



SEPTIEMBRE 19 al 22 2023
CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA



Metodología para la implementación de un sistema de transmisión de datos mediante el uso de TVWS

Jherson Cáceres Chanagá, Efrén Acevedo Cárdenas, Julián Rodríguez Ferreira

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

La Industria 4.0 ha traído grandes innovaciones tecnológicas generando desarrollo en diversos sectores de la sociedad, en donde las ingenierías aprovechan el potencial de tecnologías como el IoT para generar un impacto social. Sin embargo, para que las diferentes comunidades puedan beneficiarse de estas tecnologías, es crucial que ingresen a la era digital y tengan una conexión estable a Internet, lo cual se ha convertido en una problemática en nuestro país.

Hay que resaltar que una gran parte de las poblaciones en zonas rurales de países en desarrollo no cuentan con este servicio, esto debido a diferentes circunstancias, principalmente por el hecho que para ampliar las redes de servicios de telecomunicaciones en el sector rural se requiere una gran inversión, pensando en el uso de redes tradicionales como la fibra óptica, el móvil o los satélites. Debido a esto, se hace necesaria la búsqueda de nuevas soluciones que ayuden a cerrar la brecha digital entre el sector urbano y rural; una de ellas es la tecnología TVWS, la cual permite proveer a estos sitios con un servicio de banda ancha de bajo costo, con amplia cobertura y rápido despliegue.

Este documento presenta una metodología para llevar a cabo la implementación de la tecnología TVWS, con el fin de brindar conexión a internet a zonas rurales que no cuenten con este servicio. A lo largo del documento los lectores podrán encontrar características que debe cumplir el sistema, los elementos que lo conforman, normativas para el uso de la tecnología y criterios para la selección del área de implementación. Además, se presentan recomendaciones, ejemplos y en resumen, los procedimientos a realizar para obtener un radioenlace estable entre el transmisor y el receptor del sistema.

Este trabajo busca contribuir al cierre de la brecha digital existente en el país, proporcionando soluciones que brinden o mejoren el servicio de Internet en zonas rurales, además de exaltar a la Universidad Industrial de Santander como una institución en donde se desarrolla el potencial de sus investigaciones en pro del bienestar y avance tecnológico de las comunidades rurales.

Palabras clave: TVWS; radioenlace; Internet

Abstract

Industry 4.0 has brought great technological innovations generating development in various sectors of society, where engineering take advantage of the potential of technologies such as IoT to generate a social impact. However, for the different communities to benefit from these technologies, it is crucial that they enter the digital era and have a stable Internet connection, which has become a problem in our country.

It should be noted that a large part of the populations in rural areas of developing countries don't have this service, this due to different circumstances, mainly due to the fact that to expand telecommunications service networks in the rural sector requires a large investment, thinking in the use of traditional networks such as fiber optics, mobile or satellites. Due to this, it is necessary to search for new solutions that help to close the digital gap between the urban and rural sectors; one of them is the TVWS technology, which allows providing these sites with a low-cost broadband service, with wide coverage and rapid deployment.

This document presents a methodology to carry out the implementation of TVWS technology, in order to provide Internet connection to rural areas that don't have this service. Throughout the document, readers will find characteristics that the system must comply with, the elements that comprise it, regulations for the use of the technology and criteria for the selection of the implementation area. In addition, recommendations, examples and, in summary, the procedures to be carried out to obtain a stable radio link between the transmitter and the receiver of the system are presented.

This work seeks to contribute to the closing of the existing digital gap in the country, providing solutions that provide or improve the Internet service in rural areas, in addition to extolling the Universidad Industrial de Santander as an institution where the potential of its research is developed for the welfare and technological advancement of rural communities.

Keywords: TVWS; radio link; Internet

1. Introducción

Investigaciones llevadas a cabo por la ITU (International Telecommunication Union) revelan que más del 50% de la población mundial está accediendo a Internet por primera vez, y numerosas organizaciones a nivel global consideran que el acceso a Internet es un derecho humano fundamental. Sin embargo, es importante destacar que existe una gran proporción de comunidades en

áreas rurales de países en desarrollo que no pueden disfrutar de este privilegio debido a diversas circunstancias (Lysko, et al., 2019).

