés) y PtP para instituciones educativas del departamento del Cesar asignadas a la empresa GLL Ingeniería EU por el contratante Claro.

La finalidad del estudio es mostrar las ventajas que puede presentar una alternativa tecnológica como TVWS para el desarrollo de proyectos similares, frente a la solución tradicional PtP mediante una comparación de procedimientos y costos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar una solución Punto a punto con una solución basada en TVWS mediante el estudio técnico en algunas instituciones educativas del departamento del Cesar asignadas a GLL ingeniería EU del proyecto 10k.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir las etapas del proceso utilizado por la empresa GLL ingeniería EU para la ejecución del proyecto 10k, tomando como ejemplo una de las escuelas rurales con la implementación de enlaces PtP.

Describir las etapas del proceso para implementar TVWS como alternativa para el proyecto 10K.

Establecer las ventajas de la implementación de TVWS para el proyecto 10k, a través de una comparación contra el uso de enlaces PtP.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, las escuelas públicas en las zonas rurales de Colombia no cuentan con servicio de Internet fijo, la principal causa del problema es la infraestructura de telecomunicaciones priorizada para zonas de mayor densidad poblacional. Por lo tanto, es difícil encontrar la conexión de la última milla (conexión hasta el lugar) en instituciones educativas rurales.

Según lo establecido en el decreto 1008 de 2018 se considera “que el numeral 8 del artículo 2 de la Ley 1341 de 2009 establece que el Gobierno Nacional fijará los mecanismos y condiciones para garantizar la masificación del Gobierno en Línea, con el fin de lograr la prestación de servicios eficientes a los ciudadanos, así mismo, la citada Ley determinó que es función del Estado intervenir en el sector de las TIC, con el fin de promover condiciones de seguridad del servicio al usuario final, incentivar acciones preventivas y de seguridad informática y de redes para el desarrollo de dicho sector; así como reglamentar las condiciones en que se garantizará el acceso a la información en línea, de manera abierta, ininterrumpida y actualizada”. Por lo cual, es deber del Ministerio de las TIC estrechar la brecha digital en todo el territorio colombiano, dando como resultado la necesidad de proponer proyectos para llevar internet a zonas alejadas del país.

De acuerdo con datos entregados por el Ministerio de educación y el Icfes (analizado por el Laboratorio de Economía de la Educación (LEE) de la Universidad Javeriana) solo el 17% de estudiantes en instituciones, tiene acceso a internet y computador. Resultado que permite comprender que se tiene un reto para la conexión a la red principalmente de instituciones educativas, abriendo las puertas para toda la ayuda tecnológica y de infraestructura necesaria para garantizar el acceso a internet desde cualquier parte de Colombia, así como de estudios que den lugar a mejores alternativas para la ejecución de proyectos relacionados con la conexión a internet.

3.2 JUSTIFICACIÓN

El objetivo de la empresa GLL ingeniería EU en el desarrollo del contrato suscrito con Claro, es realizar el estudio técnico para ejecutar el proyecto en 67 escuelas en el departamento del Cesar, con el fin de aumentar las cifras de instituciones con acceso a Internet.

La empresa Claro utiliza para la implementación de su red enlaces PtP, en los que para conectar dos ubicaciones es necesario contar con línea de vista (LoS, de sus siglas en inglés), para garantizar transmisión de internet del punto A al punto B. En este caso el punto A es la estación base de Claro y el punto B la institución educativa.

Con el desarrollo de tecnología en los últimos años, se han encontrado alternativas para proporcionar servicio de Internet. La transición de lo analógico a lo digital, que se ha desarrollado en su mayoría para el tema de televisión, permite que canales libres que antes no se podían utilizar, ahora queden habilitados para su uso.

Gracias a la tecnología TVWS se permite establecer comunicaciones de datos o llevar internet por medio de los canales libres de televisión y garantizar Wi-Fi en el punto final de conexión.

Por otro lado, Colombia es el primer país de América Latina en contar con una regulación de TVWS, gracias a la normativa desarrollada por la Agencia Nacional del Espectro (ANE). Esta iniciativa ha contado con el reconocimiento de la DSA (Dynamic Spectrum Alliance) tanto para la ANE por la iniciativa, como para la Universidad Santo Tomas como colaboradora y desarrolladora de la Base de Datos de Espacios en Blanco de Colombia (BDEB).

Según la resolución 181 de 2019, los canales sin asignación de TV pueden ser utilizados de manera gratuita para usos diferentes al servicio de televisión, lo cual reduciría los costos de implementación de una red de radiocomunicación, que permitiría llevar internet a las instituciones rurales.

Por medio de esta monografía se pretende hacer una comparación de enlaces PtP con TVWS, para explorar las alternativas disponibles para la ejecución de proyectos de conectividad, que puedan resultar más económicas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ANTECEDENTES TVWS EN COLOMBIA

Los espacios en blanco en televisión son definidos de acuerdo con la Resolución No. 181 de abril 30 de 2019 como: “Frecuencias de la banda comprendida entre 470 MHz a 698 MHz que no están asignadas en un área específica y que pueden ser usadas por aplicaciones de radiocomunicaciones en dicha área, sin causar interferencias perjudiciales a las estaciones de un servicio primario o secundario a las que se le hayan asignado o se le asignen frecuencias en el futuro”. Adicionalmente, los dispositivos de espacios en blanco son definidos como: “Dispositivo con capacidad de geolocalización incorporada, que puede hacer uso de los espacios en blanco mediante la interacción con una base de datos de espacios en blanco. Se clasifican en dispositivos maestros y dispositivos esclavos”.^[1]

De acuerdo con lo establecido en la Resolución 181 de abril 30 de 2019 se establece que, en Colombia, el sistema web de la Base de Datos de espacios en blanco (BDEB) es definido como una herramienta software administrada por la ANE (Agencia Nacional del Espectro) que contiene la lista de canales disponibles y responde a una petición realizada por un dispositivo de espacios en blanco. Para obtener la lista de canales disponibles la BDEB tiene en cuenta la ubicación geográfica del dispositivo, las asignaciones existentes en la banda 470 MHz a 698 MHz y las condiciones de coexistencia para garantizar la protección del servicio de radiodifusión de televisión contra interferencias.

La BDEB en el caso colombiano será gestionada por la Agencia Nacional del Espectro (ANE). En el año 2018 por medio de una convocatoria de proyectos de investigación de la ANE la BDEB se desarrolló, en 2020 se modificó de manera que aumentara la disponibilidad en el territorio nacional y está disponible para su uso por dispositivos desde octubre de 2021. La Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás ha sido la encargada desde 2018 del diseño, implementación, despliegue y soporte de la plataforma. ^[2]

La ANE ha realizado pilotos de la tecnología TVWS sin la conexión a una BDEB para conectividad de instituciones educativas ^[3], haciendo una asignación de canales válida para 6 meses en función de la ubicación geográfica de los dispositivos y previa solicitud del interesado. Los pilotos desarrollados en el país y en el mundo demuestran el interés de usar este tipo de tecnología de TVWS para el desarrollo de la conectividad en fines sociales, como lo son proyectos para conectividad en instituciones educativas rurales. Adicionalmente, con el lanzamiento de la BDEB la tecnología TVWS está disponible para el país desde

octubre de 2021. Por todo lo anterior, se hacen necesarios estudios que permitan el uso eficiente de esta tecnología.

