

ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA EN LA AGRUPACIÓN DE CANALES
EN HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN PARA LA BANDA DE FRECUENCIA DE
470 MHZ A 698 MHZ EN EL CASO COLOMBIANO.

WILLIAM RICARDO QUITIÁN TOCANCHÓN

Director:

ING. MÓNICA ESPINOSA BUITRAGO PhD

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES Y REGULACION TIC
BOGOTÁ, 2023

A mi mama, a mi hermana y a mi esposa por su paciencia y por estar a mi lado en esta etapa de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la universidad Santo Tomas por darme la oportunidad de reingresar y poder culminar esta etapa de mi vida profesional y a mi directora Ingeniera Mónica Espinosa, por su conocimiento y ser guía en la construcción de este documento.

TABLA CONTENIDO

1	MARCO GENERAL DEL PROYECTO	7
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2	JUSTIFICACIÓN	9
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	GENERAL	11
1.3.2	ESPECÍFICOS	11
1.4	ALCANCE	12
2	MARCO REGULATORIO DE HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL	13
2.1	REGULACIÓN HUECOS ESPECTRALES A NIVEL NACIONAL.....	13
2.1.1	CONDICIONES TÉCNICAS Y OPERATIVAS PARA LOS TERMINALES DE HUECOS ESPECTRALES.....	16
2.1.2	BANDA ANCHA EN COLOMBIA	20
2.2	REGULACION HUECOS ESPECTRALES A NIVEL INTERNACIONAL	20
2.2.1	ESTADOS UNIDOS.....	20
2.2.2	REINO UNIDO.....	21
2.2.3	CANADÁ	22
3	HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN	25
3.1	ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	25
3.2	ESTANDAR IEEE 802.11AF.....	25
3.3	PROTOCOLO PAWS	26
3.3.1	SECUENCIA DE OPERACIÓN DE PAWS	27

3.4	ESTANDAR IEEE 802.22	28
3.5	AGRUPACIÓN DE CANALES (CB)	29
4	FABRICANTES Y EQUIPOS TECNOLOGICOS PARA HUECOS ESPECTRALES. 31	
4.1	ADAPTRUM	31
4.1.1	ACRS2-B1000	31
4.1.2	ACRS2-B2000	32
4.1.3	ACRS2.0	33
4.2	REDLINE COMMUNICATIONS	34
4.2.1	RDL-3000 XP EDGE	34
4.2.2	RDL-3000 XP ELLIPSE	35
4.2.3	RDL-3000 XP ELTE MT	36
4.3	RADWIN	36
4.3.1	OUTLAND BASE STATION	36
4.3.2	OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	37
4.4	WDOSIS	37
4.5	RESUMEN DE LAS PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS PARA TVWS	39
5	ANALISIS DE FACTIBILIDADES TECNOLÓGICA CON MATRIZ DE RIESGOS	46
5.1	DISPONIBILIDAD DE CANALES EN HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN PARA COLOMBIA.	47
5.2	PROCESOS DE GESTIÓN DEL RIESGO PMBOK® (PMP®)	54
5.3	EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA PARA LA AGRUPACIÓN DE CANALES (CANNEL BONDING) DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DETERMINÍSTICO DE CANALES DISPONIBLES PARA EL TERRITORIO COLOMBIANO	54
6	CONCLUSIONES	66
7	REFERENCIAS	67

7.1	FIGURAS	76
7.2	TABLAS.....	77
7.3	ANEXOS	78

RESUMEN

Colombia tiene como propósito usar huecos en televisión Espectrales (TVWS por sus siglas en inglés) para conectar áreas rurales aisladas, para ello genera un marco legal con todas las condiciones técnicas y operativas en las bandas 470 MHz y 698 MHz en un ancho de banda de 6 MHz, donde se debe garantizar la Banda Ancha de 25 Mbps según resolución 5161 de 2017.

La administración de huecos espectrales en televisión en otros países tales como Estados Unidos, Reino Unido y Canadá son diferentes uno del otros según su regulación. En algunos casos la administración de la base de datos es por un tercero o por entidades oficiales de la nación.

El estándar 802.11af suministra un marco internacional que se acomoda a diferentes marcos regulatorios de Huecos espectrales para los canales que se encuentran establecidas en las bandas 54 MHz Y 790 MHz y el 808.22 que es un estándar de área regional inalámbrica de radio cognitiva, que su banda de operación puede estar en 6, 7 u 8 según la regulación de cada país.

Para Colombia se han considerado 3 fabricantes para la operación de huecos espectrales que cumplan con los requisitos técnicos y operativos del marco regulatorio en los cuales están ADAPTRUM, REDLINE COMMUNICATIONS y RADWIN.

Palabras clave: Agrupación de canales, Protocolo PAWS, IEEE 802.11af, IEEE 802.22

ABSTRACT

Colombia has the purpose of using TV White Spaces (TVWS) to connect isolated rural areas. To do this, a legal framework was set up with all the technical and operative conditions in 470 MHz and 698 MHz bands, under a broadband of 6 MHz, where a 25 Mbps broadband should be guaranteed according to the Resolution 5161 of 2017.

In countries such as United States, United Kingdom, and Canada, the TVWS administration varies regarding its own regulation. In some cases, the database administration is operated by a third party or government entities.

The 802.11af standard provides an international framework that fits into different TVWS regulations for those channels established under 54 MHz and 790 MHz bands, in addition to the 808.22, being a cognitive wireless regional radio standard that operates between a 6, 7, or 8 band, according to the country's regulations.

Three manufacturers (ADAPTRUM, REDLINE, and REDWIN) have been considered for Colombia that meet the requirements to operate the TVWS, assuring the technical and operational regulations.

Key words: Channel Bonding; PAWS protocol, IEEE 802.11af; IEEE 802.22

INTRODUCCIÓN

En el apogeo en el acceso a la información, producto de las tecnologías de la información y comunicación en la sociedad mundial, ofrece una variedad de adaptaciones que se centran en la flexibilidad, siendo el internet el que ocupa el primer puesto, y quienes lo utilizan tienen las posibilidades de ampliar sus habilidades y capacidades [1]. Donde la demanda del servicio de banda ancha inalámbrica ha aumentado constantemente y según las redes visuales de CISCO, el tráfico mundial de datos móviles tuvo un crecimiento de un 63% en el 2016, y se prevé que siga en aumento durante varios años, casi duplicándose anualmente en los próximos años. Por lo tanto, el espectro se está agotando [2].

Teniendo en cuenta que el acceso de internet es más desafiante en áreas rurales con baja teledensidad [3]. Surge el uso de huecos espectrales en televisión, donde esta tecnología pueden operar en frecuencia muy alta (VHF, por sus siglas en inglés) y frecuencia ultra altas (UHF, por sus siglas en inglés) tienen el potencial de cerrar las brechas digitales y proporcionar servicios asequibles y confiables de manera efectiva [4]. Por lo tanto, muchas regiones del mundo están estableciendo regulaciones para el uso de huecos espectrales [5].

Colombia como en EE. UU, Reino Unido y Canadá, cuenta con una regulación para la utilización de huecos espectrales en televisión en las bandas de frecuencia de 54 MHz a 790 MHz y aprovechando su uso sin interferir con los servicios primarios [6].

1 MARCO GENERAL DEL PROYECTO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El uso de las tecnologías de información son un derecho de todo ciudadano, que involucra a todos los sectores públicos y privados para el fomento educativo, cultural, social y político, aumentando la productividad, competitividad, el respeto de los derechos humanos inherentes e inclusión social. El estado debe garantizar el acceso eficiente a las tecnologías de la información y comunicación [7].

Es por esta razón que el MINTIC entrega boletines trimestrales para divulgar los datos más notables de sector de las TIC, en el último boletín que corresponde al segundo trimestre del 2019 informa que de los 1122 municipios en total solo 1114 tiene acceso fijo a internet, con un total de 6.881.338 suscriptores y una penetración del 13.7% con respecto a la población de 50.375.194 habitantes según el DANE [8].

Por lo anterior y resaltando que el país se encuentra en una revolución tecnológica de las comunicaciones inalámbricas, donde su principal ventaja es la movilidad, no depender de un cable para estar conectado ni de un punto fijo en su ubicación y así que el medio de transmisión contribuya a su expansión [9]. El surgimiento de estas tecnologías y servicios permita que los usuarios exijan una alta demanda, provocando que el uso del espectro radioeléctrico sea cuestionado en aspectos como capacidad para adaptarse en la creciente demanda, en las innovaciones tecnológicas, nuevos servicios y la eficiencia en su asignación, considerando que este recurso es un bien limitado y escaso [10].

Por el grado de saturación que se está presentando en el espectro radioeléctrico se están trabajando nuevas tecnologías que permiten su reutilización, los cuales se resalta tecnologías denominadas huecos espectrales (TVWS por sus siglas en inglés) que utilizan frecuencias de televisión libres, alternativa para llevar internet de banda ancha a zonas apartadas [11].

La Agencia Nacional de Espectro (ANE) ha sido pionera a nivel latinoamericano en el desarrollo de la regulación de TVWS. La ANE y la Facultad de ingeniería de

telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás han desarrollado en conjunto un proyecto denominado “Base de datos de espacios en blanco en Colombia” en el año 2018. La base de datos se puso en funcionamiento en 2019, sin embargo, para realizar una apropiación de la tecnología TVWS se requieren estudios que permitan evidenciar el ancho de banda promedio y la adyacencia o no adyacencia de canales disponibles en los municipios colombianos. Por lo anterior surge la siguiente pregunta problema ¿Cómo se desarrolla un estudio de factibilidad tecnológica de la agrupación de canales adyacentes y no adyacentes en TVWS para los municipios colombianos?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El Plan vive digital es una hoja de ruta del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) que inició en el año 2010 [12] teniendo como objetivo la masificación del internet; el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y el desarrollo del ecosistema digital nacional. Para el periodo de 2014-2018, el plan vive digital ha tenido como objetivo el uso estratégico de las TIC para reducir la pobreza, generar empleo, y desarrollar soluciones para los problemas de los colombianos.

TVWS son frecuencias de televisión que no están siendo usados para este fin y son ideales para llevar internet de banda ancha como otros servicios y aplicaciones, por su aplicación principal de frecuencias para TV estas pueden viajar a distancias largas e irrumpir mejor las paredes y otros obstáculos requiriendo un menor número de dispositivos para cubrir un área [13], siendo la mejor alternativa para llevar internet a zonas rurales teniendo en cuenta las características geográficas con las que cuenta Colombia.

De acuerdo con esto se han tenido grandes retos en el desarrollo de infraestructuras y servicios, pues deben aplicarse soluciones novedosas de conectividad como es TVWS para redes de banda ancha. TVWS se pueden definir por muy alta frecuencia (VHF, por sus siglas en inglés) o ultra alta frecuencia (UHF, por sus siglas en inglés) ya que sus características de propagación permitirían conectar a zonas rurales donde la fibra óptica no puede llegar y proporcionan una solución rentable en comparación con la fibra [14]. De esta manera es posible conectar zonas de difícil acceso.

Así entonces, se toma como base la agrupación de canales (Channel Bonding), es una técnica que permite agrupar canales en conexiones inalámbricas con un uso del espectro eficiente, donde se logran grandes capacidades de banda ancha [15]. Banda ancha en Colombia lo definen en la resolución 5161 de 2017 ARTÍCULO 1, Modificar a partir del 1° de enero de 2019, la definición de "Banda Ancha" contenida en el Título I de la Resolución CRC 5050 de 2016, la cual quedará de la siguiente manera: "BANDA ANCHA: Es la capacidad de transmisión cuyo ancho de banda es suficiente para permitir, de manera combinada el abastecimiento de voz, datos y video ya sea de manera alámbrica o inalámbrica." Donde deben garantizar una velocidad de bajada de 25 Mbps y de subida 5 Mbps [16].

Aplicando dicha técnica de agrupación de canales en los huecos espectrales de televisión es posible garantizar los requisitos mínimos de banda ancha definido como un conjunto de tecnologías de red avanzadas o el motor de una radical y gran transformación que revitaliza la entrega servicios existentes, convergentes, simultaneidad y conjuntamente voz, datos y video, conexiones permanentes donde el servicio se actualizaría en tiempo real, alta capacidad con conexiones de baja latencia y alta capacidad de transportar gran cantidad de bits [17].

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Evaluar la factibilidad tecnológica para agrupación de canales (channel bonding) en la banda de frecuencia de 470 MHz a 698 MHz de acuerdo con el marco regulatorio colombiano sobre huecos espectrales en televisión y el análisis determinístico de canales de televisión disponibles.

1.3.2 Específicos

- Verificar el marco regulatorio de huecos espectrales en televisión a nivel nacional e internacional de acuerdo con bandas de frecuencias, anchos de banda y requerimientos para evitar interferencias con los usuarios primarios de televisión.
- Realizar un estudio determinístico de la lista de canales disponibles en el territorio colombiano de acuerdo con los datos suministrados por la base de datos de huecos espectrales en televisión administrada por la Agencia Nacional de Espectro.
- Evaluar la factibilidad tecnológica para la agrupación de canales (channel bonding) de acuerdo con el estudio determinístico de canales disponibles para el territorio colombiano.
- Generar un análisis de la factibilidad tecnológica de acuerdo con la regulación y con el estudio determinístico de canales disponibles para el territorio colombiano.

1.4 ALCANCE

El alcance del proyecto se enfoca a nivel de la factibilidad tecnológica de la agrupación de canales adyacentes y no adyacentes en TVWS en los municipios colombianos. La factibilidad tecnológica se realizará de acuerdo con el análisis de disponibilidad de canales en los 4.570.992.000 municipios que conforman el territorio colombiano. Los datos de disponibilidad de canales se procesarán y visualizarán de acuerdo con el número de canales que permite establecer el ancho de banda promedio en los municipios colombianos. Finalmente, se realizará una estadística por los municipios colombianos de disponibilidad de acuerdo con ancho de banda y adyacencia o no adyacencia de los canales disponibles.