En el contexto colombiano, un estudio desarrollado por el DANE encontró que solo el 28,8% de los hogares rurales tenían acceso a Internet hacia 2021 (DANE, 2022), esto debido al desafío técnico que representa proporcionar conexión a Internet en áreas rurales con características geográficas montañosas, densa vegetación y trayectos extensos de varios kilómetros. Además, se suma el hecho de que estas regiones suelen albergar poblaciones pequeñas, alejadas de los centros urbanos, con ingresos limitados, haciendo que la idea de implementar infraestructuras de telecomunicaciones tradicionales resulte poco atractiva para los proveedores del servicio, ya que son costosas o difíciles de desplegar, sin mencionar que la generación de ganancias o la recuperación de inversiones significativas sería complicado de lograr (Ismail, et al., 2019).

Es aquí donde se hace útil la tecnología TVWS (TV White Space), con características como bajo costo de implementación, amplia cobertura, despliegue rápido y sencillo, para el objetivo de brindar acceso a banda ancha en áreas rurales (Ndlovu, et al., 2017; NaiQian, et al., 2018). Los Espacios en Blanco de Televisión (TVWS, por sus siglas en inglés), refieren al uso eficiente del espectro, mediante el aprovechamiento de canales de televisión sin uso en la banda baja de UHF. Estos canales, conocidos como espacios en blanco, son frecuencias no asignadas o no utilizadas por el servicio primario, ubicadas dentro del rango de frecuencias destinado a la radiodifusión de televisión, que va desde los 470 MHz hasta los 698 MHz y que, mediante el uso de dispositivos dedicados para espacios en blanco, es posible transmitir datos de manera temporal y en ubicaciones específicas utilizando dichas frecuencias (Amine, et al., 2017; ANE, 2019).

Este artículo presenta una metodología para la implementación de un sistema de transmisión de datos utilizando TVWS, basada en el estudio técnico realizado en (Cáceres, 2021). Se desarrolla siguiendo los criterios y regulaciones establecidas por la ANE (agencia reguladora del país). Cabe destacar que esta metodología es aplicable a nivel global, siempre y cuando se consideren los ajustes necesarios en función de las particularidades geográficas y las normativas establecidas por la agencia reguladora del espectro de cada país.

La metodología se divide en tres secciones: Selección del área de implementación, aquí se encuentran los criterios que deben cumplir las zonas de transmisión y recepción, algunas normativas para el uso de la tecnología TVWS en Colombia y un estudio de zona de Fresnel y presupuesto de enlace. La siguiente sección presenta la Selección del equipo TVWS, contiene las características del sistema y los elementos que lo conforman. La tercera sección es la Evaluación e instalación de los dispositivos, en donde se presentan las verificaciones a realizar para evaluar el correcto funcionamiento de los equipos adquiridos y los pasos para realizar su instalación. Finalmente, se exponen las conclusiones derivadas de la elaboración de este artículo.

2. Selección del área de implementación

El primer paso para la implementación del sistema consiste en seleccionar el área de implementación, la cual se compone de dos zonas: el punto transmisor, donde se ubicará la estación base

(BS), y el punto receptor, donde se ubicará el CPE o punto de cliente. Por ejemplo, se podría seleccionar una alcaldía o una universidad para la BS, y un centro escolar rural como CPE. Para realizar este proceso, es necesario llevar a cabo un estudio de las posibles zonas a seleccionar. En este sentido, se desglosan cinco subsecciones presentadas a continuación.

2.1 Criterios y normas para la selección del área

Para seleccionar las zonas correspondientes se deben tener en cuenta los siguientes criterios: La BS debe contar con conexión estable a Internet. El CPE, será un lugar donde no haya acceso a Internet o donde el ancho de banda existente no satisfaga la demanda requerida. La distancia entre los dos puntos debe estar dentro del rango de cobertura óptimo de los equipos de TVWS (15 km aproximadamente) y no se deben encontrar obstrucciones significativas en la trayectoria del enlace de radio (montañas). Por otro lado, debe haber disponibilidad de canales de televisión en común entre ambas zonas. Estos lugares deben cumplir con requisitos mínimos de infraestructura para la red o permitir su instalación (torres, mástiles) y contar con sitios destinados para la instalación de equipos (Sun, et al., 2017; USAID, 2019).

Por otro lado, es recomendable verificar que no se encuentren antenas de TDT en las proximidades de las posibles zonas, dado que la tecnología TVWS es susceptible al ruido generado por los transmisores de TV. La presencia de interferencias afectará el rendimiento del sistema, resultando en cambios, como modificaciones en la modulación utilizada, lo cual disminuirá la tasa de transmisión de datos (Popescu, et al., 2016; Foo, 2017).