4.2 LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES (TIC) EN LA EDUCACIÓN.

La información y el conocimiento se han convertido en el fenómeno actual de la sociedad y según la cumbre Mundial de la Sociedad de la Información estamos en la época de la sociedad de la información y la sociedad del conocimiento.^[4] Por lo que tener la información y el conocimiento al acceso son labores de las TIC. Esto ha fomentado el desarrollo de una economía que se soporta en las TIC y el fomento de la información y conocimiento por medio de la tecnología en todas las áreas del saber, por lo que se hace necesario estrechar la “brecha digital”. En los escenarios dinámicos del siglo XXI se hace necesario la apropiación de las TIC en escenarios escolares, con el fin de establecer herramientas de conocimiento que faciliten a los actores del sector educativo fortalecer sus competencias en diferentes áreas. Para el caso colombiano se han generado proyectos para caracterizar el fomento de las TIC en el sector educativo ^[5] y diferentes planes que permiten generar la apropiación de las TIC en la educación tales como:

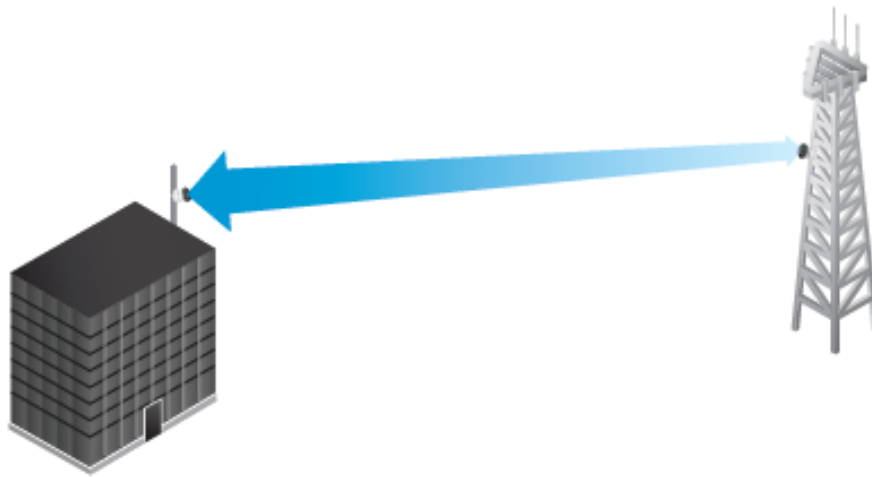
- Plan Nacional Decenal de Educación (2016-2026): El plan tiene como objetivo establecer el camino hacia la calidad y la equidad en la educación. En el sexto desafío estratégico de este plan se especifica el uso de tecnologías para fortalecer “la enseñanza, la construcción de conocimiento, el aprendizaje, la investigación y la innovación, fortaleciendo el desarrollo para la vida”. Para este fin se plantean diferentes lineamientos estratégicos para incluir las TIC en el sector educativo.^[6]
- Proyecto de Conexión Total: De acuerdo con el artículo 149 de la ley 1450 de 2011 se establece a conectividad en establecimientos educativos por medio del programa de conexión total. El programa se encuentra en cabeza del Ministerio de educación nacional y del Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones.^[7]
- Proyecto 10K (2021-2022) (Ministerio de las TIC): Consiste en darle conectividad con la implementación de más de 10 mil centros digitales en las instituciones educativas de 32 departamentos de Colombia, específicamente rurales. Se dividió en dos partes, la primera parte se adjudicó a Comcel S.A (Claro Colombia) y la segunda al operador UT Centros Poblados.^[8]

4.3 CONECTIVIDAD INALÁMBRICA

En telecomunicaciones existen diferentes tipos de medios de transmisión para conectar lugares, entre los cuales se encuentran: la Fibra óptica, enlaces de microondas, pares trenzados, cable coaxial y radio enlaces. Para el caso de estudio de esta monografía, la conectividad para llevar internet a escuelas rurales se hace por medio de radio enlaces o enlaces microondas. Para estos enlaces existen dos métodos principales de implementación utilizando la conectividad inalámbrica: Punto a Punto (PtP por sus siglas en inglés Point to Point) y Punto a multipunto (PtMP por sus siglas en inglés Point to Multi Point).

- Enlace PtP: Es un canal de comunicación donde solo se comunican dos nodos. Para más claridad el nodo A se le considera dispositivos AP o maestro y el nodo B se le considera dispositivo CPE o esclavo. En la ilustración 1 se puede observar un ejemplo de enlace punto a punto.

Figura 1. Enlace PtP.



Fuente: JMTelcom

- Enlace PtMP: Es un enlace punto a multipunto se establecen canales de comunicación con dos o más nodos desde un dispositivo maestro. En la ilustración 2 se observa un ejemplo de enlace PtMP.

Figura 2. Enlace PtMP



Fuente: Acsys.

5. MATERIALES

5.1 MATERIALES

Para la ejecución de la comparación desarrollada en el documento, se tuvieron en cuenta los siguientes softwares: PathLoss y RADWIN. Así como la utilización de la BDEB desarrollada por la ANE y la USTA.

6. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO DESARROLLADO POR GLL INGENIERIA EU

6.1 METODOLOGIA

El estudio técnico de la empresa GLL ingeniería EU se llevó a cabo ejecutando las siguientes labores:

- Visitar los sitios para recopilar la información de cada institución educativa, tales como: ubicación, equipos de cómputo, estado de las redes, personal administrativo, jornada de estudio.
- Realizar el estudio técnico para garantizar Internet a la escuela desde la estación base de Claro.
- Realizar el estudio de energía que permita asegurar conexión eléctrica para todos los dispositivos necesarios para la conectividad Wifi en la institución.
- Elaborar el diseño del esquema de instalación para determinar cómo quedaría la infraestructura requerida para la conectividad de la institución.

Luego de realizar las anteriores actividades, se consignan los resultados en diferentes informes para entregar tanto al MinTIC como a Claro, de manera, que ellos puedan procedan con el despliegue de la red. Para cada institución se contemplaron enlaces PtP, las instituciones se parametrizan dependiendo de los requerimientos de Ancho de Banda. En la tabla 1 se pueden ver las instituciones y el Ancho de Banda requerido, los nombres de las instituciones están enumerados para proteger la confidencialidad de la información de la empresa. Cabe aclarar que el ancho de banda descrito en la tabla 1 hace referencia a la velocidad de transmisión de datos que se requiere en cada institución, se llama ancho de banda debido a que los operadores comercialmente utilizan este término.