2 MARCO REGULATORIO DE HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Debido al surgimiento de tecnologías inalámbricas, la escasez del espectro electromagnético, el acceso oportunista de banda asignadas ha adquirido importancia en los últimos años. Por lo anterior surgen, los huecos espectrales disponibles para su utilización en zonas y en tiempos explícitos donde usuarios sin licencia podrían transmitir sin que causen interferencia a los usuarios primarios. Los países que lideran las regulaciones para el uso de espacios en blanco son EE. UU y Reino Unido donde han realizado pilotos del uso de base de datos de geolocalización [18].

2.1 REGULACIÓN HUECOS ESPECTRALES A NIVEL NACIONAL

En la regulación en Colombia un terminal de huecos espectrales en televisión debe desistir de funcionar si este está realizando interferencias en la transmisión de TV. De esta manera, la televisión actual y futura, la radio fusión y nuevas asignaciones de frecuencia son de uso primario sobre cualquier terminal de huecos espectrales. También establece potencias máximas de operación y las emisiones no deseadas en haciendo que el sistema sea concurrente con los terminales fabricados fuera del país. Se selecciona una ganancia máxima para permitir los diferentes tipos de antenas UHF, como son la antena panel, Yagi y logo periódicas.

El propósito de Colombia de usar huecos espectrales en televisión es conectar a áreas rurales aisladas, con terminales que permitan conexiones de larga distancia el terminal esclavo se podría ubicar a una distancia hasta de 20 Km del terminal maestro. La disponibilidad de un canal tanto para el maestro y el esclavo podrían ser diferentes, por lo tanto, la geolocalización automática es requerido para los dos terminales.

Los canales solicitados a la base de datos y que se encuentra disponibles se deben informar, debido a que esta información será útil para resolver y detecta problemas de interferencia.

En la Tabla 1 están enunciados los canales de radiofrecuencia (RF) con un ancho de banda de 6 MHz que se pueden utilizar para huecos espectrales en televisión La utilización o disponibilidad de estos canales está sujeta a la asignación del servicio de TV [19].

# Canal	Frecuencia Mínima(MHz)	Frecuencia Central (MHz)	Frecuencia Máxima (MHz)
14	470	473	476
15	476	479	482
16	482	485	488
17	488	491	494
18	494	497	500
19	500	503	506
20	506	509	512
21	512	515	518
22	518	521	524
23	524	527	530
24	530	533	536
25	536	539	542
26	542	545	548
27	548	551	554
28	554	557	560
29	560	563	566
30	566	569	572
31	572	575	578
32	578	581	584
33	584	587	590
34	590	593	596
35	596	599	602
36	602	605	608
38	614	617	620
39	620	623	626
40	626	629	632
41	632	635	638
42	638	641	644
43	644	647	650
44	650	653	656
45	656	659	662
46	662	665	668
47	668	671	674
48	674	677	680

# Canal	Frecuencia Mínima(MHz)	Frecuencia Central (MHz)	Frecuencia Máxima (MHz)
49	680	683	686
50	686	689	692
51	692	695	698

Tabla 1 Canales disponibles para TVWS

Requisitos para la operación de huecos espectrales en tv (TVWS por sus siglas en inglés) En la resolución 105 de 2020 de la cual simplifica los marcos normativos que relacionan la planeación y atribución del espectro radioeléctrico, se encuentran los requisitos para la operación de los terminales de TVWS de los cuales se comprenden:

1. Espacios en blanco: Las frecuencias comprendidas en la banda de 470 MHz y 698 MHz que no estén asignadas en un área determinada y pueden usar para TVWS, sin que este cause interferencias a los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.
2. Terminales TVWS: Deben tener incorporado la geolocalización, para el uso de huecos espectrales deben interactuar con la base de datos de huecos espectrales. Los terminales se clasifican en Maestros y esclavos.
3. Maestros: Estos terminales deben tener conexión a internet y es la que se encarga de realizar las peticiones directamente a la base de datos de los huecos espectrales para hacer uso de los canales disponibles y replicárselos a los esclavos.
4. Esclavos: son los encargados de realizar la petición a la base datos a través del maestro, cada esclavo debe estar asociado a un maestro.
5. Base de datos de huecos espectrales: Es un software administrado por la ANE que calcula la disponibilidad de canales respondiendo a la petición de los terminales TVWS con los canales disponibles que el terminal puede usar. Para entregar esta lista de canales la base de datos tiene en cuenta la localización geográfica, las retribuciones existentes en la banda de 470 MHz a 698 MHz y las condiciones de coexistencia, garantizando que los servicio primarios y secundarios no tengan interferencias.
6. Solicitud de los canales utilizables: Solicitudes realizadas por los terminales maestros a la base de datos para adquirir una lista de los canales utilizables, automatiza la ubicación geográfica detallada de acuerdo con las retribuciones

existentes de los servicios primarios y secundarios, y las condiciones de compatibilidad.

7. Lista de canales disponibles: En respuesta de una solicitud por parte de un terminal maestro de canales disponibles, se le envía una lista de canales calculada por la base de datos de huecos espectrales. Para adquirir esta lista, la base de datos de huecos espectrales debe tener en cuenta la localización geográfica del terminal, las asignaciones existentes de la banda 470 MHz a 698 MHz.
8. Condiciones de coexistencia: son las condiciones técnicas que se encuentran en la banda 470 MHz a 698 MHz, de las cuales se encuentran los límites de protección, las potencias máximas, las alturas máximas, los canales prohibidos por zonas o a nivel nacional entre otras que se encuentran consignadas en las bases de datos de los huecos espectrales, de la cuales se utilizan para garantizar que no existan interferencias. Las condiciones están sujetas a cambios por la ANE sin previo aviso.

2.1.1 Condiciones técnicas y operativas para los terminales de huecos espectrales.

La ley también establece los requerimientos técnicos y operativos que deben cumplirse en cada terminal de huecos espectrales.

1. Frecuencia: Solo puede operar en la banda libre de 470 MHz a 698 MHz.
2. Modos de operación: Los terminales solo deben estar en estaciones fijas con características punto a punto o punto a multipunto, queda prohibido estaciones móviles.
3. Densidad espectral máxima de potencia: la potencia máxima permitidas de los terminales en sus antenas no podrá superar los 12,6 dBm medidos en cualquier segmento de 100kHz.
4. Ganancia máxima de la antena: La ganancia máxima de la antena conectada al terminal no debe superar los 14 dB referidos a un dipolo de media onda (dBd).
5. Límite de emisiones no deseadas: Las emisiones no deseadas no deben superar los -42.8 dBm de potencia medidos en cualquier segmento de 100kHz.
6. Control automático de potencia: Los terminales deben tener las condiciones técnicas para establecer las potencias mínimas automáticas para establecer las conexiones de comunicación.

7. Altura máxima de antena: La altura máxima de la antena no debe superar los 50 mts por encima del nivel del terreno.
8. Altura máxima por encima del promedio de del terreno: Solo podrán operar los terminales donde los puntos geográficos cuya altura por encima del promedio del terreno sea menor a 800 mts.
9. Petición periódica de la lista de canales disponibles: Los terminales maestros deben tener periódicamente la lista de canales libres para hacer uso del espectro.
10. Restricciones de operación: Se prohíbe la operación de terminal de huecos espectrales en ciertas zonas del país definidas por la ANE, con el fin de evitar interferencias a retribuciones existentes, como también se prohíbe el uso de determinados canales a nivel nacional para evitar interferencias de servicios de telecomunicaciones que operen en bandas contiguos. La determinación de zonas y canales por parte de la ANE están sujetas a cambios sin previo aviso.
11. Disponibilidad del espectro: No se garantiza la disponibilidad de un canal libre después de instalado el terminal de huecos espectrales. La disponibilidad de canales está sujeta a cambios sin previo aviso.
12. Solución de interferencias: En caso de que se sospeche de una interferencia por parte de un terminal de huecos espectrales y este generando afectaciones en los servicio primario o secundarios, la ANE podrá realizar los controles técnicos pertinentes. De establecer que dicho terminal es la causante de la interferencia la ANE ordenara el cese de transmisión, será el responsable del terminal que entregue las medidas correctivas para evitar las interferencias que deberán ser aprobadas por la ANE.

Si al no presentarse las medidas correctivas para finalizar las interferencias o no cumple con las medidas, se le impondrá las sanciones previstas en la ley 1341 de 2009.
13. Procedimiento para la solitud de canales disponibles: Las frecuencias en los terminales podrán ser configuradas manualmente, pero en el momento en que entre en operación y puesta en servicio por la ANE la base de datos de los huecos espectrales será entregada automáticamente de dichas bases.

Para la solitud automática a través de la base de datos y a ver cumplido con los anteriores requerimientos ya descritos también deben cumplir con las siguientes condiciones.

- Uso del espectro: Los terminales solo pueden conectarse a la base de datos que se le sea asignada por la ANE. La dirección de la base de datos en internet será publicada en el sitio web de la ANE.
- Capacidad de geolocalización: solo se permite terminales que tengan capacidad de geolocalización con un margen de error inferior de ± 50 metros.
- Uso de canales múltiples: el terminal podrá utilizar más de un canal suministrado por la base de datos.
- Inicio de la comunicación de los terminales esclavos: Deberán utilizar el mismo canal de transmisión del terminal maestro inicial para realizar las peticiones de canales disponibles a la base de datos. Posteriormente después de obtener el listado de canales libres, el terminal esclavo debe empezar a transmitir en un canal que este en el listado para continuar operando.
- Inicio y continuación de operación: un terminal maestro no podrá iniciar o continuar operación en dado caso que la base de datos entregada este vacía, entregue una señal de error, entregue una señal de terminación de operación o realice una petición a la base de datos y no se obtenga respuesta. Y un terminal esclavo no podrá iniciar o continuar operación si no tiene comunicación con el terminal maestro o si la lista del terminal maestro y esclavo no tienen nada en común.
- Peticiones periódicas de canales disponibles: Los terminales por lo menos deberán realizar peticiones una vez cada 24 horas. Los terminales solamente podrán utilizar los canales incluidos en el listado más reciente.
- Seguridad de la comunicación con la base de datos: la comunicación debe ser segura para que ningún tercero pueda modificar la comunicación.
- Datos de contacto del encargado del terminal: Con el fin de solventar las interferencias, es necesario que todas las peticiones que se realicen a la base de datos, es necesario que se solicite los siguientes datos al encargado del terminal:
 - Número del serial del terminal.
 - Coordenadas por el sistema geodésico WGS 84 (por sus siglas en ingles).
 - Nombre de la persona u organización responsable del terminal.
 - Cedula de ciudadanía de la persona o NIT de la organización responsable del terminal.
 - Dirección física de la persona u organización responsable del terminal.
 - Correo electrónico de la persona u organización responsable del terminal.

- Número telefónico de la persona u organización responsable del terminal.

De acuerdo con la información registrada y enviada en cada petición de canales disponibles la ANE la considera como los responsables en el momento de presentarse interferencias.

- Ratificación de uso de canales: Lo terminales maestros deberán informar a la base de datos los canales en la que están operando y también de los canales de los que están operando los terminales esclavos.

14. Procedimiento manual para solicitud de canales disponibles: Todas las solicitudes que se realicen temporalmente se deben hacer a través de correo electrónico, bajo los siguientes requisitos:

- Solicitud de disponibilidad de canales: La persona u organización propietario del terminal de huecos espectrales debe enviar un correo a twws@ane.gov.co solicitando la disponibilidad de canales con los siguientes datos:
 - Nombre de la persona u organización propietarios del terminal.
 - Tipo y número de documento de la persona u organización propietario del terminal.
 - Dirección física, correo electrónico y teléfono fijo o móvil.
 - Para terminal se debe indicar: Modelo y marca del fabricante, Coordenadas por el sistema geodésico WGS 84, municipio y departamento donde será ubicado.
 - Cantidad de canales a solicitar.

La ANE tiene 10 días hábiles para entregar una respuesta al correo electrónico registrado informando si la solicitud fue aprobada. Si dicho correo no es enviado entre los días hábiles se entenderá que la solicitud fue rechazada.

- Requerimientos de aclaración de la solicitud: en caso de que la información no se clara y/o falte información la ANE enviara un correo informando que la solicitud es invalida, donde el solicitante deberá corregirla y enviarla entre los 3 días hábiles siguientes, al no enviar el correo se entenderá que se desiste de la solicitud. Al recibir el correo nuevamente será validada.
- Disponibilidad de canales: en dado caso que la solicitud sea válida, la ANE envia un correo informando los canales para los terminales y su tiempo de validez.

- Validez de los canales: Los canales tienen un tiempo de validez donde los terminales podrán hacer su uso, al terminar este tiempo se deberá realizar nuevamente la solicitud ante la ANE antes de que este tiempo termine.

Si se presentan cambios en las asignaciones de servicio primarios o secundarios, la ANE informará con antelación, para que en los terminales se hagan los respectivos cambios o se realice el apagado para no afectar los servicios.

Asimismo, si es necesario realizar cambios en los terminales por los responsables, se deberá realizar nuevamente la solicitud ante la ANE para realizar los cambios [20] [21] [22].

2.1.2 Banda ancha en Colombia

Banda ancha está definido en la resolución 5161 de 2017 ARTÍCULO 1, Modificar a partir del 1° de enero de 2019, la definición de "Banda Ancha" contenida en el Título I de la Resolución CRC 5050 de 2016, la cual quedará de la siguiente manera: "BANDA ANCHA: Es la capacidad de transmisión cuyo ancho de banda es suficiente para permitir, de manera combinada el abastecimiento de voz, datos y video ya sea de manera alámbrica o inalámbrica." Donde deben garantizar una velocidad de bajada de 25 Mbps y de subida 5 Mbps.

2.2 REGULACION HUECOS ESPECTRALES A NIVEL INTERNACIONAL

La administración y ejecución de TVWS es determinada por el país por lo cual es diferente a otro. En algunos países la administración de la base de datos es administrada por un tercero o por entidades oficiales de la nación [23]. De la cual estos son algunos de estos países que tienen regulación de TVWS.