Adicionalmente, la Agencia Nacional del Espectro (ANE), entidad reguladora en Colombia, ha establecido la regulación para el uso de la tecnología TVWS (ANE, 2019). En esta normativa se presentan las condiciones técnicas y operativas para garantizar la coexistencia y la protección de los servicios primarios (Televisión Digital Terrestre - TDT). En la siguiente figura se resume algunas de las características mencionadas en la resolución, las cuales debe cumplir el sistema.



Figura 1. Normativa colombiana para el uso de TVWS. Fuente: (Daza, 2017).

Como se puede apreciar, otro criterio relevante al seleccionar el área de implementación es la altitud de la zona, no se pueden ubicar las antenas en áreas geográficas que se encuentren a una altura superior a 800 metros por encima del promedio del terreno.

2.2 Distancia entre los puntos

Una vez identificadas las posibles zonas, considerando las recomendaciones y criterios mencionados, se procederá a medir la distancia entre los dos puntos. Para esto se puede utilizar la herramienta de Google Earth. De esta manera, se podrá verificar si la distancia entre las ubicaciones se encuentra dentro del rango óptimo para lograr una buena conexión, que generalmente es alrededor de 15 km. Estudios han demostrado que esta distancia es ideal para obtener una tasa de transmisión de datos aceptable, aunque cabe resaltar que la tecnología puede utilizarse efectivamente a distancias mayores (Ismail, et al., 2019; Martinez, et al., 2018).

Se tomará como caso de estudio un área rural de El Cocuy, municipio de Boyacá, para mostrar a manera de ejemplo los procedimientos descritos. Por lo cual se ha escogido como estación base un punto Vive Digital cercano a la alcaldía, el cual tiene conexión a internet y cuenta con un poste para la instalación de los equipos; y como CPE una escuela rural del municipio que no cuenta con el servicio. Utilizando Google Earth se obtiene una distancia de 5,29 km, esto se puede corroborar en la sección 2.5.

2.3 Disponibilidad de canales

Posteriormente, es necesario verificar la disponibilidad de canales TVWS en los puntos seleccionados. Esto se puede realizar utilizando la aplicación virtual proporcionada por la ANE, tal como se ilustra en la Figura 2, o solicitando un listado de canales disponibles a través de correo electrónico, siguiendo el protocolo establecido por el ente regulador, según se indica en (ANE, 2019). Es fundamental tener en cuenta que ambos puntos deben contar con canales disponibles en común ya que por estos se transmitirá.

A la aplicación web (ANE, 2020) se le ingresan las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de las zonas escogidas y esta mostrará los canales disponibles para su uso. Como se puede observar a continuación, los sitios cuentan con canales libres en común (43 al 50), cumpliendo así el criterio, de no haberse presentado ninguno esta área seleccionada no serviría.

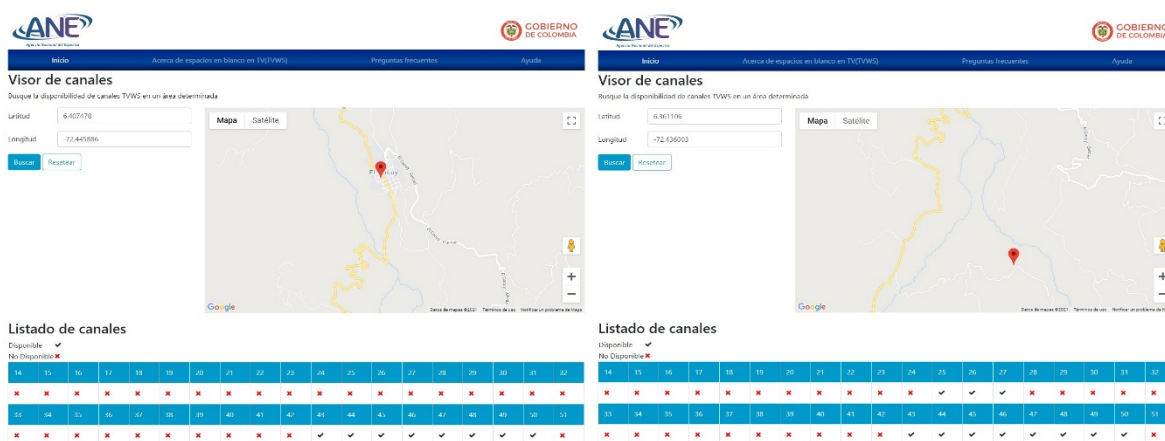


Figura 2. Aplicativo para buscar disponibilidad de canales TVWS. BS (izquierda) – CPE (derecha). Fuente: (ANE, 2020).