Tabla 1. Instituciones educativas con requerimientos de ancho de banda

INSTITUCIONES	ANCHO DE BANDA DOWN (Mbps)	ANCHO DE BANDA UP (Mbps)
Institución educativa #1	12	3
Institución educativa #2	12	3
Institución educativa #3	15	3.75
Institución educativa #4	12	3
Institución educativa #5	12	3
Institución educativa #6	12	3
Institución educativa #7	12	3
Institución educativa #8	12	3
Institución educativa #9	15	3.75
Institución educativa #10	12	3
Institución educativa #11	12	3
Institución educativa #12	12	3
Institución educativa #13	12	3
Institución educativa #14	12	3
Institución educativa #15	12	3
Institución educativa #16	12	3
Institución educativa #17	12	3
Institución educativa #18	21	5.25
Institución educativa #19	15	3.75
Institución educativa #20	18	4.5
Institución educativa #21	18	4.5
Institución educativa #22	15	3.75
Institución educativa #23	12	3
Institución educativa #24	12	3
Institución educativa #25	12	3
Institución educativa #26	12	3
Institución educativa #27	12	3
Institución educativa #28	12	3
Institución educativa #29	18	4.5
Institución educativa #30	12	3
Institución educativa #31	12	3
Institución educativa #32	12	3

Institución educativa #33	15	3.75
Institución educativa #34	15	3.75
Institución educativa #35	18	4.5
Institución educativa #36	15	3.75
Institución educativa #37	12	3
Institución educativa #38	15	3.75
Institución educativa #39	12	3
Institución educativa #40	15	3.75
Institución educativa #41	12	3
Institución educativa #42	12	3
Institución educativa #43	18	4.5
Institución educativa #44	12	3
Institución educativa #45	21	5.25
Institución educativa #46	12	3
Institución educativa #47	12	3
Institución educativa #48	12	3
Institución educativa #49	12	3
Institución educativa #50	15	3.75
Institución educativa #51	18	4.5
Institución educativa #52	12	3
Institución educativa #53	12	3
Institución educativa #54	12	3
Institución educativa #55	12	3
Institución educativa #56	12	3
Institución educativa #57	12	3
Institución educativa #58	18	4.5
Institución educativa #59	15	3.75

Institución educativa #60	12	3
Institución educativa #61	12	3

Fuente: MinTIC.

Para llevar internet a cada institución, se plantea su conexión a una torre donde Claro cuente con una estación base. En la tabla 2 se muestra la altura de diferentes torres donde Claro tiene estaciones base, que serán usadas para dar conectividad a las instituciones, de nuevo numeradas por temas de confidencialidad.

Tabla 2. Estaciones base con alturas.

BTS	ALTURA
Estacion Base #1	45
Estacion Base #2	50
Estacion Base #3	60
Estacion Base #4	45
Estacion Base #5	45
Estacion Base #6	60
Estacion Base #7	40
Estacion Base #8	40
Estacion Base #9	45
Estacion Base #10	60
Estacion Base #11	45
Estacion Base #12	40
Estacion Base #13	100
Estacion Base #14	60
Estacion Base #15	80
Estacion Base #16	70
Estacion Base #17	40

Fuente: Claro

6.2 CASO DE ESTUDIO ENLACE PTP

Se tomó como ejemplo la institución educativa #61, para mostrar las actividades ejecutadas dentro del estudio técnico. Para llevar Wifi a la escuela, se designó un salón de la institución como el centro digital y para establecer la conexión con la estación base se usa un mástil de 12 m por defecto para todas las instituciones. En la figura 3 se puede evidenciar la delimitación de la escuela y el salón escogido para el centro digital, así como la ubicación del mástil.

Figura 3. Delimitación de centro digital en institución educativa.



Fuente: Propia.

Teniendo clara la ubicación de centro digital y del mástil, se fijó la ubicación de los dispositivos para dar conectividad de Internet en la institución educativa. En la Figura 4, se observa la ubicación sugerida para el modem Wifi Indoor.

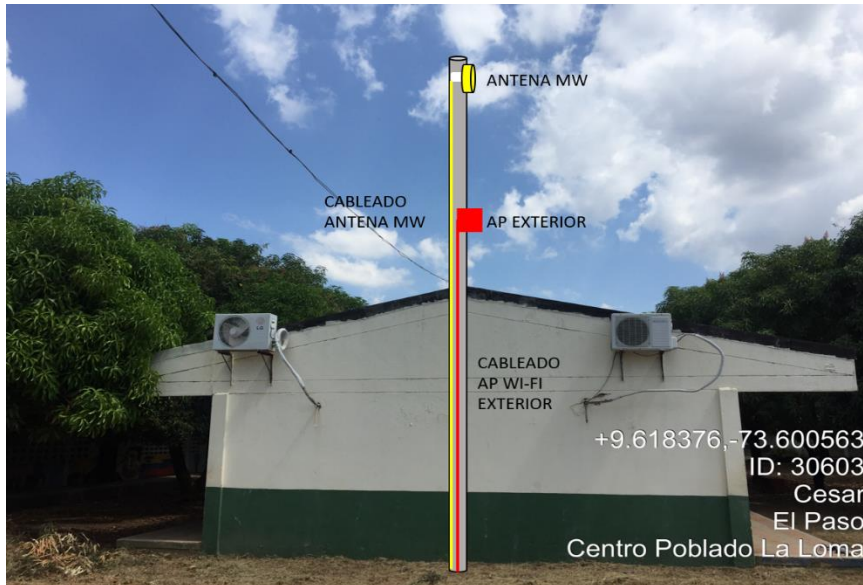
Figura 4. Ubicaciones equipos indoor institución educativa.



Fuente: Propia.