2.2.1 Estados Unidos

En Estados Unidos el ente regulador de las telecomunicaciones es la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC por sus siglas en inglés), La regulación de TVWS tiene como objetivo evitar cualquier interferencia entre los terminales de TVWS y la TV por ellos debe cumplir ciertas condiciones técnicas para hacer uso del espectro libre [24]. La FCC ha discutido esta regulación y ha emitido varios documentos para determinar la operación de los terminales de TVWS, de las cuales se encuentra 01-186, FCC 04-113, FCC 08-260, DA 09-2479,

10174, DA 11-131, DA 11-1291, FCC 10-174 FCC 14-144 y FCC 19-24. Estas normas quedaron listas en el 2010 con el bajo el documento FCC10-174.

Los terminales de TVWS pueden operar si:

1. Potencia máxima de transmisión: Los terminales fijos pueden transmitir si no superan los 4W de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (EIRP por sus siglas en inglés y la antena debe tener una ganancia de 6dBi como máximo, los terminales transmitir hasta 20 dBm equivalentes de EIR, para no afectar el buen funcionamiento de servicio licenciado, la potencia de transmisión está limitada a 16 dBm [25].
2. Los terminales pueden operar en las bandas de frecuencia de VHF y UHF del espectro radioeléctrico correspondiente a (54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz y 470-698 MHz) en los canales del 2 al 51 siempre y cuando se encuentren en la base de datos.
3. Un canal completo tiene un ancho de banda de 6 MHz, los terminales no deben superar el ancho de banda en su transmisión.
4. La antena no debe superar los 30 metros sobre el nivel del suelo y no puede ubicarse en un sitio donde la altura sobre el terreno promedio de la antena transmisora (HAAT por sus siglas en inglés) está mayor de 75 metros (246 pies) [26].

2.2.2 Reino Unido

En el Reino Unido el ente regulador es la oficina de comunicaciones (OFCOM por sus siglas en inglés) articula normas para los terminales de huecos espectrales pueden operar solo en las bandas de UHF (470 – 790 MHz), de la cual esta dividido en 40 canales de un ancho de banda de 8 MHz desde el canal 21 al 60 bajo las normas adoptadas en el Estándar Europeo Armonizado ETSI 301 598 [27]. De los cuales existen requisitos generales para terminales de huecos espectrales.

1. Los terminales maestro y esclavo: No deben estar en el aire y con una configuración tal que ningún usuario pueda reconfigurar o alterar las características del terminal.
2. Terminales maestros: El terminal debe tener ubicación geográfica y solo transmitirá en la banda de frecuencias de 470 MHz a 790 MHz, esta solitaria y recibirá los

parámetros de operación de la base de datos con las frecuencias y la potencia específicas para la operación en el canal.

Si el terminal maestro esta operado en más de un canal simultáneamente este debe aplicar una restricción de potencia simultánea. El terminal debe enviar la siguiente información a la base de datos:

- Información específica de que es el terminal maestro.
- El identificador único del terminal maestro.
- Información si es un tipo A (maestro) o Un tipo B(esclavo).
- Coordenadas de latitud y longitud de la ubicación de la antena y la geolocalización de la antena.

Después de recibir la información de operatividad de la base de datos el terminal debe comunicar sus parámetros de uso del canal a esa base de datos, también debe comunicarse cada periodo de actualización para informar que esos parámetros aún están válidos.

Si los parámetros ya no son válidos el terminal maestro debe enviar una instrucción a los terminales esclavos asociado para dejar de transmitir sobre los parámetros ya no válidos.

3. Terminales esclavos: Los terminales solo deben transmitir en la banda de frecuencias de 470 MHz a 790 MHz, después de recibir los parámetros de operación a través del terminal maestro. Si un terminal esclavo transmite simultáneamente en más de un canal de TDT este también aplicara una potencia de aplicación simultánea.
4. Organizaciones bases de datos operativas: Solo cuatro organizaciones están autorizadas para operar la base de datos que pueden obtener los terminales de huecos espectrales (esclavos y maestros) son Fairspectrum Oy, Nominet UK, Sony Europe Limited y Spectrum Bridge Incorporated [28].

2.2.3 Canadá

En Canadá a partir del 2015 permite el uso de estos espectros y su primera aplicación es proveer conectividad de banda ancha a zonas rurales remotas para ello establece unos requisitos técnicos y operativos [29]. En la última actualización del 2020 en los documentos

DBS-01 y RSS-222 están las especificaciones técnicas para la operación de terminales de huecos espectrales de la cuales sus principales son:

1. Frecuencias y canales de operación: El gobierno de Canadá resume las frecuencias y canales de operación como se observa en la Tabla 2 Resumen de las frecuencias donde pueden operar los terminales de huecos espectrales, donde no incluyen el canal 37 entre las frecuencias 608-614 MHz debido a que se está protegiendo la operación de radioastronomía y la telemetría médica inalámbrica.

Bandas de frecuencia (MHz)	Nombre del Canal	Servicios actuales	Terminales de huecos espectrales personal /portátil	Terminales de huecos espectrales fijo
54-60	Canal de televisión 2	Transmisión de TV, dispositivos de baja potencia	No permitido	Permitido
60-72	Canales de TV 3-4	Transmisión de TV, dispositivos de baja potencia	No permitido	Permitido
76-88	Canales de TV 5-6	Transmisión de TV, dispositivos de baja potencia	No permitido	Permitido
174-216	Canales de TV 7-13	Transmisión de TV, dispositivos de baja potencia	No permitido	Permitido
470-512	Canales de televisión 14-20	Transmisión de TV, dispositivos de baja potencia	Permitido	Permitido
512-608	Canales de televisión 21-36	Difusión de TV, dispositivos de baja potencia, Sistemas remotos de banda ancha rural	Permitido	Permitido
608-614	Canal de televisión 37 *	Telemetría médica y radioastronomía	No permitido	No permitido
614-617	Banda de protección de 600 MHz	dispositivos de baja potencia	No permitido	No permitido
617-652	Enlace descendente móvil de 600 MHz	Servicios móviles	No permitido	No permitido

Bandas de frecuencia (MHz)	Nombre del Canal	Servicios actuales	Terminales de huecos espectrales personal /portátil	Terminales de huecos espectrales fijo
652-657	Distancia dúplex de 600 MHz	Dispositivos de baja potencia	No permitido	No permitido
657-663	Distancia dúplex de 600 MHz	Dispositivos de baja potencia	Permitido	No permitido
663-698	Enlace ascendente móvil de 600 MHz	Servicios móviles	No permitido	No permitido

Tabla 2 Resumen de las frecuencias donde pueden operar los terminales de huecos espectrales

2. Límites de potencia de los terminales de huecos espectrales: Los terminales fijos de huecos espectrales no pueden superar el PIRE de 10 W (40 dBm). Para las zonas más congestionadas, los terminales fijos no pueden superar el PIRE de 4 W (36 dBm). La base de datos de huecos espectrales no proporcionara el listado de canales para los terminales portátiles o personales que superen el PIRE de 100mW (20 dBm) [30].
3. Canal disponible: un canal de típicamente tiene un ancho de banda de 6 MHz.
4. Control de potencia de transmisión: Los terminales de huecos espectrales deben tener incorporado el control de potencias así poder limitar las potencias de transmisión.
5. Geolocalización interna: Los terminales deben incluir la geolocalización interna para determinar sus coordenadas, en dado caso que su geolocalización interna no funcione puede conectarse a una fuente externa conectada por cable o inalámbrica, pero esta debe tener una conexión confiable y segura [31].

3 HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN

Para la operación de huecos espectrales en televisión es necesario validar los siguientes elementos y estándares a continuación enumerados.

3.1 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico (ER) hace parte del espectro electromagnético, ocupando bandas de frecuencia que corresponden a los servicios de telecomunicaciones, el ER es un recurso escaso y se puede compartir entre operadores brindando paso a servicios tradicionales de televisión, radio, celular e internet y también servicios de seguridad y defensa del país, según la Unión Internacional de telecomunicaciones (UIT) las frecuencias van desde 3 KHz hasta los 3000 GHz [32].

El artículo 75 de la constitución política de Colombia dice que el espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado.

Se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley para garantizar el pluralismo informativo y la competencia, el Estado intervendrá por mandato de la ley para evitar las prácticas monopolísticas en el uso del espectro electromagnético [33].

3.2 ESTANDAR IEEE 802.11AF

El estándar IEEE 802.11af que fue estipulado en el 2013 y admitido en el 2014, definiendo las condiciones para cumplir los requerimientos legales al acceso de canales y la armonía de las bandas de TVWS contempladas entre 54 MHz y 790 MHz así permitiendo la operación de CB en TVWS. El estándar IEEE 802.11af suministra un marco internacional que acomoda los diferentes marcos regulatorios de TVWS en diferentes nacionalidades [34]. La arquitectura típica del estándar 802.11 af la podemos ver en la Ilustración 1 de la cual se compone de los siguientes elementos:

Base de datos geolocalizados (por sus siglas en ingles GDB): Es una base de datos de todas las frecuencias permitidas del espectro para la utilización en TVWS. Esta base de datos tiene como objetivo satisfacer los requisitos regulatorios según su ubicación territorial [35].

Servidor seguro de ubicación registrada (por sus siglas en inglés RLSS): Este dispositivo opera como un servidor local que contiene la ubicación geográfica y los parámetros de operación de un conjunto de canales. El funcionamiento del RLSS es distribuir eficientemente los canales a cada terminal maestro para evitar interferencias entre ellos. El RLSS se encuentra ubicado entre el GDB y el maestro [36].

Maestros: El maestro es la responsable de hacer la comunicación con la base de datos geolocalizados mientras que los esclavos depende del maestro para su funcionamiento. El maestro inicia enviando su geolocalización y los datos del dispositivo a la GDB. El GDB envía un listado con los canales disponibles, cuando el maestro ya cuenta con la lista de estos canales emitirá una señal de alerta para informar al esclavo [37].

Esclavo: El esclavo solicita su operación a través del maestro para el funcionamiento en TWS, teniendo en cuenta que los huecos espectrales cambian constantemente, el maestro puede parar sus operaciones si detecta anomalías en su transmisión [38].

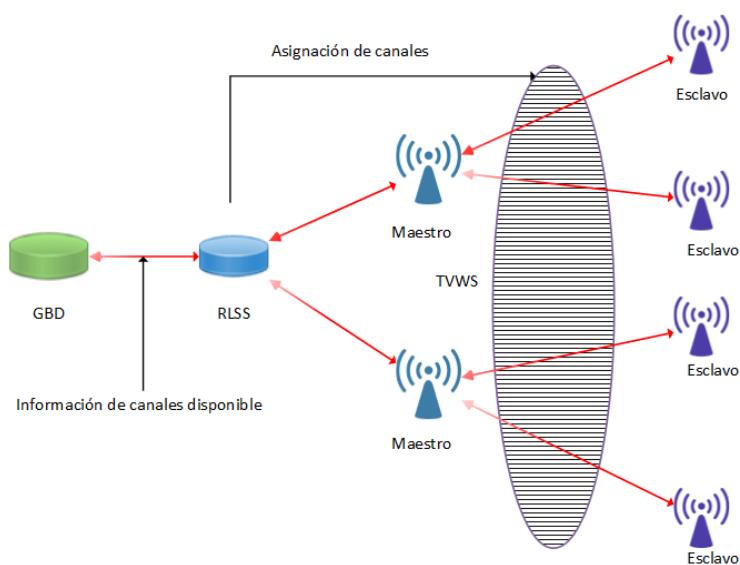


Ilustración 1 Arquitectura del estándar IEEE 802.11af.

Fuente: Imagen Propia

3.3 PROTOCOLO PAWS

Protocolo de acceso a la base de datos de espacios en blanco (PAWS) es un protocolo diseñado para acceder a la base de datos, este protocolo fue diseñado a través de RFC 7545 desde el cual

este asume que los terminales maestros generalmente están conectados a internet y de igual forma que la base de datos en la Ilustración 2 se encuentra su arquitectura física [39].

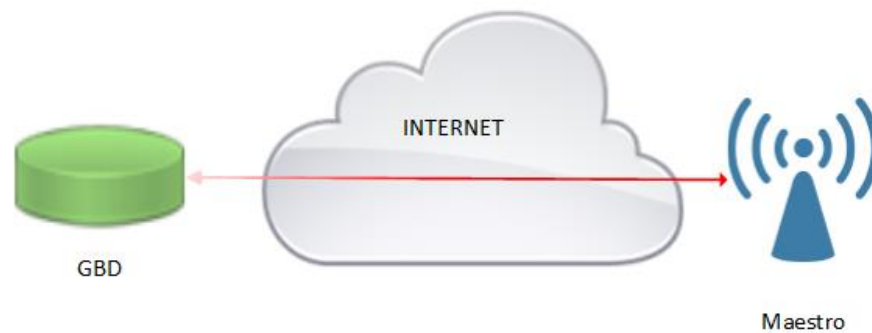


Ilustración 2 Protocolo PAWS

Fuente: Imagen Propia

3.3.1 Secuencia de operación de PAWS

- El terminal maestro obtiene (estática o dinámicamente) la URI para la base de datos a donde se encuentre ubicada, la cual enviara mensajes PAWS sucesivo.
- El terminal maestro establece una conexión https con la base de datos.
- El terminal maestro envía opcionalmente un mensaje de inicialización a la base de datos para intercambiar capacidades.
- Si la Base de Datos obtiene un mensaje de inicialización, este proporciona un mensaje de respuesta de inicialización en el cuerpo HTTP respuesta.
- La base de datos de puede solicitar que el terminal maestro sea registrado antes de ofrecer servicio.
- El terminal maestro envía un mensaje de petición de canales disponibles a la base de datos. El mensaje puede ser en nombre de un terminal esclavo del cual se hizo con anterioridad a el terminal maestro.
- Si el terminal maestro hace una petición en nombre de un terminal esclavo. El terminal maestro puede comprobar con la base de datos que el terminal esclavo está acreditado a operar.
- La base de datos responde con una respuesta de canales disponibles con cuerpo HTTP.