2.4 Cobertura y línea de vista entre los puntos

Es necesario evaluar la cobertura del transmisor en el punto seleccionado mediante el uso de un software de simulación de radioenlaces, como Radio Mobile. Esto permitirá descartar las áreas a las que no se podrá llegar y determinar los lugares posibles para la implementación, considerando que un radio transmisor puede estar enlazado con varios CPE. La cobertura obtenida se muestra en la siguiente figura.

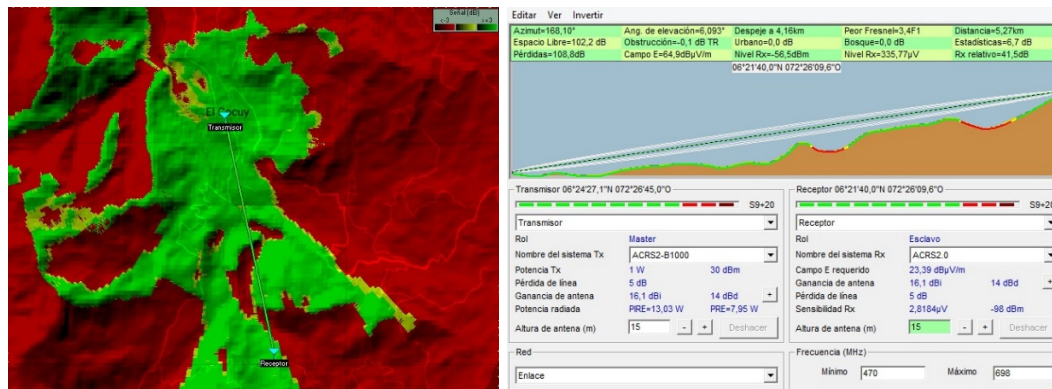


Figura 3. Cobertura y línea de vista entre los puntos del radioenlace utilizando Radio Mobile.

Una vez identificadas las zonas con cobertura (zonas verdes), se puede verificar si el CPE se encuentra dentro de ellas. Igualmente se puede verificar la viabilidad del radioenlace observando si existe línea de vista entre los dos puntos. Aunque la tecnología TVWS tiene la ventaja de no requerir línea de vista para su funcionamiento adecuado (Lamola, et al., 2019), es necesario verificar que no haya obstrucciones significativas, como montañas. Para realizar esta simulación, se le deben ingresar al software las características del sistema, como la altura y ganancia de las antenas, la potencia de transmisión y la sensibilidad de los radios.

La Figura 3 confirma que la zona rural seleccionada es adecuada para establecer un radioenlace. Mediante el software de simulación, se puede visualizar la topografía de la zona y verificar que no existen obstrucciones que interfieran con la línea de vista entre el transmisor y el receptor. Además, la simulación proporciona la potencia de la señal recibida (Nivel Rx) y el margen de operatividad (Rx relativo) en relación con la sensibilidad del sistema receptor. Este valor será comprobado en la siguiente sección al realizar el Presupuesto de Enlace.

2.5 Presupuesto de enlace de radio y zona de Fresnel

Para finalizar, se verifica el cumplimiento de la primera zona de Fresnel en todo el trayecto del radio enlace y se elabora un presupuesto de enlace para garantizar el uso de los dispositivos adecuados, considerando aspectos como la potencia, sensibilidad y ganancia requerida.

Para verificar la zona de Fresnel (ZF) se puede usar la herramienta online UISP Design, la cual brinda información sobre el radioenlace, incluyendo la distancia, línea de vista y altura de las antenas. En la Figura 4 se corrobora que existe línea de vista, sin obstrucciones en la ZF. La distancia del enlace es de 5,31 km. La plataforma permite observar, en cualquier punto del trayecto, la

altura a la cual comienza la ZF y la distancia al sitio donde se está calculando. El radio de la ZF será la diferencia entre las alturas de la línea de vista (73,9 m) y la ZF (52,8 m), esto da como resultado que el radio mide 21,1 m a una distancia de 2,81 km del transmisor.

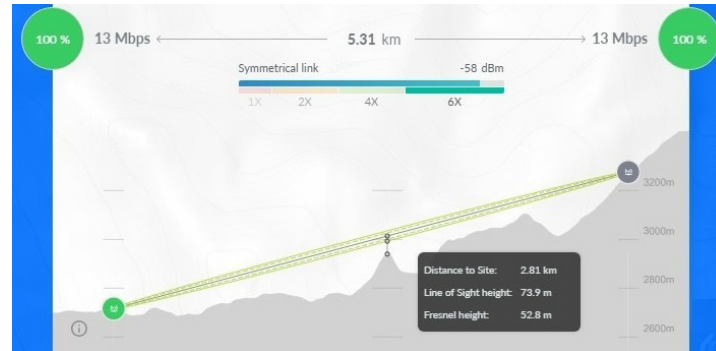


Figura 4. Herramienta UISP Design para la verificación de la primera zona de Fresnel.