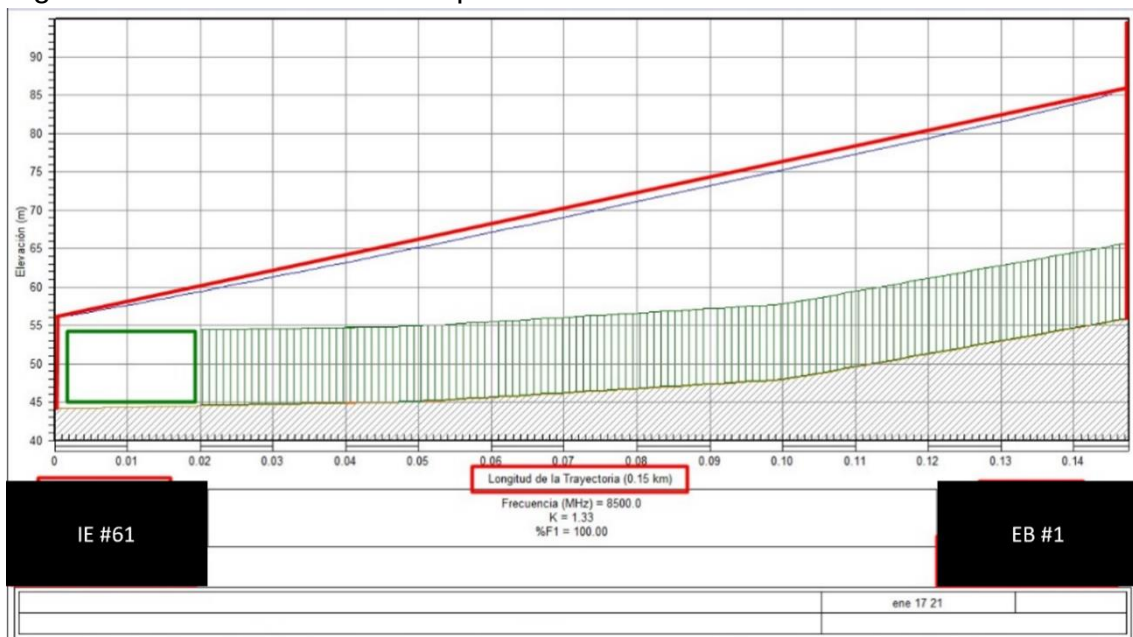
En la Figura 5, se observa la ubicación sugerida del modem Wifi Outdoor y su antena de transmisión (MW), por medio de la cual se establece un enlace PtP con la estación bases de Claro que funciona como ISP, además de proveer wifi alrededor de la institución con un radio ideal de 90m, como lo muestra la Figura 7.

Figura 5. Ubicaciones equipos Outdoor institución educativa.



Fuente: Propia.

Figura 6. Perfil transmisión PtP para la institución educativa.



Fuente: Propia.

Figura 7. Cobertura wifi exterior.



Fuente: Propia.

La Figura 6 muestra el perfil del terreno entre la estación base #1 de claro con altura de 60m y la institución #61 con altura 12m, tomando como referencia la frecuencia de transmisión de 8500 MHz, una distancia de 0.15Km, la zona de Fresnel sin ningún obstáculo. Se puede observar que existe línea de vista, se ejecutó el perfil por medio del software llamado PathLoss.

Para la implementación de cada enlace PtP en cada escuela, se deben tener en cuenta los dispositivos a utilizar. Para el proyecto 10K se obtuvo el convenio con los dispositivos de Cambium Networks para la ejecución de los enlaces, los cuales se describen a continuación:

- ePMP Force 300-19R: Es un dispositivo Punto Multipunto, por versatilidad se contrata este tipo de dispositivos, pero se trabajará como Punto a Punto para conectar la estación base con la escuela. Este dispositivo se instala en la estación base a la altura descrita por el perfil de transmisión. Su banda de frecuencia es de 5GHz.
- ePMP Force 300 CSM: Es un dispositivo Punto Multipunto, por versatilidad se contrata este tipo de dispositivos, pero se trabajará como Punto a Punto para conectar la escuela con la estación base. Este dispositivo se instala en la institución educativa como se observa en la Figura 5, denominada antena MW en la figura. Su banda de frecuencia es de 5GHz.
- ePMP 3000L Access Point: Es el dispositivo con el cual se transmite el Wi-Fi en la institución educativa. Para cubrir el radio de 90m descrito en la Figura

7 se necesitan 2 dispositivos de estos, llamado AP exterior en la Figura 5. Para cubrir el centro digital dispuesto en la Figura 4 se necesita 1 dispositivo de estos, llamado AP en la figura. Su banda de frecuencia es de 5GHz.

En la Tabla 3 se especifican los precios unitarios de los dispositivos a utilizar para los enlaces PtP de cada institución educativa. Mas adelante en la Tabla 21 se establecen los precios para las 61 escuelas rurales.

Tabla 3. Precios dispositivos PtP para la institución educativa.

Equipos	Tipo antena (Integrada/ Externa)	Diámetro Antena	Icono	Precio	Banda de frecuencia
ePMP Force 300-19R	integrada	integrada		\$ 490,000	5GHz
ePMP Force 300 CSM	externa	2ft / 0.6mt		\$ 816,000	5GHz
ePMP 3000L Acces Poi	externa	594mm X 157mm x 110 mm		\$ 816,000	5GHz

Fuente: Propia.

6.3 RESULTADOS DEL PROYECTO 10K.

Para cada una de las estaciones base de Claro se establecen diferentes enlaces PtP con las diferentes instituciones. En las tablas 4 - 20, se pueden ver las instituciones conectadas por cada estación base a través de un enlace PtP y el azimut que debe tener la institución para apuntar a su correspondiente estación base.

Tabla 1. Descripción enlace PtP para estación base #1

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #1	Institucion educativa #61	157

Fuente: Propia.

Tabla 2. Descripción enlace PtP para estación base #2

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #2	Institucion educativa #14	166
Estacion Base #2	Institucion educativa #23	149

Fuente: Propia.

Tabla 3. Descripción enlace PtP para estación base #3

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #3	Institucion educativa #15	246
Estacion Base #3	Institucion educativa #16	246
Estacion Base #3	Institucion educativa #47	218
Estacion Base #3	Institucion educativa #55	25

Fuente: Propia.

Tabla 4. Descripción enlace PtP para estación base #4

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #4	Institucion educativa #19	51

Fuente: Propia.

Tabla 5. Descripción enlace PtP para estación base #5

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #5	Institucion educativa #20	88

Fuente: Propia.

Tabla 6. Descripción enlace PtP para estación base #6

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #6	Institucion educativa #22	219
Estacion Base #6	Institucion educativa #38	43
Estacion Base #6	Institucion educativa #39	79
Estacion Base #6	Institucion educativa #45	61
Estacion Base #6	Institucion educativa #48	176
Estacion Base #6	Institucion educativa #49	218

Fuente: Propia.

Tabla 7. Descripción enlace PtP para estación base #7

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #7	Institucion educativa #13	138
Estacion Base #7	Institucion educativa #17	172
Estacion Base #7	Institucion educativa #59	319

Fuente: Propia.

Tabla 8. Descripción enlace PtP para estación base #8

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #8	Institucion educativa #24	6
Estacion Base #8	Institucion educativa #27	134
Estacion Base #8	Institucion educativa #44	212
Estacion Base #8	Institucion educativa #46	167

Fuente: Propia.