- El terminal maestro puede enviar un mensaje de notificación de uso del espectro a la base de datos.
- Si la base de datos recibe un mensaje de notificación de uso del canal, responde enviando al terminal maestro un mensaje que contiene el uso del canal solamente notificando [40].

3.4 ESTANDAR IEEE 802.22

El IEEE 802.22 es un estándar de área regional inalámbrica de radio cognitiva (WRAN por sus siglas en ingles), su objetivo principal es la utilización de huecos espectrales de televisión para acceso de banda ancha en áreas remotas [41]. La banda de operación del estándar IEEE 802.22 puede estar en 6, 7 u 8 MHz dependiendo del país y su regulación [42].

El estándar detalla la interfaz aérea, conteniendo la capa cognitiva de control de acceso al medio de radio (MAC por sus siglas en ingles) y la capa física (PHY por sus siglas en inglés) de la WRAN punto a multipunto y backhaul que operan en las bandas de TV [43]. El estándar está basado en el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal con dúplex por división de tiempo (OFDMA/TDD por sus siglas en inglés) los parámetros PHY están se diseñaron para permitir una distancia de transmisión de hasta 30 Km, con una ampliación de 100 Kms de cobertura con la programación adecuada en los terminales maestro [44].

Al usar OFDMA para compartir el espectro se puede hacer uso más eficiente del ancho de banda en que un sistema de radiofrecuencias opera. Para que los dispositivos con mayor densidad espectral de potencia de cada una de las subportadoras optimicen el uso de la porción del espectro radioeléctrico utilizado, se ubican las portadoras del canal de comunicaciones separadas 90° entre sí [45].

El estándar también utiliza un esquema de modulación y codificación adaptable que utiliza modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM y códigos convolucionales con relaciones de código de 1/2, 3/4, 2/3 y 5/6 en combinación, estas combinaciones permiten una variabilidad necesaria en el canal, para obtener hasta 23 Mbps en promedio para un canal de TV [46].

3.5 AGRUPACIÓN DE CANALES (CB)

En los sistemas inalámbricos como WIFI utilizan técnicas de agrupación de canales o Channel Bonding (CB) para combinar múltiples canales y formar canales más grandes [15]. Por lo tanto WIFI cumple los estándares IEEE 802.11 que se define una red de área local inalámbrica (por sus siglas en inglés WLAN) [47].

Para las redes inalámbricas que operan en TVWS, el estándar IEEE 802.11af además de su arquitectura, define modos de operación.

En el trabajo de estandarización de Red de área regional inalámbrica (por sus siglas en inglés WRAN), red de área local inalámbrica (por sus siglas en inglés WLAN), red inalámbrica de área personal (por sus siglas en inglés WPAN), el estándar IEEE 802.11af define una capa física y de control al medio para WLAN [48].

Los modos de transmisión están dados por la técnica de multiplexación de frecuencia ortogonal (por sus siglas en inglés OFDM), ofreciendo mejores velocidades de datos como se explica en la capa física del estándar IEEE 802.11 af de TVHT de alto rendimiento (por sus siglas en inglés). Según las topologías de funcionamiento de TVWS, los métodos OFDM denominan unidades de canales básicos a los anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz de acuerdo con las regulaciones geográficas [49].

Para la agrupación de canales el estándar IEEE 802.11 af, ha considerado canales continuos y no continuos para determinar criterios al realizar CB de los cuales encontramos la agrupación dinámica de canales (por sus siglas en inglés DCB) donde consiste en censar canales no solapados contiguos y obtener un solo canal basados en los estándares de TVWS, agrupación de canales semejantes (por sus siglas en inglés UCB) donde consiste en asignar un ancho de banda uniforme en cada uno de los canales y agrupación de canal estándar (por sus siglas en inglés SCB) estandarizando cuatro modos para agrupar hasta 4 canales, en la Ilustración 3 y en la Ilustración 4 se observan los diferentes grupos.

- 1) Modo 2: Dos canales contiguos
- 2) Modo 3: Cuatro canales contiguos.
- 3) Modo 4: Dos canales no contiguos.

4) Modo 5: Cuatro canales no contiguos [50] [51].

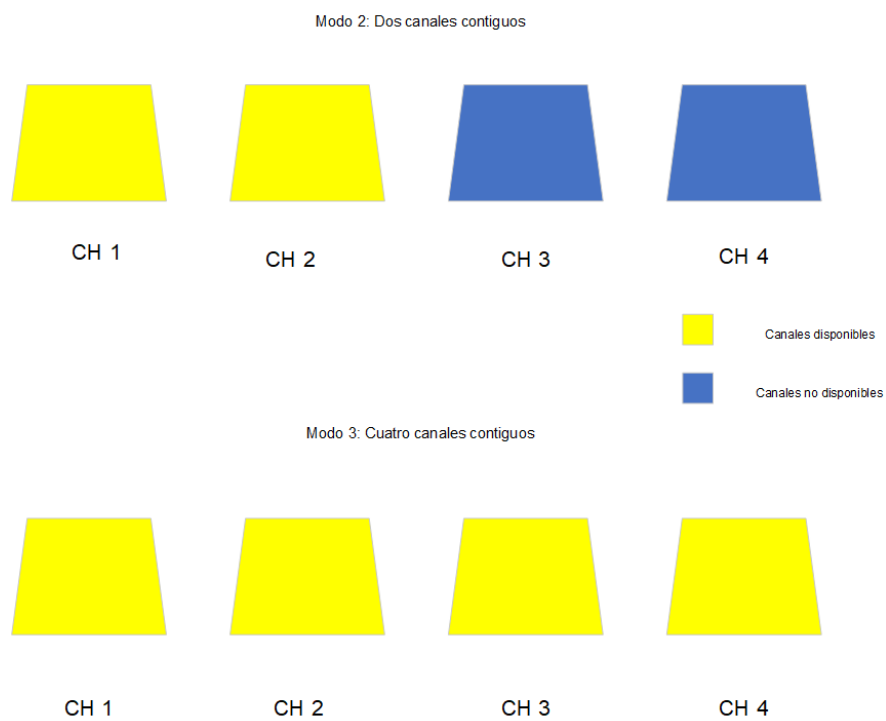


Ilustración 3 Modos Contiguos

Fuente: Imagen Propia

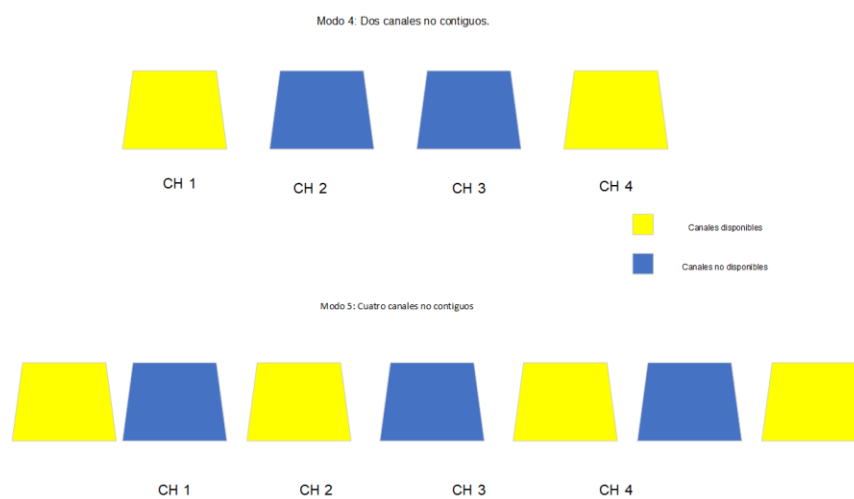


Ilustración 4 Modos no contiguos

Fuente: Imagen Propia

4 FABRICANTES Y EQUIPOS TECNOLOGICOS PARA HUECOS ESPECTRALES

4.1 ADAPTRUM

Adaptrum, es una compañía especializada en el uso del acceso dinámico al espectro para brindar conexiones a Internet asequible a través de redes inalámbricas fijas sin línea de vista directa (NLOS, por sus siglas en inglés), contribuyendo a cerrar la brecha digital en todo el mundo, Adaptrum nos presenta una solución para la implementación de TVWS [52].

4.1.1 ACRS2-B1000

El ACRS2-B1000 es compatible con diferentes regulaciones de TVWS, con capacidad de interactuar con las bases de datos de distintos proveedores, garantiza la operabilidad en diferentes canales de TV UHF.

- Adaptrum permite mejor propagación e inclusión de la señal en bajas frecuencias combinado con las tecnologías de OFDMA, garantizando la confiabilidad del servicio incluso en terrenos accidentados y follaje pesado.
- Con la combinación de una eficiencia de canal y la tecnología Just-In-Time OFDM Frame Buffering soportan hasta modulaciones de 256 QAM, proporcionando tasa más baja es sus latencias y tasas más altas de datos.
- Permite alcanzar su máximo rendimiento con ayuda realizando un CB de dos canales adyacentes.
- Permite acceso dinámico optimizado de la selección dinámica de los mejores canales y la programación óptima de canales de red.
- Asegura la funcionalidad con la coexistencia libre de interferencias entre sistemas de difusión de TV y redes de TVWS.
- Permite actualización de su software, permitiendo mejoras y características adicionales.
- Carcasa de aluminio sellada y resistente a condiciones ambientales extremas, permitiendo durabilidad y una vida útil prolongada al aire libre.
- Administrable de forma remota a través de sistemas de gestion de red.
- Se puede implementar en pared o soporte simple, ágil en su instalación con infraestructuras existentes.

- La Geolocalización automática a través de un receptor GPS incorporado permite la instalación y configuración inicial con la base de datos de TVWS.
- Puede cubrir una distancia de 10 KM en línea recta, cuando se implementa una configuración de 3 sectores, puede cubrir un ángulo de 360° con un área aproximada de 300 Km^2 , esta implementación se despliega junto con ACRS2.0 [53]

4.1.1.1 Especificaciones técnicas

En el anexo A se encuentran las especificaciones técnicas de ACRS2-B1000 por parte del fabricante.

4.1.2 ACRS2-B2000

El ACRS2-B2000 es compatible con diferentes regulaciones de TVWS, con capacidad de interactuar con las bases de datos de distintos proveedores, garantiza la operabilidad en diferentes canales de TV UHF. A diferencia del AP ACRS2-B2000 tiene un mayor alcance de cubrimiento en su ancho de banda.

- Permite mejor propagación e inclusión de la señal en bajas frecuencias combinado con las tecnologías de OFDMA, garantizando la confiabilidad del servicio incluso en terrenos accidentados y follaje pesado.
- Con la combinación de una eficiencia de canal y la tecnología Just-In-Time OFDM Frame Buffering soportan hasta modulaciones de 256 QAM, proporcionando tasa más baja es sus latencias y tasas más altas de datos.
- Combinando la agregación de una doble portadora y la expansión de doble canal no adyacentes, puede alcanzar hasta 42 Mbps de rendimiento.
- Permite acceso dinámico optimizado de la selección dinámica de los mejores canales y la programación óptima de canales de red.
- Asegura la funcionalidad con la coexistencia libre de interferencias entre sistemas de difusión de TV y redes de TVWS.
- Permite actualización de su software, permitiendo mejoras y características adicionales.

- Carcasa de aluminio sellada y resistente a condiciones ambientales extremas, permitiendo durabilidad y una vida útil prolongada al aire libre.
- Administrable de forma remota a través de sistemas de gestión de red.
- Se puede implementar en pared o soporte simple, ágil en su instalación con infraestructuras existentes.
- La Geolocalización automática a través de un receptor GPS incorporado permite la instalación y configuración inicial con la base de datos de TVWS.
- Puede cubrir una distancia de 10 KM en línea recta, cuando se implementa una configuración de 3 sectores, puede cubrir un ángulo de 360° con un área aproximada de 300 Km^2 , esta implementación se despliega junto con ACRS2.0 [54].

4.1.2.1 Especificaciones técnicas

En el anexo B se encuentran las especificaciones técnicas de ACRS2-B2000 por parte del fabricante.

4.1.3 ACRS2.0

El ACRS2.0 es compatible con diferentes regulaciones de TVWS, con capacidad de interactuar con las bases de datos de distintos proveedores, garantiza la operabilidad en diferentes canales de TV UHF. Sirve como esclavo en TVWS. Son ideales para soportar una amplia gama de aplicaciones inalámbricas fijas: desde banda ancha rural para comunidades desatendidas a la comunicación de Point-to-Point.

- Permite mejor propagación e inclusión de la señal en bajas frecuencias combinado con las tecnologías de OFDMA, garantizando la confiabilidad del servicio incluso en terrenos accidentados y follaje pesado.
- Con la combinación de una eficiencia de canal y la tecnología Just-In-Time OFDM Frame Buffering soportan hasta modulaciones de 256 QAM, proporcionando tasa más baja en sus latencias y tasas más altas de datos.
- Permite acceso dinámico optimizado de la selección dinámica de los mejores canales y la programación óptima de canales de red.
- Asegura la funcionalidad con la coexistencia libre de interferencias entre sistemas de difusión de TV y redes de TVWS.

- Carcasa de aluminio sellada y resistente a condiciones ambientales extremas, permitiendo durabilidad y una vida útil prolongada al aire libre.
- Permite actualización de su software, permitiendo mejoras y características adicionales. Administrable de forma remota a través de sistemas de gestión de red.
- Pared o soporte simple, ágil en su instalación con infraestructuras existentes y su peso es menor a 4 libras.
- Puede cubrir una distancia de 10 Km en línea recta apuntando a un maestro elevado utilizando unas antenas direccionales. Estos esclavos por lo general están incluidos con 3 esclavos para cubrir un Área de 360° [55].

4.1.3.1 Especificaciones técnicas

En el anexo C se encuentran las especificaciones técnicas de ACRS2.0 por parte del fabricante.