El objetivo será verificar que no se interfiera con más del 40% de la zona de Fresnel. Aunque el ideal es que la ZF esté completamente despejada, en la práctica es aceptable si al menos el 60% del radio se encuentra despejado, lo que garantiza la integridad del radioenlace (Quispe, 2022).

Para el Presupuesto de Potencia se tiene lo siguiente:

$$PIRE = 30 \text{ dBm} - 5 \text{ dB} + 16.15 \text{ dBi} = 41.15 \text{ dBm} \quad (1)$$

Para la Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva, se aplican los valores permitidos por la regulación para la potencia de transmisión y la ganancia de las antenas. Además, se considera una pérdida de 5 dB debido a la línea de transmisión, incluyendo el cable y los conectores.

$$FSL[\text{dB}] = 20\text{Log}(0.659) + 20\text{Log}(5.3) + 92.5 \text{ dB} = 103.36 \text{ dB} \quad (2)$$

En cuanto a las pérdidas en el espacio libre se utiliza la frecuencia central de uno de los canales disponibles (canal 45 = 659MHz) y la distancia del enlace 5.3 km. Teniendo en cuenta una atenuación de 6 dB por obstáculos, se obtiene el presupuesto de potencia:

$$PP = 41.15 \text{ dBm} - 103.36 \text{ dB} - 6 \text{ dB} + 16.15 \text{ dBi} - 5 \text{ dB} = -57.06 \text{ dBm} \quad (3)$$

Lo cual concuerda con el Nivel Rx obtenido con Radio Mobile. El margen de operatividad se calcula como la diferencia entre el nivel de señal recibida en el receptor (PP) y su sensibilidad. Para asegurar un enlace exitoso, es necesario que este margen sea igual o mayor a 10 dB. Considerando una sensibilidad del receptor de -98 dBm, se obtiene:

$$\text{Margen} = -57.06 - (-98) = 40.94 \text{ dB} \quad (4)$$

Con base en los resultados de estos estudios, se puede anticipar un funcionamiento adecuado del radioenlace en este trayecto. Estas verificaciones nos brindan una estimación de la viabilidad y generan un alto nivel de confianza en el desempeño del sistema de transmisión.

3. Selección del equipo TVWS

Después de seleccionar el área de implementación, se debe investigar los equipos disponibles en el mercado a través de diversos proveedores (Carro, 2019), considerando sus servicios, costos y plazos de entrega. Luego, se evalúan conforme a su ficha técnica las características de los dispositivos para determinar cuáles cumplen con los requisitos establecidos por la regulación y satisfacen las necesidades del sistema.

3.1 Características en los dispositivos

Para la selección de los dispositivos TVWS (WSD - White Space Device) se debe verificar principalmente que cuenten con las siguientes características (Sun, et al., 2017; USAID, 2019):

- Potencia de transmisión y sensibilidad del receptor: a mayor sensibilidad y potencia mayor será el alcance de transmisión. La potencia máxima permitida es de 30 dBm y una buena sensibilidad tendrá valores por debajo de los -90 dBm.
- Ancho de banda del canal: la regulación del espectro de Colombia establece canales con un ancho de banda de 6 MHz, se debe verificar que el equipo maneje este ancho de banda.
- Tasa de transmisión: se buscan equipos que tengan una capacidad de transmisión de al menos 30 Mbps por canal utilizado, en las mejores condiciones.
- Frecuencia de operación y Geolocalización: los equipos deberán trabajar en la banda de frecuencias establecidas (470-698MHz) y deben integrar un sistema de geolocalización para adquirir sus coordenadas geográficas y comunicarlas a la base de datos.

3.2 Elementos del sistema

El siguiente gráfico presenta el esquema general del sistema de transmisión de datos utilizando tecnología TVWS, donde se pueden observar los distintos componentes que lo conforman.