Tabla 9. Descripción enlace PtP para estación base #9

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #9	Institucion educativa #25	214
Estacion Base #9	Institucion educativa #26	275
Estacion Base #9	Institucion educativa #28	297
Estacion Base #9	Institucion educativa #29	245
Estacion Base #9	Institucion educativa #37	120
Estacion Base #9	Institucion educativa #40	151
Estacion Base #9	Institucion educativa #41	148

Fuente: Propia.

Tabla 10. Descripción enlace PtP para estación base #10

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #10	Institucion educativa #33	84

Fuente: Propia.

Tabla 11. Descripción enlace PtP para estación base #11

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #11	Institucion educativa #42	204
Estacion Base #11	Institucion educativa #43	209

Fuente: Propia.

Tabla 12. Descripción enlace PtP para estación base #12

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #12	Institucion educativa #54	205
Estacion Base #12	Institucion educativa #56	128
Estacion Base #12	Institucion educativa #58	70

Fuente: Propia

Tabla 13. Descripción enlace PtP para estación base #13

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #13	Institucion educativa #57	255

Fuente: Propia.

Tabla 14. Descripción enlace PtP para estación base #14

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #14	Institucion educativa #1	91
Estacion Base #14	Institucion educativa #2	98

Fuente: Propia.

Tabla 15. Descripción enlace PtP para estación base #15

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #15	Institucion educativa #30	225
Estacion Base #15	Institucion educativa #31	226
Estacion Base #15	Institucion educativa #32	288
Estacion Base #15	Institucion educativa #5	207
Estacion Base #15	Institucion educativa #8	266
Estacion Base #15	Institucion educativa #9	337

Fuente: Propia.

Tabla 16. Descripción enlace PtP para estación base #17

Site Name	Costumer Name	Azimuth
Estacion Base #17	Institucion educativa #12	41
Estacion Base #17	Institucion educativa #18	166
Estacion Base #17	Institucion educativa #34	251
Estacion Base #17	Institucion educativa #35	241
Estacion Base #17	Institucion educativa #60	66

Fuente: Propia.

Tabla 17. Enlaces para instituciones sin línea de vista.

Site Name	Costumer Name
Enlace Satelital	Institucion educativa #3
Enlace Satelital	Institucion educativa #4
Enlace Satelital	Institucion educativa #6
Enlace Satelital	Institucion educativa #7
Enlace Satelital	Institucion educativa #10
Enlace Satelital	Institucion educativa #11
Enlace Satelital	Institucion educativa #21
Enlace Satelital	Institucion educativa #36
Enlace Satelital	Institucion educativa #50
Enlace Satelital	Institucion educativa #51
Enlace Satelital	Institucion educativa #52
Enlace Satelital	Institucion educativa #53

Fuente: Propia.

Se puede concluir que para 49 instituciones educativas de las 61 asignadas se puede dar conectividad mediante un enlace PtP desde una estación base de Claro, porque existe línea de vista. Para las 12 instituciones restantes se propone conectividad mediante un enlace satelital, el cual fue desarrollado por otra empresa contratista. Se destaca que la estación base #16 no se tiene Línea de vista con ninguna institución de este listado, por lo tanto, no se utiliza.

Tomando como base la anterior clasificación se puede estimar el costo de despliegue del proyecto 10k, la Tabla 21 muestra el total del proyecto sin incluir los costos de cableado, infraestructura, energía, personal los cuales no son influyentes para la comparación de tecnología y son generados por los constructores.

Tabla 21. Costo estimado de enlaces para instituciones educativas

Equipos	Precio Unitario	Cantidad	Total
ePMP Force 300-19R	\$ 1,957,000	49	\$ 95,893,000
ePMP Force 300 CSM	\$ 3,522,600	49	\$ 172,607,400
ePMP 3000L Acces Point	\$ 3,522,600	147	\$ 517,822,200
Antena satelital	\$ 4,200,000	12	\$ 50,400,000
		Total	\$ 836,722,600

Fuente: Propia.

7. SOLUCION RADIO TVWS

Partiendo del hecho que TVWS es una solución de banda ancha que permite hacer conexiones inalámbricas sobre frecuencias que no generan costo, y que estas frecuencias están en las bandas 470 – 512 MHz, 512 – 608 MHz, 614 – 698 MHz, se cuenta con la posibilidad de tener la disponibilidad máxima de 36 canales de 6 MHz en función de la ubicación geográfica, y esta disponibilidad se da siempre y cuando no interfiera los servicios primarios de TV, **no este prohibidos** y respeten todos los acuerdos fronterizos. Los canales 14, 37 y 51 están inhabilitados para uso de TVWS, los de los extremos para salvar el borde de la banda y el 37 para radio astronomía.

La disponibilidad de canales en Colombia la calcula la BDEB de la Agencia nacional del espectro desde octubre de 2021, a través de la URL <https://tvwhitespaces.ane.gov.co/app>. Actualmente existe un régimen transitorio de 6 meses en los que los operadores pueden pedir estudios a la ANE sin conectarse a la BDEB para solicitar canales, pero a partir de marzo de 2022 todos lo dispositivo TVWS deben conectarse a la BDEB para obtener los canales disponibles para su uso.

En la Figura 8 se evidencia la topología a utilizar para la implementación del proyecto de conectividad basado en TVWS.

Figura 8. Topología TVWS



Fuente: Propia.

Para el caso de estudio expuesto en el capítulo anterior, en el lado izquierdo de la Figura 8 se establecen como maestros los dispositivos TVWS colocados en las estaciones base que se necesiten, proporcionadas por Claro, enumeradas en la tabla 2, en las que se proporciona una conexión a internet por medio de la red de

Claro y desde el que se da cobertura a uno o varios dispositivos esclavos, que se ubicarían en cada una de las instituciones educativas descritas en la tabla 1.

Para el caso de las instituciones que no tienen línea de vista, que se establecen enlaces satelitales descrito en la tabla 17, por medio de TVWS se puede garantizar conectividad colocando los dispositivos maestros en ubicaciones cercanas a las escuelas, dando mayor cobertura a la red móvil y llegando a esos lugares alejados. Esto se puede generar por medio de un canal dedicado, gracias a una simcard proporcionada por Claro (Tabla 22).

Tabla 22. Enlaces satelitales a TVWS.

Estacion Base Cerca	Distancia dispositivo maestro	Institucion educativa
Estacion Base #14	10Km	3, 7 y 10
Estacion Base #15	7Km	4,6
Estacion Base #10	12Km	11
Estacion Base #17	10Km	21 y 36
Estacion Base #11	15Km	50,51,52 y 53

Fuente: Propia.

En la Tabla 22 se puede observar cómo se generaría la red TVWS para las instituciones que utilizaron enlace satelital. El campo de estación base cerca es la estación que queda más cerca a las instituciones y que podría conectarse el dispositivo maestro por el canal dedicado. La distancia dispositivo maestro es la distancia desde la estación base al dispositivo maestro donde podría quedar. Por último, en el campo institución educativa son los números de instituciones que quedarían cubiertas con la colocación del dispositivo maestro. La figura 8 también muestra la topología de esta aplicación, solo que el dispositivo maestro se ubicaría a la distancia descrita en la tabla 22.