4.2 REDLINE COMMUNICATIONS

Redline Communications, fabrica y desarrolla redes inalámbricas en zonas amplias y cruciales en lugares de difícil acceso a nivel mundial. Fundada en 1999, Redline planifica, diseña y entrega soluciones para necesidades de voz, IoT, datos y video en zonas como el desierto, zonas heladas o congestionadas. Soluciones que han sido utilizadas por compañías petroleras y gaseoductos en tierra o mar, compañías mineras en operaciones en superficie y subterráneas [56].

4.2.1 RDL-3000 XP Edge

El RDL-3000 XP Edge ofrece conexiones punto a punto (PTP) y punto a multipunto (PMP) que requieren mayor potencia, mayor alcance y operación en bandas de frecuencia extendidas.

- Terminal de datos altamente confiable con arquitectura flexible se adapta para cumplir con el escenario de implementación de PMP y PTP más desafiantes.
- Alto rendimiento para el transporte multiservicio, incluida la telemetría M2M y servicios de telecontrol, datos, vídeo y voz

- Carcasa duradera para todo tipo de clima para un funcionamiento fiable a temperaturas extremas rangos y condiciones ambientales
- El monitoreo por aire, la confianza y las funciones clave de software permiten actualizaciones sin acceso físico
- La arquitectura definida por software mejora la fiabilidad y la vida útil del servicio
- El Edge es totalmente compatible con todas las AP de la familia Redline RDL-3000 XP y terminales remotos inalámbricos [57].

4.2.1.1 Especificaciones técnicas

En el anexo D se encuentran las especificaciones técnicas de RDL-3000 XP Edge por parte del fabricante.

4.2.2 RDL-3000 XP ELLIPSE

El RDL-3000 Xp Ellipse ofrece la seguridad y calidad de servicio (QoS) para la extensa familia de TCP/IP de las conectividades inalámbricas en exteriores. Características de este terminal configurable para potentes procesamientos y trasportes de datos confiable.

- Admite todo tipo de datos de los esclavos RDL-3000 XP, incluidos sistemas de adquisición automática.
- Tiene alto rendimiento de transporte datos simultáneos de telemetría y telecontrol M2M, servicio de datos, video y voz.
- Carcasa resistente para todo tipo de clima temperaturas extremas y condiciones ambientales.
- El monitoreo por aire, la confianza y las funciones clave de software permiten actualizaciones sin acceso físico
- La arquitectura por software mejora la fiabilidad y la vida útil del servicio.
- Compatible con todos los terminales de la familia Redline RDL-3000 XP y terminales remotos inalámbricos [58]

4.2.2.1 Especificaciones técnicas

En el anexo E se encuentran las especificaciones técnicas de RDL-3000 XP ELLIPSE Edge por parte del fabricante.

4.2.3 RDL-3000 XP Elte MT

El RDL-3000 XP Elte MT diseñado principalmente para zonas industriales y condiciones extremas donde equipos típicamente comerciales pueden ser destruidos o funcionamiento serio ineficaz.

- Terminal de datos altamente confiable con arquitectura flexible se adapta para cumplir con el escenario de implementación de PMP y PTP más desafiantes.
- Tiene alto rendimiento de transporte datos simultáneos de telemetría y telecontrol M2M, servicio de datos, video y voz.
- Carcasa resistente para todo tipo de clima temperaturas extremas y condiciones ambientales.
- El monitoreo por aire, la confianza y las funciones clave de software permiten actualizaciones sin acceso físico.
- La arquitectura por software mejora la fiabilidad y la vida útil del servicio.
- Compatible con todos los maestros de la familia Redline RDL-3000 XP y terminales remotos inalámbricos [59].

4.2.3.1 Especificaciones técnicas

En el anexo F se encuentran las especificaciones técnicas de RDL-3000 XP Elte MT Edge por parte del fabricante.

4.3 RADWIN

RADWIN fue fundado en 1997, ofreciendo soluciones inalámbricas de banda ancha por debajo de los 6Ghz. con soluciones que están implantadas en más de 170 países [60]. Con aplicaciones de banda ancha empresarial y residencial, transmisiones de videovigilancia y entregando banda ancha par trenes y metros [61].

4.3.1 Outland Base station

- Soporta frecuencia de 470-698 MHz
- Doble portadora (soporta 2 portadoras simultáneamente), hasta 300Mbps
- Unidad conectada a una antena externa de 12dBi 90°
- FCC: hasta 4 canales consecutivos TVWS de 6MHz por portadora

- ETSI: hasta 3 canales consecutivos TVWS de 8MHz por portadora
- Cumple con el estándar IP 67
- GPS incorporado

4.3.2 Outland Subscriber unit

- Soporta frecuencia de 470-698 MHz
- Portadora única, hasta 150Mbps
- Antena integrada de doble polo de factor de forma pequeño 8dBi
- FCC: hasta 4 canales consecutivos TVWS 6MHz
- ETSI: hasta 3 canales consecutivos TVWS 8MHz
- Compatible con IP 67
- GPS incorporado [62].

4.3.2.1 Especificaciones técnicas

En el anexo G se encuentran las especificaciones técnicas de RADWIN por parte del fabricante.

4.4 WDOSIS

Las redes de cable banda ancha, la televisión por cable (CATV por sus siglas en ingles), son utilizadas para distribuir señales de radio fusión como una alternativa de medios terrestres o satélites a mediados. A finales de los 90 en Estados Unidos se ejecutaba una tecnología no comercial llamado Especificación de Interfaz para Servicios de Datos por Cable (DOCSIS por sus siglas en ingles). El objetivo de DOCSIS es especificar una conexión de datos full dúplex entre un cable modem (CM por sus siglas en ingles) y un sistema de terminación de módem de cable (CMTS por su sigla en inglés) para poder ofrecer telefonía IP e internet. En la actualidad se ofrecen soluciones que permiten tres servicios con un único cable: radio fusión (televisión y radio), internet y telefonía [63].

Docsis fue desarrollado por la corporación Cable Labs en cooperación con MCNS (Multimedia Cable Network System), empresas dedicadas a fabricar equipos de cable [64]. La tecnología DOCSIS se ha de desarrollado gradualmente para aumentar las velocidades de servicios simétricos multigigabit a través de fibra óptica y redes coaxiales [65].

Docsis 1.0 fue el primer estándar que se centra para el uso de internet con objetivo de acceso a internet y descargas de entretenimiento pago por ver, la transmisión de televisión por cable y video por el tiempo fue evolucionando a Docsis 1.1 estandarizando la calidad de servicio (QoS por sus siglas en ingles) [66].

Docsis 2.0 permite llegar hasta anchos de banda de 6,4 MHz con modulaciones de 64-QAM y un bandwidth de 30,72 Mbps [67].soporta servicios simétricos y servicios punto a punto, servicios IP multicast y una mejor tolerancia al ruido y a las interferencias. Docsis 2.0 utiliza técnicas de TDMA y S-CDMA para optimizar las transmisiones ascendentes y establece un número de limite solicitudes por canal, lo que reduce el número de colisiones de transmisión [68].

Docsis 3.0 puede llegar a una modulación de 256 QAM en flujos descendentes en un ancho de banda de 6 MHz/canal en las frecuencias de 70-770MHz y flujos ascendentes de en señales de TDMA-64QAM en frecuencias de 10 a 55 MHz. La tasa de transmisión en las modulaciones de 256 QAM es aproximadamente 40Mbps. En Docsis 3.0 ya permite CB y el cambio dinámico de CB para expandir la capacidad de transmisión [69].

Docsis 3.1 fue lanzado en octubre de 2013, para aumentar el bandwidth y el rendimiento de datos en las redes CATV hasta una 10 Gbps de descarga y de 1Gbps de subida. El CMTS tiene interfaces Ethernet y de radiofrecuencia (RF por sus siglas en ingles), para que el tráfico se pueda enrutar desde la interfaz ethernet y luego a las interfaces RF que se encuentran conectadas a las redes de cable coaxial [70]. Para el aumento del bandwidth DOCSIS 3.1 adopto el esquema de OFDM para su transmisión en descendente. El ancho de banda descendente pode abarcar de 108MHz a 1794MHz, que se dividen en varios canales de OFDM [71]. Puede alcanzar modulaciones de orden superior de 4096-QAM con soporte optativo de 8192 y 16384-QAM [72].

Docsis 4.0 actualmente se está desarrollando y se basa en su predecesor 3.1 y promete aumentar drásticamente velocidades de transferencia de datos que pueden lograr en una red híbrida de fibra coaxial (HFC por sus siglas en inglés) al introducir la transmisión full-dúplex (FDX) y extender las frecuencias mucho más allá de sus rangos de operación [73].

Wireless DOCSIS o WDOCSIS, es una variación de docsis 3.0 para brindar banda ancha en zonas de difícil acceso [74]. Actualmente se están haciendo pruebas con la implementación de esta tecnología para ofrecer servicios de internet en TVWS ofreciendo algunas ventajas tales como:

- El maestro puede cubrir hasta 75 Km a la redonda.
- Los terminales esclavos pueden llegar hasta un bandwidth de 50Mbps.

Los terminales maestro y esclavo son muy fáciles de usar y robustos, en Canadá las comunidades son administradas y mantenidas por ellos mismos [75].

4.5 RESUMEN DE LAS PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS PARA TVWS.

En la Tabla 3 se determina el tipo de terminal de cada fabricante.

Terminal	Maestro	Esclavo
Acrs2-B1000	x	
Acrs2-B2000	x	
Acrs2.0		x
Rdl-3000 Xp Edge	x	
Rdl-3000 Xp Ellipse	x	
Rdl-3000 Xp Elte Mt		x
Outland Base Station	x	
Outland Subscriber Unit		x

Tabla 3 Tipo de Terminal

- En la Tabla 4 se resumen las especificaciones de radiofrecuencia de cada uno de los fabricantes.

Terminal	Bandas frecuencia	Channel Bandwidth (6MHz)	Técnica de Multiplexación	Modulación	Seguridad	Sincronización	Max Tx Power
ACRS2-B1000	400MHz - 1GHz	si	OFDMA/Just-In-Time OFDM Frame Buffering	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	-	GPS incorporado	28dBm
ACRS2-B2000	400MHz - 1GHz	si	OFDMA/Just-In-Time OFDM Frame Buffering	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	-	GPS incorporado	23dBm
ACRS2.0	400MHz - 1GHz	si	OFDMA/Just-In-Time OFDM Frame Buffering	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	-	-	20dBm
RDL-3000 XP Edge	470MHz-698MHz, 2000MHz-2300MHz, 2300MHz-2700MHz, 3300MHz-3800MHz, 4940MHz-5875MHz	si	OFDM, TDD/TDMA, 2 x 2 MIMO A/B con STBC y MRRRC	BPSK 1/2 to 64 QAM 5/6, 256 QAM	AES 128/256 (OTA, FIPS 197 compliant); HTTPS (SSL), SSH (CLI), SNMP v3; MAC-based, Mutual Authentication; ECDSA Certificates Authentication; FIPS-	-	30 dBm

Terminal	Bandas frecuencia	Channel Bandwidth (6MHz)	Técnica de Multiplexación	Modulación	Seguridad	Sincronización	Max Tx Power
					140-2 compliant		
RDL-3000 XP ELLIPSE	470MHz-698MHz, 2000MHz-2300MHz, 2300MHz-2700MHz, 3300MHz-3800MHz, 4940MHz-5875MHz	si	OFDM, TDD/TDMA 2 x 2 MIMO A/B con STBC y MRRC, high- rejection Tx/Rx filtering	BPSK a 256 QAM 7/8	Management Encryption: TLS v1.2, AES-256, SHA1, Device Authentication: ECDSA digital signature- based authentication or MAC- based mutual authentication, Data Encryption: AES- 128/256 with ECDH secure key exchange (over-the- air, FIPS 197 compliant),	GPS incorporado	31 dBm

Terminal	Bandas frecuencia	Channel Bandwidth (6MHz)	Técnica de Multiplexación	Modulación	Seguridad	Sincronización	Max Tx Power
					NIST FIPS-140-2 compliant		
RDL-3000 XP Elte MT	470MHz-698MHz, 2000MHz-2300MHz, 2300MHz-2700MHz, 3300MHz-3800MHz, 4940MHz-5875MHz	si	OFDM, TDD, 2 x 2 A/B MIMO	BPSK a 256 QAM, TDMA	AES 128/256 (OTA, FIPS 197 compliant); HTTPS (SSL), SSH (CLI), SNMP v3; MAC-based, Mutual Authentication; ECDSA Certificates Authentication; FIPS-140-2 compliant	-	-
OUTLAND BASE STATION	470 – 698MHz	si	MIMO-OFDM, BPSK	BPSK-QAM256	AES 128	GPS incorporado	25 dBm
OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	470 – 698MHz	si	MIMO-OFDM, BPSK	BPSK-QAM256	AES 128	GPS incorporado	23 dBm

Tabla 4 Especificaciones de Radiofrecuencia por fabricante

En la Tabla 5 se resumen el performance de cada uno de los terminales mencionados en la descripción de las soluciones para la implementación de TVWS .

Performance				
Terminal	Throughput	Bandwidth Efficiency	Channel Bonding	Latencia
ACRS2-B1000	13Mbps	94%	si	15 ms
ACRS2-B2000	23Mbps	94%	si	15 ms
ACRS2.0	13Mbps	94%	-	15 ms
RDL-3000 XP Edge	3 Mbps a 186.6 Mbps	-	-	10 ms
RDL-3000 XP ELLIPSE	186.6 Mbps	-	-	10 ms
RDL-3000 XP Elte MT	3 Mbps a 186.6 Mbps	-	-	10 ms
OUTLAND BASE STATION	150 Mbps	-	si	-
OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	150 Mbps	-	si	-

Tabla 5 Performance

- En la Tabla 6 se encuentra resumida la potencia que soportan cada uno de los terminales.