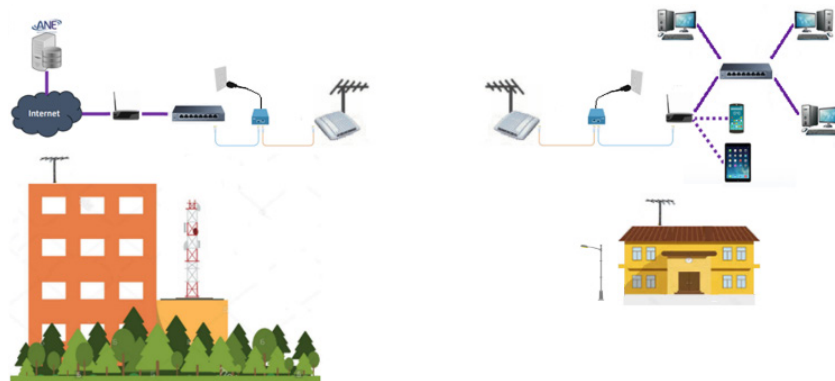


Figura 5. Esquema general sistema de transmisión de datos para el despliegue de la tecnología TVWS (Cáceres, 2021)

El sistema consta de una estación base (lado izquierdo de la Figura 5), esta debe contar con una torre de telecomunicaciones o un mástil instalado en la azotea de la edificación. La BS se compone de un Router con conexión a internet y por tanto acceso a la base de datos de espacios en blanco (WSDDB) desarrollada por la ANE, un Switch que entrega los datos a una fuente PoE (Power over Ethernet), la cual suministra energía y transmite los datos al radio transmisor o dispositivo maestro

(WSDM) y por último se tiene la antena TVWS (Panel o Log-periodic dependiendo si el sistema es PtMP o PtP). Por otra parte se tiene al CPE, el cual debe contar con un mástil o un poste cercano a la edificación (lado derecho de la Figura 5), este se compone de una antena TVWS (Log-Periodic o Yagi), el radio receptor o dispositivo esclavo (WSDS) que procesa y transmite la señal mediante el protocolo IEEE 802.11 incorporados en los puntos de acceso WiFi; este radio es alimentado por una fuente PoE, la cual entrega los datos a un Router para que este los distribuya, ya sea por WiFi, a diferentes dispositivos inalámbricos, como teléfonos móviles, tabletas y portátiles o mediante cable a un Switch para generar una red LAN.

En (Cáceres, 2021) se desarrolla una Matriz de evaluación de infraestructura tecnológica que proporciona información detallada de diferentes equipos, para tener una idea clara de cuales dispositivos se ajustan mejor a los requerimientos; allí se comparan sus características y, a través de un proceso de ponderación, se llega a una conclusión sobre cuál es la opción más óptima entre los equipos disponibles.

4. Evaluación e instalación de los dispositivos

Después de seleccionar y adquirir los equipos necesarios, se procede a su instalación y a realizar pruebas de funcionamiento para verificar su idoneidad en el sistema.

4.1 Evaluación del equipo

En esta sección se especifican las pruebas a realizar para evaluar el equipo adquirido y comprobar su correcto funcionamiento.

- Verificar los canales de televisión disponibles: Es importante verificar la disponibilidad del espectro en el sitio de instalación. Se puede solicitar el listado de canales disponibles a la ANE y utilizar un analizador de espectro para detectar posibles interferencias (Guerra, 2017). Es importante tener en cuenta que no hay garantía de disponibilidad constante de canales, ya que los servicios primarios tienen prioridad sobre el espectro.
- Configurar el equipo utilizando los canales disponibles: La estación base tiene una relación estrecha y una dependencia directa de la información que recibe de la base de datos (WSDB), ya que su función es notificar al CPE el canal específico que debe utilizar para su operación. En este proceso la BS se comunica con la base de datos a través de internet, proporcionando información de ubicación, datos del transmisor y parámetros de la antena tanto de la BS como del CPE. La WSDB utiliza esta información junto con sus propios datos para calcular la disponibilidad de espectro y proporcionar los canales y potencia máxima permitida. La BS envía una baliza al CPE para iniciar la transmisión una vez que se obtienen los canales disponibles. A partir de ahí, se establece el enlace y se inicia el intercambio de información.
- Verificar la conectividad y funcionamiento del equipo a diferentes distancias entre BS y CPE: La disponibilidad de canales de TVWS está relacionada con la ubicación de los dispositivos, por lo que cambios en la distancia entre ellos pueden afectar la disponibilidad de los canales. Si la WSDB informa que un canal asignado ya no está disponible, la BS debe suspender la transmisión en ese canal. Además, si el CPE deja de recibir transmisiones de la BS, debe suspender su transmisión

hasta recibir una baliza nuevamente. Para verificar el funcionamiento correcto de los equipos, se puede modificar la distancia entre ellos y observar si se cumplen estas condiciones.