El procedimiento de solicitud de canales por los dispositivos TVWS se hace por medio del protocolo PAWS, siguiendo las indicaciones del guideline de la ANE y conectándose a <https://tvwhitespaces.ane.gov.co/rpc>. Para esto el dispositivo maestro TVWS hace las solicitudes de la lista de canales disponibles cada 24 horas de la Base de Datos de espacios en blanco (BDEB), a través internet proporcionado por la red de Claro, para él y sus esclavos. Cabe aclarar que la lista de canales disponibles depende de la posición geográfica de cada dispositivo (maestro o esclavo) y se debe comunicar por el mismo canal.

Para explicar el procedimiento de solicitud de canales de los dispositivos maestros y esclavos, se selecciona la estación base #1, utilizando la interfaz publica de la BDEB (<https://tvwhitespaces.ane.gov.co/app>) se puede comprobar los canales

disponibles para la ubicación geográfica de esta estación base como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Canales disponibles en la BDEB para la estación base #1
Listado de canales

Disponible ✓
No Disponible ✗

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗

Fuente: ANE.

Según los canales generados en la Figura 9 para la estación base #1, se deben tener en cuenta los canales disponibles para el dispositivo esclavo en este caso en la institución educativa #61, que se muestra en la Figura 10. Deben escogerse los mismos canales en el dispositivo maestro y dispositivo esclavo. Para observar que institución educativa (dispositivo esclavo) pertenece a una estación base (dispositivo maestro) se observa en las tablas 4-20.

Figura 10. Canales disponibles en la BDEB para la institución educativa #61.
Listado de canales

Disponible ✓
No Disponible ✗

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗

Fuente: ANE.

Para garantizar la velocidad de transmisión exigida por el MinTIC para las instituciones descritas en la Tabla 1, con 4 canales se cumple en todos los casos pues son velocidades bajas. Pues teniendo como máxima velocidad 30Mbps para la institución educativa según la tabla 1 y con una modulación QPSK, una de las más básicas, se necesita un ancho de banda de 15Mhz. Por lo que teniendo un ancho de banda de 24Mhz dado por los 4 canales escogidos, las velocidades requeridas para las instituciones educativas se cumplirían en todos los casos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se selecciona los canales del 39 al 42 para la transmisión en esta conexión. Para cada estación base e institución educativa se determinan diferentes canales dependiendo las actualizaciones de la BDEB desarrollada por la ANE.

La tabla 23 muestra los canales a trabajar para cada institución, dependiendo la estación base conectada.

Tabla 23. Canales de TV para cada institución educativa

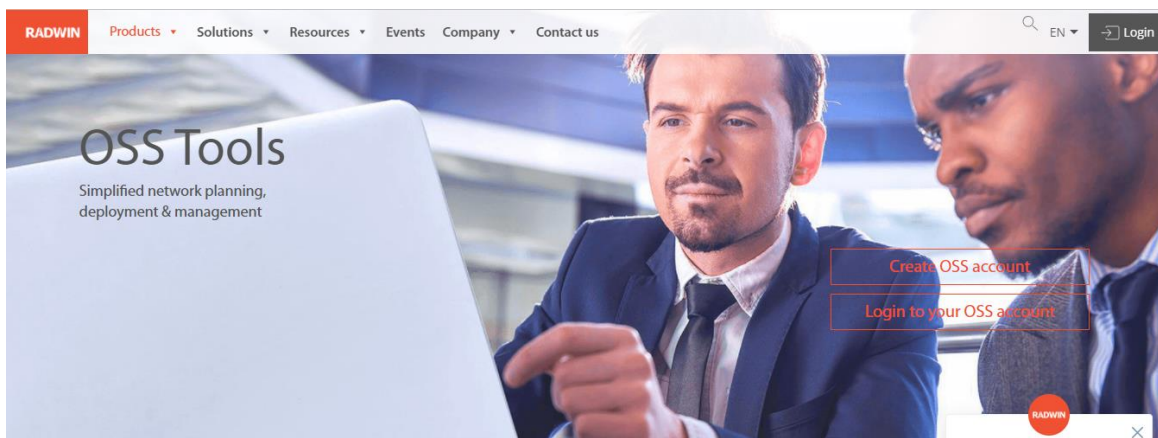
Nombre del sitio	Canales TV
Institución educativa #1	17 - 20
Institución educativa #12	16 - 19
Institución educativa #13	16 - 19
Institución educativa #14	17 - 20
Institución educativa #15	17 - 20
Institución educativa #16	17 - 20
Institución educativa #17	16 - 19
Institución educativa #18	16 - 19
Institución educativa #19	17 - 20
Institución educativa #2	17 - 20
Institución educativa #20	17 - 20
Institución educativa #22	17 - 20
Institución educativa #23	17 - 20
Institución educativa #24	17 - 20
Institución educativa #25	17 - 20
Institución educativa #26	17 - 20
Institución educativa #27	17 - 20
Institución educativa #28	17 - 20
Institución educativa #29	17 - 20
Institución educativa #30	17 - 20
Institución educativa #31	17 - 20
Institución educativa #32	17 - 20
Institución educativa #33	17 - 20
Institución educativa #34	16 - 19
Institución educativa #35	16 - 19
Institución educativa #37	17 - 20
Institución educativa #37	17 - 20
Institución educativa #37	17 - 20
Institución educativa #38	17 - 20

Institución educativa #39	17 - 20
Institución educativa #40	17 - 20
Institución educativa #41	17 - 20
Institución educativa #42	20 - 23
Institución educativa #43	20 - 23
Institución educativa #44	17 - 20
Institución educativa #45	17 - 20
Institución educativa #46	17 - 20
Institución educativa #47	17 - 20
Institución educativa #48	17 - 20
Institución educativa #49	17 - 20
Institución educativa #5	17 - 20
Institución educativa #54	17 - 20
Institución educativa #55	17 - 20
Institución educativa #56	17 - 20
Institución educativa #57	17 - 20
Institución educativa #58	17 - 20
Institución educativa #59	16 - 19
Institución educativa #60	16 - 19
Institución educativa #61	39 - 42
Institución educativa #8	17 - 20
Institución educativa #9	17 - 20

Fuente: ANE.

Luego de tener claros los canales disponibles sin cobro, por medio de la página Radwin (<https://www.radwin.com/oss-tools/>), que es una de las empresas que desarrolla tecnología TVWS, podemos modelar toda la red. Para modelar la red se utiliza el software OSS de la página RADWIN (Figura 11).