Terminal	Consumo máximo	Energía del sistema
ACRS2-B1000	30 W	Passive PoE 48V DC (110V/240V PoE Inyector incluido opcionalmente)
ACRS2-B2000	42 W	Passive PoE 48V DC (110V/240V PoE Inyector incluido opcionalmente)
ACRS2.0	20 W	Passive POE inYector, 110/220V AC input, 48V DC output
RDL-3000 XP Edge	17W; Standard; IEEE 802.3at (PoE)	-
RDL-3000 XP ELLIPSE	17W; Standard;	-

Terminal	Consumo máximo	Energía del sistema
	IEEE 802.3at (PoE)	
RDL-3000 XP Elte MT	30 W	-
OUTLAND BASE STATION	65W	-
OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	27W	-

Tabla 6 Potencias para terminales

En la Tabla 7 se encuentra discriminado las características de las interfaces de cada uno de los terminales.

Terminal	Antena	Data	Management	Data Base Access
ACRS2-B1000	Externa N-Type Female	10/100 Ethernet	Adaptrum HTTPS HTML5 based Web GUI & NMS, SNMPv3 Remote Monitoring	-
ACRS2-B2000	Externa N-Type Female	10/100 Ethernet	Management: Adaptrum browser-based GUI & NMS, SNMP Remote Monitoring	PAWS (IETF RFC 7545)
ACRS2.0	Externa TNC Female	10/100 Ethernet	Management: Adaptrum browser-based GUI & NMS, SNMP Remote Monitoring	PAWS (IETF RFC 7545)
RDL-3000 XP Edge	Externa MIMO	10/100 Ethernet, 2xRF N(f)	Redline ClearView NMS, SNMP v2, HTTP (Web), Telnet (CLI), RADIUS (User Authentication)	-

Terminal	Antena	Data	Management	Data Base Access
RDL-3000 XP ELLIPSE	Externa MIMO sectorial u omnidireccional	10/100 Ethernet, 2xRF N(f), GPS TNC(f)	Redline ClearView NMS, SNMP v2c/v3, HTTP/HTTPS (Web), Telnet/SSH (CLI), Management VLAN tagging, RADIUS User Authentication	-
RDL-3000 XP Elte MT	Integrada MIMO	10/100 Ethernet	ClearView NMS, HTTP, SNMP v2/v3, Telnet, HTTPS/SSL, SSH	-
OUTLAND BASE STATION	Unidad exterior conectorizada (2 x tipo N)	1000BaseT, SFP 1GbE	IPv4/IPv6 dual stack; SNMP v1 and v3; HTTP using web browser	-
OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	Unidad exterior con antena integrada de 8 dBi	1000BaseT, SFP 1GbE	IPv4/IPv6 dual stack; SNMP v1 and v3; HTTP using web browser	-

Tabla 7 Interfaces

- En la Tabla 8 se encuentra las dimensiones, su peso y su estructura de cada uno de los terminales.

Terminal	Tamaño	Peso	Características
ACRS2-B1000	310mm x 270mm x 85mm	4.5kg	Aluminio sellado resistente a la intemperie
ACRS2-B2000	310mm x 270mm x 85mm	2.8kg	Aluminio sellado resistente a la intemperie
ACRS2.0	216mm x 191mm x 38mm)	1.6kg	Aluminio sellado resistente a la intemperie
RDL-3000 XP Edge	306.8 x 230 x 60.3 mm	2.7 kg	-

Terminal	Tamaño	Peso	Características
RDL-3000 XP ELLIPSE	306.8 x 230 x 60.3 mm	2.7 kg	-
RDL-3000 XP Elte MT	204.8 x 204.8 x 72.6 mm	2.0 kg	-
OUTLAND BASE STATION	24.8 x 25.5 x 7.5 cm	4.5 kg	-
OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	32.5 x 32.5 x 11.4 cm	2.3kg	-

Tabla 8 Chasis

- En la Tabla 9 se encuentra lo que soporta a nivel de ambiente de cada uno de los terminales

Terminal	Temperatura de funcionamiento	Humedad de funcionamiento
ACRS2-B1000	-40°C a 50°C	5% a 100%
ACRS2-B2000	-40°C a 50°C	5% a 100%
ACRS2.0	-40°C a 50°C	5% a 100%
RDL-3000 XP Edge	-40 a 75 °C	100% humedad, condensación
RDL-3000 XP ELLIPSE	-40 a 75 °C	100% humedad, condensación
RDL-3000 XP Elte MT	-40 a 75 °C	100% humedad, condensación
OUTLAND BASE STATION	-40°C a 60°C	Cumple IP67
OUTLAND SUBSCRIBER UNIT	-40°C a 60°C	Cumple IP67

Tabla 9 Ambiente

5 ANALISIS DE FACTIBILIDADES TECNOLÓGICA CON MATRIZ DE RIESGOS.

El análisis de la factibilidad da una descripción de los recursos que son necesarios para la toma de decisiones, el análisis involucra seleccionar los datos relevantes los cuales deben ser estudiados para obtener la mejor decisión.

El análisis tecnológico permite proponer y analizar las diferentes opciones tecnológicas identificado los equipos, materiales, insumos e instalaciones necesarias etc. para realizar el proyecto [76].

Para realizar el análisis vamos a utilizar el método de gestión de riesgo PMI® (Project Management Institute) donde este método agrupa ocho áreas principales el conocimiento en dirección de proyectos (gestión de la integración, gestión del alcance, gestión del tiempo, gestión del costo, de la calidad, de los recursos humanos, de las comunicaciones y del abastecimiento del proyecto) [77]

5.1 DISPONIBILIDAD DE CANALES EN HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN PARA COLOMBIA.

En este análisis se calcula la cantidad de canales disponible en unos 29 millones de puntos en Colombia, utilizando el método 2 de la plataforma de huecos espectrales desarrollada por la Universidad Santo Tomas por la Agencia Nacional del Espectro (ANE), como parte de los acuerdos especiales de cooperación No. 023 de 2018 y No. 064 de 2020. El método 2 consiste en utilizar los datos de la UIT-R p.1546-6 para el 50% del tiempo y la frecuencia 600MHz [78].

La plataforma de huecos espectrales utiliza un ráster de elevación de 200 m de resolución y un total de 62.944.007 puntos, esto se usará como el origen de los puntos de latitud y longitud consultado por la plataforma para recuperar la lista de canales disponible en el método 2.

Estos son dos casos en los que la lista de canales disponibles está vacía por defecto.

1. Si el valor HAAT supera los 800 m, estos puntos se denominan HAAT desactivado.

2. Se dice que los puntos están prohibidos si se encuentran en o limitan con un área urbana prohibida [79].

Los parámetros de configuración cumplen con lo establecido en la resolución 105 de 2020 en la Tabla 10 se encuentran establecido las 28 zonas urbanas prohibidas.

Zonas Urbanas Prohibidas			
Código Departamento	Nombre Departamento	Código Municipio	Nombre Municipio
5	Antioquia	5001	Medellín
		5088	Bello
		5266	Envigado
		5360	Itagüí
8	Atlántico	8001	Barranquilla
		8758	Soledad
11	Bogotá, D.C.	11001	Bogotá, D.C.
13	Bolívar	13001	Cartagena de Indias
17	Caldas	17001	Manizales
19	Cauca	19001	Popayán
20	Cesar	20001	Valledupar
23	Córdoba	23001	Montería
25	Cundinamarca	25754	Soacha
41	Huila	41001	Neiva
47	Magdalena	47001	Santa Marta
50	Meta	50001	Villavicencio
52	Nariño	52001	Pasto
54	Norte de Santander	54001	San José de Cúcuta
63	Quindío	63001	Armenia
66	Risaralda	66001	Pereira
		66170	Dosquebradas
68	Santander	68001	Bucaramanga
		68276	Floridablanca
70	Sucre	70001	Sincelejo
73	Tolima	73001	Ibagué
76	Valle del Cauca	76001	Cali
		76109	Buenaventura
		76520	Palmira

Tabla 10 Zonas urbanas prohibidas

Aunque el ráster de origen de coordenadas geográficas tiene 62.944.007 de puntos correspondientes a todos los puntos del rectángulo, dentro de Colombia tiene solo 28.828.716 puntos correspondientes a puntos dentro de Colombia.

Se realizará el análisis de 33 departamentos para los canales disponibles en huecos espectrales, en la Tabla 11 se encuentran el listado del departamento que se analizaron.

Departamento	No. De Municipios
Amazonas	11
Antioquia	125
Arauca	7
Archipiélago De San Andres	2
Atlántico	23
Bolívar	45
Boyacá	123
Caldas	27
Caquetá	16
Casanare	19
Cauca	40
Cesar	25
Choco	26
Córdoba	28
Cundinamarca	116
Guainía	8
Guaviare	4
Huila	37
La Guajira	14
Magdalena	27
Meta	29
Nariño	63
Norte De Santander	40
Putumayo	13
Quindío	12
Risaralda	14
Bogotá D.C.	1
Santander	87
Sucre	23
Tolima	47

Departamento	No. De Municipios
Valle Del Cauca	42
Vaupés	6
Vichada	4

Tabla 11 Listado de departamento a analizar

Para el análisis se va a tomar los siguientes parámetros en consideración:

- Puntos inhabilitados que superen un valor de HAAT de 800 m.
- Inhabilitados para el uso de huecos espectrales por la resolución 105 de 2020.
- 0 canales disponibles
- 1 canal disponible
- 2 canales disponibles
- 3 canales disponibles
- +4 canales disponibles

En la Tabla 12 se resumen los puntos habilitados de canales en cada uno de los municipios de Colombia, con los siguientes datos más relevantes:

- Un total 28.570.735 de puntos habilitados que corresponden al 99,11% sobre los puntos analizados y un total de no habilitados de 257.255 que corresponden al 0.89% sobre sus puntos analizados.
- Del total de puntos habilitados, se dividen en Zonas Rurales y Zonas Cabeceras Urbanas, de los cuales hay 28.495.574 en Rurales y 75.161 Cabeceras Urbanas.
- En las zonas rurales se observa una tendencia a +4 canales como se observa en la Ilustración 5 con un total de 25.115.010, Amazonas presenta la mayor cantidad de puntos habilitados en +4 canales 2.767.323.
- En las Zonas Cabecera Urbana se observa los punto habilitados se encuentra divididos en su gran mayoría en Canales Prohibidos con un total de 40.006 y en +4 canales con un total de 31.032 como se observa en la Ilustración 6, en Bogotá se tiene la mayor cantidad de canales Prohibidos con un total de 9611 y Cundinamarca con la mayor cantidad de +4 canales con un total de 2.890.