- Verificar la tasa de transmisión entre BS y CPE: Utilizando un canal UHF de 6 MHz, en condiciones óptimas, se espera lograr un enlace descendente de 30 Mbps (Almantheri, 2018). Para proporcionar acceso a Internet a por ejemplo una escuela rural con 15 equipos de cómputo, donde cada uno requiere aproximadamente 10 Mbps de velocidad de navegación, se necesitarán cinco canales, para una velocidad total de 150 Mbps. Es importante verificar que la tasa de transmisión planificada para el radioenlace se esté alcanzando.

Es por esto que, al momento de verificar las posibles zonas a escoger, lo ideal es seleccionar un área donde se encuentren por lo menos cuatro canales disponibles en común. Además, es fundamental contactar a la Autoridad Reguladora para obtener la aprobación de los canales a utilizar. Las empresas fabricantes que han realizado pilotos previos enfatizan la importancia de este paso, ya que utilizar un canal de TV sin el consentimiento adecuado de la agencia reguladora puede resultar en la negación posterior del uso del espectro. Esto llevaría a la desinstalación de los equipos y la necesidad de buscar una nueva ubicación para implementar la tecnología.

4.2 Instalación del equipo

En este apartado se describe el procedimiento a realizar para efectuar la instalación de los equipos. Los pasos a ejecutar son:

- Comprobar la infraestructura de las edificaciones.
- Definir un diseño de red básico.
- Instalar el equipo CPE en el punto sin conexión a internet.
- Instalar el equipo de la BS en el sitio con acceso a internet.

Al implementar los equipos, se verifica la infraestructura de las edificaciones y la disponibilidad de soportes como torres, postes o mástiles. Se determinan los lugares para instalar los Routers y/o Switches para diseñar adecuadamente la red y organizar el cableado. Durante la instalación, la antena y el radio de la estación base se fijan en la estructura de soporte existente. En caso de no haber una disponible, se instala un mástil o torre de telecomunicaciones. Para el punto CPE, la antena y el radio se instalan en un mástil en la azotea o se utiliza un poste de alumbrado público cercano. La altura de las antenas no debe superar los 50 metros, según la normativa de la ANE.

Es importante considerar la atenuación en el cable coaxial, que varía entre 0.1 dB/m y 1 dB/m, se recomienda utilizar cables lo más cortos posible para conectar la antena y el radio. Debido a esto los radios se instalan junto a las antenas y se alimentan mediante fuentes PoE. Finalmente, se realizan las conexiones con el Router y de ser necesario con el Switch para configurar una red LAN, obteniendo así un sistema de transmisión de datos como se muestra en la Figura 5.

5. Conclusiones

Las áreas rurales, en especial sus escuelas públicas, carecen de acceso a un servicio de Internet de calidad, lo que limita el desarrollo de su población y genera una brecha entre el sector rural y urbano. Este problema se debe principalmente a que los proveedores de telecomunicaciones se centran en las áreas más densamente pobladas, lo que dificulta encontrar conexiones de última milla de alta calidad y asequibles en las zonas rurales. Por lo cual, surge la necesidad e importancia de metodologías para desplegar este tipo de tecnologías.

Mediante el uso de TVWS se abre la oportunidad de proporcionar soluciones para los diferentes servicios y necesidades presentes en la sociedad, como el aprendizaje en línea, atención médica, servicios bancarios, sistema de seguridad, gobernanza, hogares inteligentes y áreas de desarrollo económico como agricultura, innovación y mucho más.

Llevando a cabo esta metodología y teniendo en cuenta las recomendaciones y procedimientos descritos, será posible establecer un sistema de transmisión de datos con una excelente capacidad de transmisión, brindando así el servicio de Internet en áreas rurales. Cabe resaltar la importancia de que todas las poblaciones se unan a la era digital y se beneficien de una conexión a Internet estable, en especial desde el brote de COVID-19 que resaltó la necesidad de virtualizar los servicios que antes requerían presencia física en las oficinas de las diversas entidades.