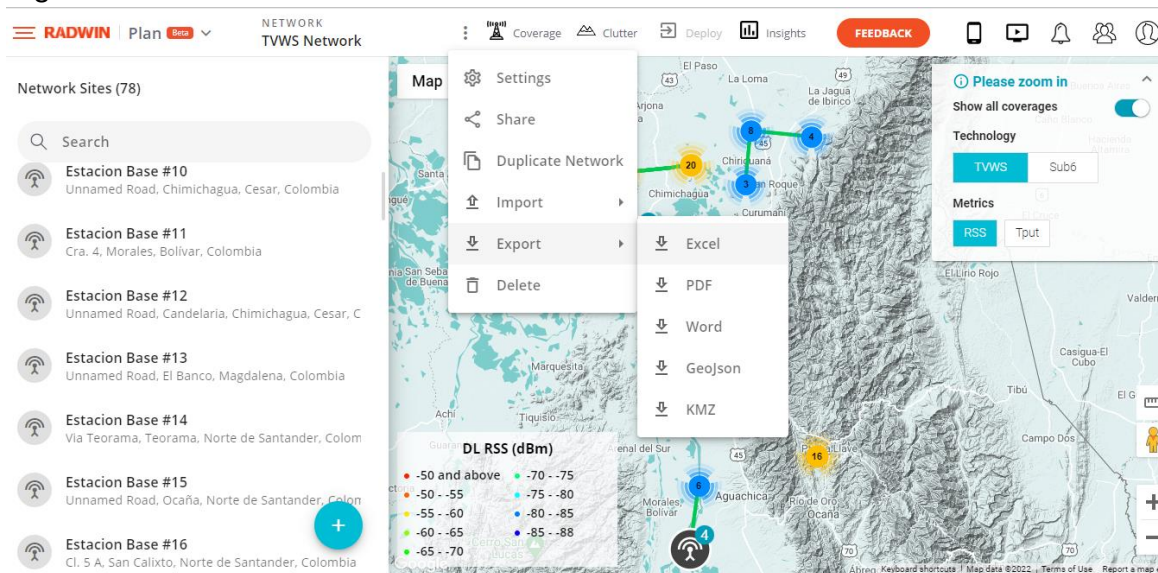
Figura 11. Software OSS (RADWIN).



Fuente: RADWIN.

Posterior se exporta el Excel para ingresar todos los parámetros que requiere OSS para modelar toda la red TVWS (Figura 12).

Figura 12. Generar red en OSS de TVWS.



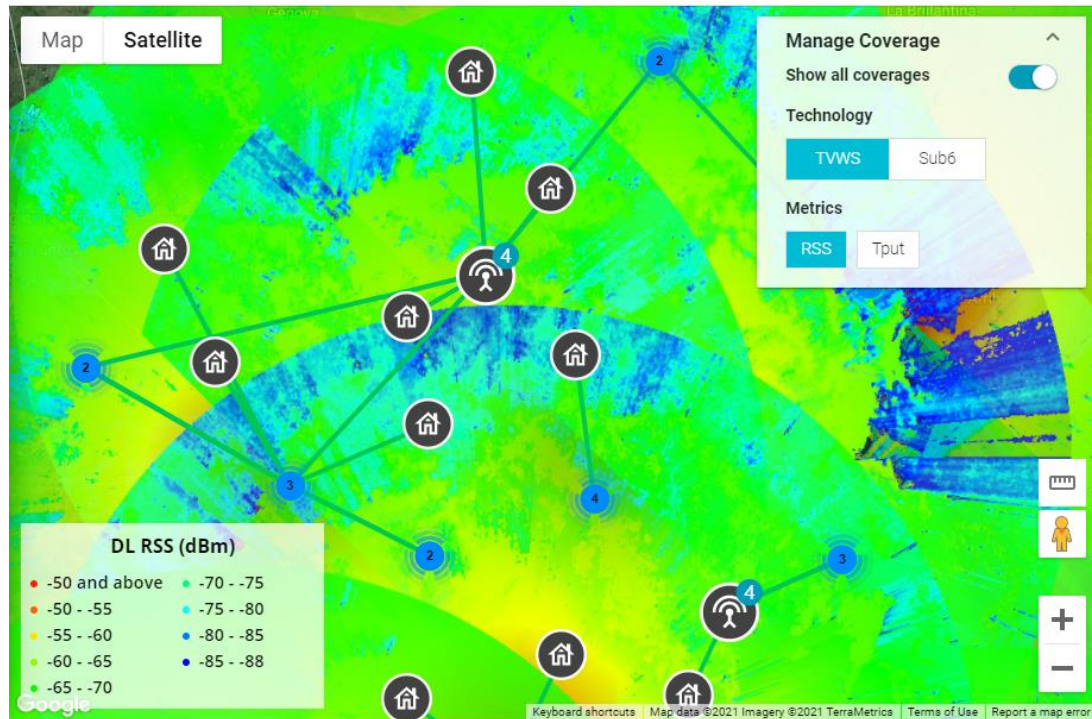
Fuente: RADWIN

Teniendo el Excel, se requiere el nombre de todas las instituciones educativas y estaciones bases con sus respectivas alturas (Tabla 2). También los datos de ancho de banda (velocidad) mostrado en la Tabla 1. Con esto la plataforma genera una simulación de la red TVWS.

En la Figura 13 se puede observar cómo se vería la simulación de la radiación de un dispositivo maestro, el máximo alcance que tienen estos dispositivos Radwin es de una circunferencia de radio 15Km, que permite dar cobertura a diferentes

dispositivos esclavos, permitiendo tener solo un dispositivo maestro por diferentes dispositivos esclavos, lo que reduce el uso de dispositivos en una estación base.

Figura 13. Red TVWS ejecutado por RADWIN



Fuente. RADWIN.

8. COMPARACION ENLACES PtP CON TVWS

Partiendo del hecho en que el proyecto ejecutado por la empresa GLL para el proyecto 10k fue desarrollado por medio de enlaces Punto a Punto. El enlace punto a punto es un canal donde solo se comunican dos nodos.

Para la concepción de la solución TVWS se desarrolla por enlaces Punto a Multipunto, donde se establece como ubicación del maestro TVWS las estaciones base de Claro y el dispositivo esclavo TVWS son las instituciones educativas. En un enlace punto a multipunto a diferencia de punto a punto se establecen canales de comunicación con dos o más nodos desde un dispositivo maestro. Teniendo como diferencias la potencia de la antena, la distancia, la penetración de obstáculos, entre otras. Pero estas diferencias ya están incluidas en los equipos a utilizar y se evidencia en el precio, por lo que se compara posteriormente según los requisitos descritos en los capítulos anteriores, cual solución tecnológica permite una mayor economía en la compra de equipos para proporcionar internet en las escuelas rurales del proyecto 10k.