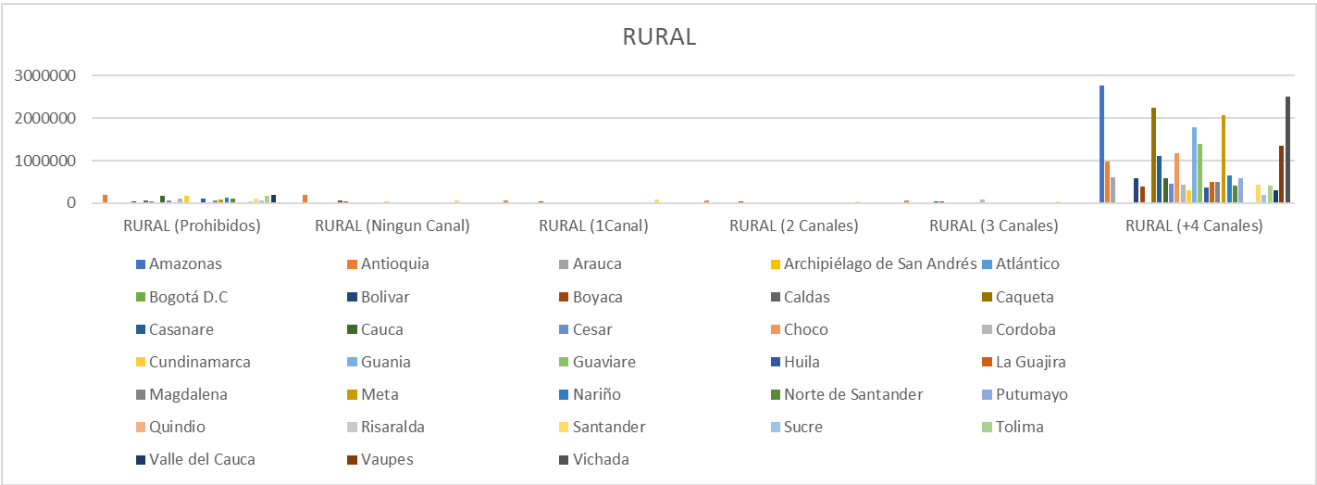


Ilustración 5 Zonas Rurales
Fuente: Imagen Propia



Ilustración 6 Zonas Cabeceras Urbanas
Fuente: Imagen Propia

Departamento	Municipios Analizados	Zona Rural							Zonas Cabeceras Urbanas							Total Habilitados	Total Puntos Analizados	Total Puntos No Habilitados	% Total Habilitados / Total Puntos Analizados	%Total Puntos No Habilitados/Total Puntos Analizados	% Total Rurales/Total Habilitados	% Total Cabecera Urbana/Total Habilitados
		Prohibidos	Ningún Canal	1 canal	2 Canales	3 Canales	+4 Canales	Total	Prohibidos	Ningún Canal	1 Canal	2 Canales	3 Canales	+4 Canales	Total							
Amazonas	11	0	0	0	0	0	2767323	2767323	0	0	0	0	0	209	209	2767532	2767532	0	100,00%	0,00%	9,69%	0,00%
Antioquia	125	203467	187170	70701	65730	63653	981153	1571874	5176	865	217	118	91	2756	9223	1581097	1601878	20781	98,70%	1,30%	5,50%	0,03%
Arauca	7	0	0	0	0	0	599059	599059	0	0	0	0	0	702	702	599761	601908	2147	99,64%	0,36%	2,10%	0,00%
Archipiélago de San Andrés	2	0	0	0	0	0	1103	1103	0	0	0	0	0	171	171	1274	1274	0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Atlántico	23	5461	0	0	0	0	2678	8139	45	0	0	0	0	20	65	8204	85127	76923	9,64%	90,36%	0,03%	0,00%
Bogotá D.C	1	21525	10167	0	0	0	0	31692	9611	0	0	0	0	0	9611	41303	41330	27	99,93%	0,07%	0,11%	0,03%
Bolívar	45	45861	7294	747	5938	35587	581073	676500	1574	0	0	0	7	1081	2662	679162	679347	185	99,97%	0,03%	2,37%	0,01%
Boyacá	123	4166	64147	50649	35849	30732	387647	573190	0	19	179	41	81	2617	2937	576127	584248	8121	98,61%	1,39%	2,01%	0,01%
Caldas	27	64681	31250	20566	9668	28952	28188	183305	1508	112	27	62	368	240	2317	185622	187586	1964	98,95%	1,05%	0,64%	0,01%
Caquetá	16	30251	0	0	0	7	2234381	2264639	0	0	0	0	0	609	609	2265248	2269474	4226	99,81%	0,19%	7,93%	0,00%
Casanare	19	0	228	114	827	1772	1118812	1121753	0	0	0	0	0	1042	1042	1122795	1123599	804	99,93%	0,07%	3,93%	0,00%
Cauca	40	167334	644	97	2179	1758	580871	752883	1123	0	0	0	0	653	1776	754659	771146	16487	97,86%	2,14%	2,64%	0,01%
Cesar	25	53726	10008	5328	13063	17846	459768	559739	744	0	0	3	7	1184	1938	561677	571530	9853	98,28%	1,72%	1,96%	0,01%
Choco	26	21146	0	1393	409	1258	1176555	1200761	0	0	0	0	0	397	397	1201158	1210023	8865	99,27%	0,73%	4,20%	0,00%
Córdoba	28	109660	6122	1553	3998	89045	423585	633963	1049	0	0	0	184	1232	2465	636428	637182	754	99,88%	0,12%	2,22%	0,01%
Cundinamarca	116	174777	31916	17446	10299	20573	299372	554383	1408	355	188	16	90	2890	4947	559330	565526	6196	98,90%	1,10%	1,94%	0,02%
Guahía	8	0	0	0	0	0	1789762	1789762	0	0	0	0	0	127	127	1789889	1789889	0	100,00%	0,00%	6,26%	0,00%
Guaviare	4	0	0	0	0	0	1396053	1396053	0	0	0	0	0	189	189	1396242	1396242	0	100,00%	0,00%	4,89%	0,00%
Huila	10	102562	1089	0	87	0	358607	462345	1144	0	0	0	0	1176	2320	464665	471596	6931	98,53%	1,47%	1,62%	0,01%
La Guajira	14	23494	0	0	0	0	497489	520983	0	46	0	0	0	1066	1112	522095	530803	8708	98,36%	1,64%	1,82%	0,00%
Magdalena	27	73382	6280	486	5772	8365	489511	583796	712	1	0	0	6	805	1524	585320	594198	8878	98,51%	1,49%	2,04%	0,01%
Meta	29	75483	4230	0	0	0	2063408	2143121	1422	0	0	0	0	1632	3054	2146175	2156112	9937	99,54%	0,46%	7,50%	0,01%

Departamento	Municipios Analizados	Zona Rural							Zonas Cabeceras Urbanas							Total Habilitados	Total Puntos Analizados	Total Puntos No Habilitados	% Total Habilitados / Total Puntos Analizados	%Total Puntos No Habilitados/Total Puntos Analizados	% Total Rurales/Total Habilitados	% Total Cabecera Urbana/Total Habilitados
		Prohibidos	Ningún Canal	1 canal	2 Canales	3 Canales	+4 Canales	Total	Prohibidos	Ningún Canal	1 Canal	2 Canales	3 Canales	+4 Canales	Total							
Nariño	63	118367	6234	4323	4666	4961	640532	779083	791	0	0	7	11	1767	2576	781659	794319	12660	98,41%	1,59%	2,73%	0,01%
Norte de Santander	40	96668	8186	3409	13788	14655	404055	540761	1851	0	1	3	24	872	2751	543512	557815	14303	97,44%	2,56%	1,89%	0,01%
Putumayo	13	25908	12864	585	13234	3933	592221	648745	0	0	0	9	4	342	355	649100	651771	2671	99,59%	0,41%	2,27%	0,00%
Quindío	12	24843	360	0	163	4537	16972	46875	901	0	0	0	10	63	974	47849	48851	1002	97,95%	2,05%	0,16%	0,00%
Risaralda	14	37256	3553	5512	2081	11789	24548	84739	1316	9	131	9	2	65	1532	86271	89485	3214	96,41%	3,59%	0,30%	0,01%
Santander	87	109538	57205	78679	51501	31459	430948	759330	1932	90	87	36	61	1376	3570	762900	776115	13215	98,30%	1,70%	2,66%	0,01%
Sucre	23	56339	0	1464	1020	9701	203260	271784	764	0	0	0	54	451	1269	273053	273053	0	100,00%	0,00%	0,95%	0,00%
Tolima	47	173675	2969	2995	3486	3917	407643	594685	1537	0	0	21	6	2806	4370	599055	605604	6549	98,92%	1,08%	2,08%	0,02%
Valle del Cauca	42	197238	1275	0	925	15335	302472	517245	5398	1	0	0	476	2201	8076	525321	537175	11854	97,79%	2,21%	1,81%	0,03%
Vaupés	6	0	0	0	0	0	1344214	1344214	0	0	0	0	0	93	93	1344307	1344307	0	100,00%	0,00%	4,70%	0,00%
Vichada	4	0	0	0	0	0	2511747	2511747	0	0	0	0	0	198	198	2511945	2511945	0	100,00%	0,00%	8,79%	0,00%
Total Puntos Analizados	1077	2016808	453191	266047	244683	399835	25115010	28495574	40006	1498	830	325	1482	31032	75161	28570735	28827990	257255	99,11%	0,89%	99,74%	0,26%
Promedio	33	61115	13733	8062	7415	12116	761061	863502	1212	45	25	10	45	940	2278	865780	873575	7796	96,34%	3,66%	3,02%	0,01%
Máximo	125	203467	187170	78679	65730	89045	2767323	2767323	9611	865	217	118	476	2890	9611	2767532	2767532	76923	100%	90,36%	9,69%	0,03%
Mínimo	1	0	0	0	0	0	0	1103	0	0	0	0	0	0	65	1274	1274	0	10%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 12 Disponibilidad de canales en Colombia

5.2 PROCESOS DE GESTIÓN DEL RIESGO PMBOK® (PMP®)

Conforme conl PMBOK® los procesos de gestión del riesgo son

- Planificación de la gestión de riesgos: En este proceso se resuelve cómo enfocar, planificar y ejecutar todas las actividades para la gestión de riesgos sistema para el objeto de análisis.
- Identificación de riesgos: Se establecelos riesgos que afectan el sistema y se describen las características.
- Análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos: Este proceso da prioridad a los riesgos, se valorala probabilidad de que ocurra y sucorrespondienteimpacto. Así mismo, se analiza matemáticamente el efecto que puede presentarlos riesgos.
- Planificación de la respuesta a los riesgos:Se establecen acciones para las mejoras, oportunidades,así como reducir las amenazasde riesgos.
- Seguimiento y control de riesgos: Se realiza la supervisión y seguimiento de los diferentes riesgos previamente identificados, se buscan nuevos riesgos y valórala efectividad del proyecto [80].

5.3 EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA PARA LA AGRUPACIÓN DE CANALES (CANNEL BONDING) DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DETERMINÍSTICO DE CANALES DISPONIBLES PARA EL TERRITORIO COLOMBIANO.

Para realizar la factibilidad tecnológica realizaremos una matriz de riesgos de acuerdo con la (PMBOK®), en la Tabla 13 se describe o se define cada uno de los riesgos que se pueden presentar, en estos riesgos se contempla en su gran mayoría las condiciones técnicas según el marco regulatorio colombiano.

IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	
CODIGO	DESCRIPCION
R.1	Los Dispositivos operan fuera del rango de frecuencias permitidas de 470 MHz y 698 MHz.
R.2	Falla en la geolocalización.
R.3	Perdida de conexión de internet en el terminal Maestro.
R.4	No realizar la petición a la base datos a través del maestro.
R.5	No se calcula la disponibilidad de canales
R.6	Cambio de lugar de las estaciones.
R.7	La potencia máxima permitida en las antenas supera los 12,6 dBm.
R.8	La ganancia máxima de la antena supera los 14dBm.
R.9	Las emisiones no deseadas superar los -42.8 dBm de potencia medidos en cualquier segmento de 100kHz.
R.10	La altura máxima de la antena supera los 50 m por encima del nivel del terreno.
R.11	Los puntos geográficos supera el promedio del terreno de 800 m.
R.12	Los terminales maestros no obtienen periódicamente la lista de canales libres para hacer uso del espectro
R.13	Operacion de canales en zonas prohibidas de Colombia.
R.14	Uso de canales prohibidos en Colombia
R.15	Interferencia por parte de un terminal de huecos espectrales que generen afectaciones en los servicio primario o secundarios.
R.16	No se cuentan con seguridad de la comunicación con la base de datos.
R.17	No se tiene ratificación de uso de canales.
R.18	No se cuenta con acceso a la base de datos.
R.19	No se cuenta con la posibilidad de realizar CB
R.20	No existe fluido eléctrico en las zonas de los terminales

Tabla 13 Identificación de Riesgos

En la Tabla 14 se observa la Matriz de riesgo donde se da un valor entero a cada uno de los riesgos anteriormente descritos y su mitigación según las condiciones técnica y regulatorias

Identificación Del Riesgo							Análisis			
N°	Código	Proceso	Descripción	Evento Adverso	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto	Evaluación	Mitigación
1	R.1	Factibilidad técnica de equipos a base de la regulación.	Los Dispositivos operan fuera del rango de frecuencias permitidas de 470 MHz y 698 MHz.	No cumpliría con los requerimientos y condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Los terminales estas configurados con rango de Operacion diferente a las permitida.	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.	5	2	10	Utilizar una plataforma de monitoreo que permita la verificación de frecuencias en operación.
2	R.2		Falla en la geolocalización.	No cumpliría con los requerimientos de operación para TVWS en Colombia.	Daños en la geolocalización integrado o ausencia de este.	No permite interactuar con la base de datos de huecos espectrales.	4	3	12	Utilizar una plataforma de monitoreo que permita la verificación de la geolocalización.
3	R.3		Perdida de conexión de internet en el terminal Maestro.	No cumpliría con los requerimientos de operación para TVWS en Colombia.	Fallas de conectividad en el servicio de internet en los terminales maestros.	No realizar las peticiones directamente a la base de datos de los huecos espectrales para hacer uso de los canales disponibles para replicárselos a los esclavos.	3	3	9	Se debe garantizar alta disponibilidad de internet en los terminales Maestro y utilizar una plataforma de monitoreo para la detención de enlaces de internet caídos o que presenten alarmas para cualquier tipo de error o disponibilidad.
4	R.4		No realizar la petición a la base datos a través del maestro.	No cumpliría con los requerimientos de operación para TVWS en Colombia.	Perdida de la dependencia del esclavo al maestro.	No realizar las peticiones directamente a la base de datos de los huecos espectrales para hacer uso de los canales disponibles para replicárselos a los esclavos.	3	3	9	Utilizar una Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de las peticiones realizadas y de respuesta.
5	R.5		No se calcula la disponibilidad de canales	No cumpliría con los requerimientos de operación para TVWS en Colombia.	Falla en el software administrado por la ANE.	No entrega esta lista de canales disponibles por petición de los terminales.	3	3	9	utilizar una plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de las peticiones realizadas y de respuesta.
6	R.6		Cambio de lugar de las estaciones.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Instalaciones de estaciones móviles	No se puede garantizar una conexión estable.	1	3	3	Se debe garantizar la ubicación de los terminales desde su diseño.

Identificación Del Riesgo							Análisis			
N°	Código	Proceso	Descripción	Evento Adverso	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto	Evaluación	Mitigación
7	R.7	Factibilidad técnica de equipos a base de la regulación.	La potencia máxima permitida en las antenas supera los 12,6 dBm.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	El software de los terminales no permite ajustar la potencia de las antenas.	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.	3	2	6	Plataforma de monitoreo que permita la verificación de potencias.
8	R.8		La ganancia máxima de la antena supera los 14dBm.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	El software de los terminales no permite ajustar automáticamente la potencia de las antenas.	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o para asignaciones futuras.	3	2	6	Plataforma de monitoreo que permita la verificación de ganancias de las antenas de los terminales en operación.
9	R.9		Las emisiones no deseadas superar los -42.8 dBm de potencia medidos en cualquier segmento de 100kHz.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	El software de los terminales no permite ajustar automáticamente la ganancia de las Atenas.	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.	3	2	6	Plataforma de monitoreo que permita la verificación de emisiones no deseadas.
10	R.10		La altura máxima de la antena supera los 50 m por encima del nivel del terreno.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Estación de la antena a una altura no permitida según límites en la regulación Colombiana.	No se puede garantizar una conexión estable.	1	2	2	Se debe garantizar desde los fabricantes que cumplan los parámetros de las antenas.
11	R.11		Los puntos geográficos supera el promedio del terreno de 800 m.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	El terreno no es apto para la instalación de los terminales	No se puede garantizar una conexión estable.	1	2	2	Se debe garantizar la ubicación geográfica de los terminales desde su diseño.
12	R.12		Los terminales maestros no obtienen periódicamente la lista de canales libres para hacer uso del espectro	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Los terminales maestros no solicitan la lista en 24 horas	No se puede hacer uso del espectro.	4	3	12	Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas con la información de los canales disponibles.
13	R.13		Operacion de canales en zonas prohibidas de Colombia.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Mal diseño de la red en la instalación de los terminales	Se interferencias a retribuciones existentes,	2	2	4	Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de los canales en uso y ubicación de cada canal.