6. Referencias

- Agencia Nacional del Espectro (ANE). (2019). Resolución 181 de 2019. Diario Oficial No. 50.941. Disponible en: https://normograma.mintic.gov.co/docs/resolucion_ane_0181_2019.htm
- Agencia Nacional del Espectro (ANE). (2020). Plataforma de espacios en blanco. Consulta de canales disponibles. Disponible en: <https://tvwhitespaces.ane.gov.co/app/>
- Almantheri H. M., et al. (2018). Tv white space (TVWS) trial in oman: Phase one (technical). Sixth International Conference on Digital Information, Networking, and Wireless Communications (DINWC), pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/DINWC.2018.8356986>
- Amine L. M., Adil E. B. and Aawatif P. H. (2017). Toward enhancing connectivity through TVWS in outdoor rural isolated environment. Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET), pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/SENSET.2017.8125069>
- Cáceres J. (2021). Análisis técnico para la implementación de un sistema de transmisión de datos mediante el despliegue de la tecnología TVWS en zonas rurales. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Carro G., Hernández P. and Beltramelli F. (2019). Consideraciones para el despliegue de redes basadas en radio cognitiva: Ocupación y regulación del espectro. Revista Politécnica, Montevideo, Uruguay. <https://doi.org/10.33333/rp.vol44n1.03>
- Daza C. (2017). Espacios en blanco en Colombia. International Telecommunication Union (ITU). Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/RRS-17-Americas/Documents/Forum/4_ANE%20Carolina%20Daza%20TVWS.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (ENTIC Hogares) 2021. Comunicado de prensa. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/entic/comunicado_entic_hogares_2021.pdf

- Foo Y.-L. (2017). Keep-out distance of the IEEE 802.11af system from digital TV broadcast contour. TENCON 2017 IEEE Region 10 Conference, pp. 1185-1188. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2017.8228037>
- Guerra R. (2019). Large-scale software defined radio systems: Design, implementation, and evaluation. Rice University, Houston, Texas.
- Ismail M., Kissaka M. and Mafole P. (2019). Television white space opportunities and challenges: What next for the developing countries?. IST-Africa Week Conference (IST-Africa), pp. 1-9. <https://doi.org/10.23919/ISTAFRICA.2019.8764834>
- Lamola M. M., Johnson D. L., Lysko A. A., Densmore M. and Maliwatu R. (2019). Performance analysis of dual 5 GHz Wifi and UHF TV White Space network links. IEEE 2nd Wireless Africa Conference, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/AFRICA.2019.8843406>
- Lysko A. A., Burger C. R. and Hagopian E. (2019). Comparison of the modelled maximum wireless link distance for TVWS and Wi-Fi within south african regulatory constraints: Which technology wins and in which scenarios? IEEE 2nd Wireless Africa Conference (WAC), pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/AFRICA.2019.8843428>
- Martinez Alonso R., et al. (2018). Tv white space and LTE network optimization toward energy efficiency in suburban and rural scenarios. IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 64, no. 1, pp. 164-171. <https://doi.org/10.1109/TBC.2017.2731043>
- NaiQian Z., et al. (2018). A spectrum allocation algorithm based on maximum system capacity in TVWS. 8th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), pp. 132-135. <https://doi.org/10.1109/ICEIEC.2018.8473555>
- Ndlovu K., Mbero Z. A., Kovarik C. L. and Patel A. (2017). Network performance analysis of the television white space (TVWS) connectivity for telemedicine: A case for Botswana. IEEE AFRICON, pp. 542-547. <https://doi.org/10.1109/AFRCON.2017.8095539>
- Popescu V., Fadda M., Murrioni M. and Giusto D. (2016). Coexistence issues for IEEE 802.22 WRAN and DVB-T2 networks. IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/BMSB.2016.7521899>
- Quispe M., et al. (2022). Technical and economic analysis of TVWS and 5.8 GHz Wifi systems for rural areas. IEEE XXIX International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/INTERCON55795.2022.9870159>
- Sun C. and Guo X. (2017). Reducing complexity of tvws operation: Complying with european regulations. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 12, no. 1, pp. 48-54. <https://doi.org/10.1109/MVT.2016.2612258>
- USAID. (2019). Diseño y despliegue de infraestructura TVWS para la mejora de servicios de conectividad y aplicaciones con internet de las cosas. Universidad Don Bosco, San Miguel, El Salvador.

Sobre los autores

- **Jherson Cáceres Chanagá:** Ingeniero Electrónico, estudiante de Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones. jherson.caceres@correo.uis.edu.co
- **Efrén Acevedo Cárdenas:** Ingeniero Electrónico, Máster en Ingeniería Electrónica. Profesor titular. edacecar@correo.uis.edu.co
- **Julián Rodríguez Ferreira:** Ingeniero Electrónico, Máster en Astronomía y Astrofísica, y en Ingeniería Espacial, Doctor en Física. Profesor titular. jgrodrif@uis.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2023 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)