En la solución de TVWS desde un dispositivo maestro se conectarán varios dispositivos esclavos, generando la instalación de menos dispositivos y menor inversión en personal para la instalación de la red. En la tabla 24 se evidencia la cantidad de dispositivos a utilizar para el proyecto de GLL, en la tabla 25 la cantidad de dispositivos para la solución TVWS. Esto genera una ventaja económica al momento de la instalación, pues al ser menos equipos se tiene una reducción de precios en la mano de obra para implementar el proyecto 10k.

Para la solución TVWS se tiene una limitante de ancho de banda, pues al tener solo 4 canales de comunicación teniendo un máximo de 24Mhz de ancho de banda, según los suministrado por los equipos. Para la solución de Claro se tienen limitantes de ancho de banda mayores pues se trabaja con una banda de frecuencia de 5GHz lo que genera mayores velocidades. Pero para este proyecto con las bandas a utilizar en TVWS se cumple con los requisitos de ancho de banda descritos en la Tabla 1.

Por bandas de frecuencia de transmisión más bajas como en la solución TVWS se tiene una mayor penetración de obstáculos para comunicarse de un equipo TX a un equipo RX, por lo que no es necesario línea de vista con las instituciones educativas. Por lo cual, es diferente en los enlaces de la solución dada por GLL, pues se debe garantizar línea de vista desde la estación base a la institución educativa como se evidencia en la figura 6 del caso de estudio.

Dando como resultado que la solución TVWS se trabaje mejor en zonas montañosas pues es difícil tener línea de vista en estas zonas por la cartografía.

Como resultado y de mayor importancia, se genera a continuación una comparación económica para la implementación de las dos soluciones desarrolladas en este trabajo.

En la tabla 24 se observan los costos de dispositivos para los enlaces desarrollados por Claro y GLL; en la tabla 25 se observan los costos de dispositivos a utilizar para implementar TVWS.

Tabla 24. Costos estimados dispositivos enlaces Claro

Equipos	Precio Unitario	Cantidad	Total
ePMP Force 300-19R	\$ 1,957,000	49	\$ 95,893,000
ePMP Force 300 CSM	\$ 3,522,600	49	\$ 172,607,400
ePMP 3000L Acces Point	\$ 3,522,600	147	\$ 517,822,200
Antena satelital	\$ 4,200,000	12	\$ 50,400,000
	Total	257	\$ 836,722,600

Fuente: Propia.

Tabla 25. Costos estimados dispositivos enlaces tecnología TVWS

Equipos	Precio Unitario	Cantidad	Total
RADWIN Outland Base station	\$ 5,678,000	16	\$ 90,848,000
RADWIN Outland Subscriber	\$ 2,500,000	49	\$ 122,500,000
ePMP 3000L Acces Point	\$ 3,522,600	147	\$ 517,822,200
Canal dedicado SimCard	\$ 100,000	12	\$ 1,200,000
	Total	224	\$ 732,370,200

Fuente: Propia.

Como se puede observar en las tablas anteriores, las antenas de solución TVWS pueden ser más costosas que las de enlaces PtP, pero debido a que la cantidad de antenas es mayor para estación base resulta siendo más económica la solución TVWS.

CONCLUSIONES

Para el contexto del proyecto 10K desarrollado por GLL, se evidencio que la implementación de TVWS es un 12% mas barato aproximadamente. La alternativa de TVWS no solo genera menores costos, sino que podría evitar la instalación de estaciones base donde se tiene una población muy reducida de personas, para llevar internet.

Por otro lado, la instalación de cantidad de dispositivos en TVWS es 13% menor, lo que genera menores costos en la mano de obra al momento de instalar los diferentes dispositivos. También genera menos espacio en las estaciones bases, pues no se tienen mucha cantidad de dispositivos.

Con TVWS se puede llegar a cumplir especificaciones de ancho de banda o velocidad requeridas por el MinTIC para soluciones de internet. Para otros proyectos con mayores anchos de banda se debe tener en cuenta si TVWS alcanza a cubrir velocidades mayores, con lo cual se dispondrían otras alternativas tecnológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANE. Resolución 181 de 2019: https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/resolucion_ane_0181_2019.htm
- [2] Pe, M. S. (n.d.). Tecnología espacios en blanco.
- [3] ANE. (n.d.). ANE. Espacios en Blanco en Colombia: https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/RRS-17Americas/Documents/Forum/4_ANE%20Carolina%20Daza%20TVWS.pdf
- [4] T, Maria. (Junio de 2005). Sociedad de la información / Sociedad del Conocimiento: <http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsciberprome/socinfocon.pdf>
- [5] Compartel. (n.d.). Disponible en: <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-860.html>
- [6] Ministerio de Educación Nacional. (2017). Plan Nacional Decenal de Educación 2016 - 2026. El camino hacia la calidad y la equidad.
- [7] MinTIC. (09 de diciembre de 2020). MinTIC. Obtenido de MinTIC: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/MinTIC-en-los-medios/161014:Adjudican-contrato-del-Mintic-para-la-creacion-de-centros-digitales>
- [8] MinTIC. (Diciembre de 2020). MinTIC. PLAN MARCO DE ASIGNACIÓN DE PERMISOS DE USO DEL ESPECTRO 2020 – 2022: https://mintic.gov.co/portal/715/articles-161074_recurso_1.pdf
- [9] ANE. (19 de enero de 2021). ANE. Obtenido de Proceso de Asignación de Permisos de uso de Espectro IMT: <https://www.ane.gov.co/SitePages/det-noticias.aspx?p=243>
- [10] Porcentaje de Matrícula con acceso a internet - Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (n.d.). Recuperado Agosto 22, 2018, Disponible en: <https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-348154.html>
- [11] Programa, I. D. E. L. (n.d.). Colegios totalmente conectados para una mejor calidad educativa, 1612.

[12]RADWIN. (Marzo de 2021). RADWIN. Obtenido de Una solución PtMP TV White Space para acceso de banda ancha en zonas rurales: <https://www.radwin.com/es/radwin-outland/>

[13]Redes, M. D. E., Red, M. D. E. L. A., Existente, D. E. D., Datos, D. E., Adecuaciones, D. E., Seguimiento, C. Y., ... Contratista, R. D. E. L. (n.d.). Lineamiento técnico 2018.

[14]Said Hung, E., Iriarte Diazgranados, F., Valencia Cobos, J., Borja, M., Ordóñez, M. P., Arellano Cartagena, W., ... Mejía, L. E. (2015). Hacia el Fomento de las TIC en el Sector Educativo en Colombia.

[15]USTA. (n.d.). Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones inicia convenio de cooperación con la Agencia Nacional del Espectro - ANE. Retrieved April 17, 2018, from <http://www.usta.edu.co/index.php/tomas-noticias/noticias-de-la-semana/item/2395-facultad-de-ingenieria-de-telecomunicaciones-inicia-convenio-de-cooperacion-con-la-agencia-nacional-del-espectro-ane>