Identificación Del Riesgo							Análisis			
N°	Código	Proceso	Descripción	Evento Adverso	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto	Evaluación	Mitigación
14	R.14	Factibilidad técnica de equipos a base de la regulación.	Uso de canales prohibidos en Colombia	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Los terminales no están configurados adecuadamente para restringir los canales.	Se presentarían interferencias de servicios de telecomunicaciones que operen en bandas contiguos	4	3	12	Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de los canales en uso.
15	R.15		Interferencia por parte de un terminal de huecos espectrales que generen afectaciones en los servicio primario o secundarios.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Falla técnica en los terminales	El cese de la transmisión de los terminales que estén generado interferencias.	4	4	16	Plataforma de monitoreo, que genere alertas de emergencia en el caso que se esté interfiriendo una frecuencia que estén utilizando servicios primarios o secundarios.
16	R.16		No se cuentan con seguridad de la comunicación con la base de datos.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Terceros modificaron la comunicación	Fallas en la comunicación	3	3	9	Los fabricantes deben asegurarse sistemas de cifrado y políticas de ingreso a los terminales.
17	R.17		No se tiene ratificación de uso de canales.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Los terminales maestros no informan a la base de datos los canales en la que están operando al igual que tampoco los canales de los que están operando los terminales esclavos.	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o para asignaciones futuras.	3	3	9	Solicitud de informes a los administradores de la base de datos la ratificación de los canales utilizados por los terminales.
18	R.18		No se cuenta con acceso a la base de datos.	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Mal funcionamiento del protocolo de PAWS.	No entrega esta lista de canales disponibles por petición de los terminales.	3	3	9	Plataforma de monitoreo, que genere alertas de no ingreso a la base de datos.
19	R.19		No se cuenta con la posibilidad de realizar CB	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Disponibilidad de 0 o 1 canal	No se puede aumentar el ancho de banda con la unión de menos de 2 canales.	3	2	6	Plataforma de monitoreo, que genere alerta cuando se tenga disponible menos de 2 canales.
20	R.20		No existe fluido eléctrico en las zonas de los terminales	No cumple con las condiciones técnicas para la operación de TVWS en Colombia.	Incumplimiento de los estándares eléctricos	Intermitencias o falla en los terminales maestro y esclavo.	4	4	16	Las instalaciones eléctricas deben cumplir RETIE (Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas).

Tabla 14 Matriz De Riesgo

Id	Riesgo	Impacto																Probabilidad de Ocurrencia						Análisis Probabilidad X Impacto	Efecto Del Riesgo	Mitigación			
		Falla Masiva				Servicio Totalmente Caído			Servicio Con Alguna Perdida De Sus Funcionalidades.			Alarma Sin Ninguna Afectación Del Servicio			Ninguno			Probabilidad De Impacto	Improbable	Remoto	Ocasional	Moderado	Frecuente				Promedio Evaluado		
		1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto		1	2	3	4	5						
R.1	Los Dispositivos operan fuera del rango de frecuencias permitidas de 470 MHz y 698 MHz.				4				4		2			1				1							5	5	12	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.	Utilizar una plataforma de monitoreo que permita la verificación de frecuencias en operación.
R.2	Falla en la geolocalización.				4				4			3		1				1							4	4	10,4	No permite interactuar con la base de datos de huecos espectrales.	Utilizar una plataforma de monitoreo que permita la verificación de la geolocalización.
R.3	Perdida de conexión de internet en el terminal Maestro.				4				4			3		1				1								3	7,8	No realizar las peticiones directamente a la base de datos de los huecos espectrales para hacer uso de los canales disponibles para replicárselos a los esclavos.	Se debe garantizar alta disponibilidad de internet en los terminales Maestro y utilizar una plataforma de monitoreo para la detención de enlaces de internet caídos o que presenten alarmas para cualquier tipo de error o disponibilidad.

Id	Riesgo	Impacto																Probabilidad de Ocurrencia						Análisis Probabilidad X Impacto	Efecto Del Riesgo	Mitigación					
		Falla Masiva				Servicio Totalmente Caído				Servicio Con Alguna Perdida De Sus Funcionalidades.				Alarma Sin Ninguna Afectación Del Servicio				Ninguno				Probabilidad De Impacto	Improbable				Remoto	Ocasional	Moderado	Frecuente	Promedio Evaluado
		1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto										
R.4	No realizar la petición a la base datos a través del maestro.				4				4			3		1				1				2,6				3		3	7,8	No realizar las peticiones directamente a la base de datos de los huecos espectrales para hacer uso de los canales disponibles para replicárselos a los esclavos.	Utilizar una Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de las peticiones realizadas y de respuesta.
R.5	No se calcula la disponibilidad de canales				4				4			3		1				1				2,6				3		3	7,8	No entrega esta lista de canales disponibles por petición de los terminales.	utilizar una plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de las peticiones realizadas y de respuesta.
R.6	Cambio de lugar de las estaciones.				4				4			3		1				1				2,6	1			1		2,6	No se puede garantizar una conexión estable.	Se debe garantizar la ubicación de los terminales desde su diseño.	
R.7	La potencia máxima permitida en las antenas supera los 12,6 dBm.				4				4		2			1				1				2,4				3		3	7,2	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.	Plataforma de monitoreo que permita la verificación de potencias.

Id	Riesgo	Impacto																Probabilidad de Ocurrencia					Análisis Probabilidad X Impacto	Efecto Del Riesgo	Mitigación						
		Falla Masiva				Servicio Totalmente Caído				Servicio Con Alguna Pérdida De Sus Funcionalidades.				Alarma Sin Ninguna Afectación Del Servicio				Ninguno				Probabilidad De Impacto				Improbable	Remoto	Ocasional	Moderado	Frecuente	Promedio Evaluado
		1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto										
R.8	La ganancia máxima de la antena supera los 14dBm.				4				4			2				1				1				2,4				3	7,2	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o para asignaciones futuras.	Plataforma de monitoreo que permita la verificación de ganancias de las antenas de los terminales en operación.
R.9	Las emisiones no deseadas superar los -42.8 dBm de potencia medidos en cualquier segmento de 100kHz.				4				4			2				1				1				2,4				3	7,2	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o asignaciones futuras.	Plataforma de monitoreo que permita la verificación de emisiones no deseadas.
R.10	La altura máxima de la antena supera los 50 m por encima del nivel del terreno.				4				4	1						1				1				2,2	1			1	2,2	No se puede garantizar una conexión estable.	Se debe garantizar desde los fabricantes que cumplan los parámetros de las antenas.
R.11	Los puntos geográficos supera el promedio del terreno de 800 m.				4				4	1						1				1				2,2	1			1	2,2	No se puede garantizar una conexión estable.	Se debe garantizar la ubicación geográfica de los terminales desde su diseño.

Id	Riesgo	Impacto																Probabilidad de Ocurrencia						Análisis Probabilidad X Impacto	Efecto Del Riesgo	Mitigación							
		Falla Masiva				Servicio Totalmente Caído				Servicio Con Alguna Pérdida De Sus Funcionalidades.				Alarma Sin Ninguna Afectación Del Servicio				Ninguno				Probabilidad De Impacto	Improbable				Remoto	Ocasional	Moderado	Frecuente	Promedio Evaluado		
		1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1	2	3	4											5	
R.12	Los terminales maestros no obtienen periódicamente la lista de canales libres para hacer uso del espectro				4				4				4				3			1				3,2					4	4	12,8	No se puede hacer uso del espectro.	Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas con la información de los canales disponibles.
R.13	Operacion de canales en zonas prohibidas de Colombia.				4	1				1				1					1					1,6		2				2	3,2	Se interferencias a retribuciones existentes,	Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de los canales en uso y ubicación de cada canal.
R.14	Uso de canales prohibidos en Colombia				4				4				4			4	1						3,4					4	4	13,6	Se presentarían interferencias de servicios de telecomunicacion es que operen en bandas contiguos	Plataforma de monitoreo, que permita un informe cada 24 horas de los canales en uso.	
R.15	Interferencia por parte de un terminal de huecos espectrales que generen afectaciones en los servicio primario o secundarios.				4				4				4			4			3				3,8					4	4	15,2	El cese de la transmisión de los terminales que estén generado interferencias.	Plataforma de monitoreo, que genere alertas de emergencia en el caso que se esté interfiriendo una frecuencia que estén utilizando servicios primarios o secundarios.	

Id	Riesgo	Impacto																Probabilidad de Ocurrencia						Análisis Probabilidad X Impacto	Efecto Del Riesgo	Mitigación					
		Falla Masiva				Servicio Totalmente Caído				Servicio Con Alguna Pérdida De Sus Funcionalidades.				Alarma Sin Ninguna Afectación Del Servicio				Ninguno				Probabilidad De Impacto	Improbable				Remoto	Ocasional	Moderado	Frecuente	Promedio Evaluado
		1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	1. Muy Bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto										
R.16	No se cuentan con seguridad de la comunicación con la base de datos.				4				4				3				3				3				3		3	10,2	Fallas en la comunicación	Los fabricantes deben asegurarse sistemas de cifrado y políticas de ingreso a los terminales.	
R.17	No se tiene ratificación de uso de canales.				4				4				3				3				3				3		3	10,2	Interferencias en los servicios primarios o secundarios asignados o para asignaciones futuras.	Solicitud de informes a los administradores de la base de datos la ratificación de los canales utilizados por los terminales.	
R.18	No se cuenta con acceso a la base de datos.				4				4				3			2			1						3		3	8,4	No entrega esta lista de canales disponibles por petición de los terminales.	Plataforma de monitoreo, que genere alertas de no ingreso a la base de datos.	
R.19	No se cuenta con la posibilidad de realizar CB				4				4	1					1			1							3		3	6,6	No se puede aumentar el ancho de banda con la unión de menos de 2 canales.	Plataforma de monitoreo, que genere alerta cuando se tenga disponible menos de 2 canales.	
R.20	No existe fluido eléctrico en las zonas de los terminales				4				4				4					4								4		4	16	Intermitencias o falla en los terminales maestro y esclavo.	Las instalaciones eléctricas deben cumplir RETIE (Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas).

Tabla 15 Valorización De La Matriz De Riesgo

Se realiza una valoración de la matriz de riesgo como se observa en la Tabla 15 y se tuvieron en cuenta las escalas de valorización de la Tabla 16.

Escalas					
	Frecuencia	Probabilidad		Riesgo	Escala
5	Frecuente	24 horas	5	Catastrófico	Falla Masiva
4	Moderado	48 horas	4	Alto	Servicio totalmente caído
3	Ocasional	72 horas	3	Medio	Servicio con alguna perdida de sus funcionalidades.
2	Remoto	96 horas	2	Baja	Alarma sin ninguna afectación del servicio
1	Improbable	120 horas	1	Insignificante	Ninguno

Tabla 16 Escalas De Valorización

En la Ilustración 7 unificamos los riesgos a través de un mapa de calor para validar su importancia para su mitigación.

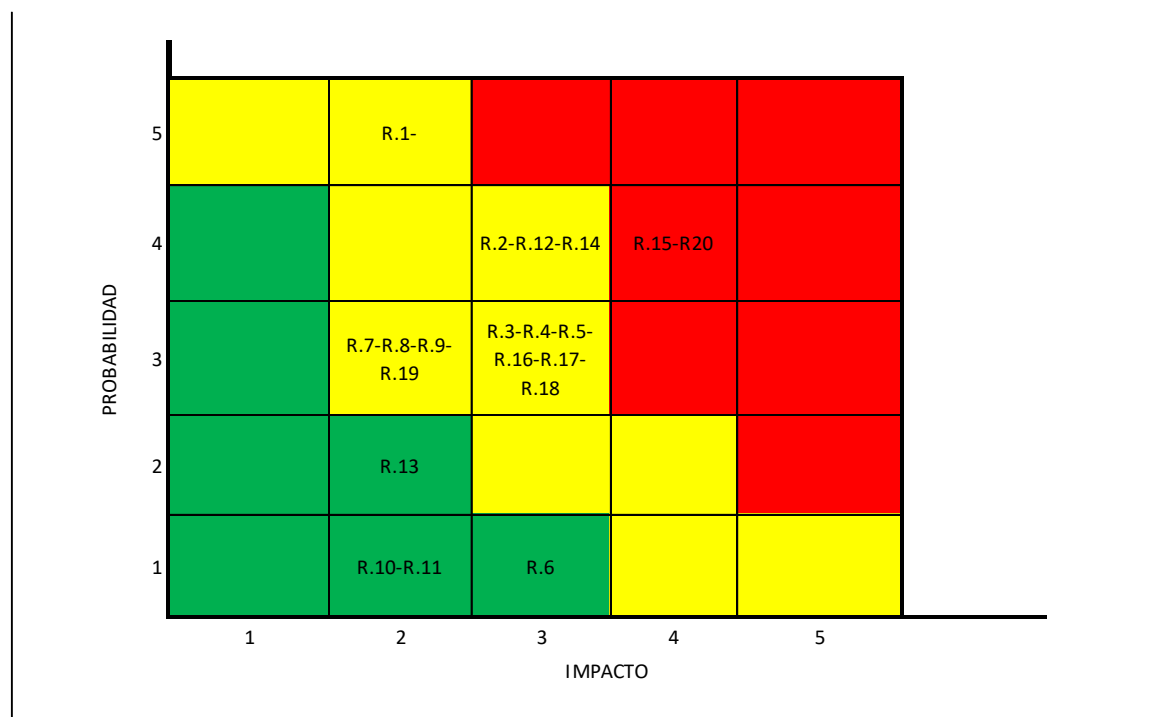


Ilustración 7 Mapa De Calor

Fuente: Imagen Propia

En la Tabla 17 se observa los rangos en el que se clasifican los riesgos según su valoración y en la Ilustración 8 se observa gráficamente los riesgos según su valorización.

Clasificación De Riesgos	
Riesgo	valor
Bajo	0 & < 7
Medio	>=7 & <10
Alto	10

Tabla 17 Clasificación De Riesgos

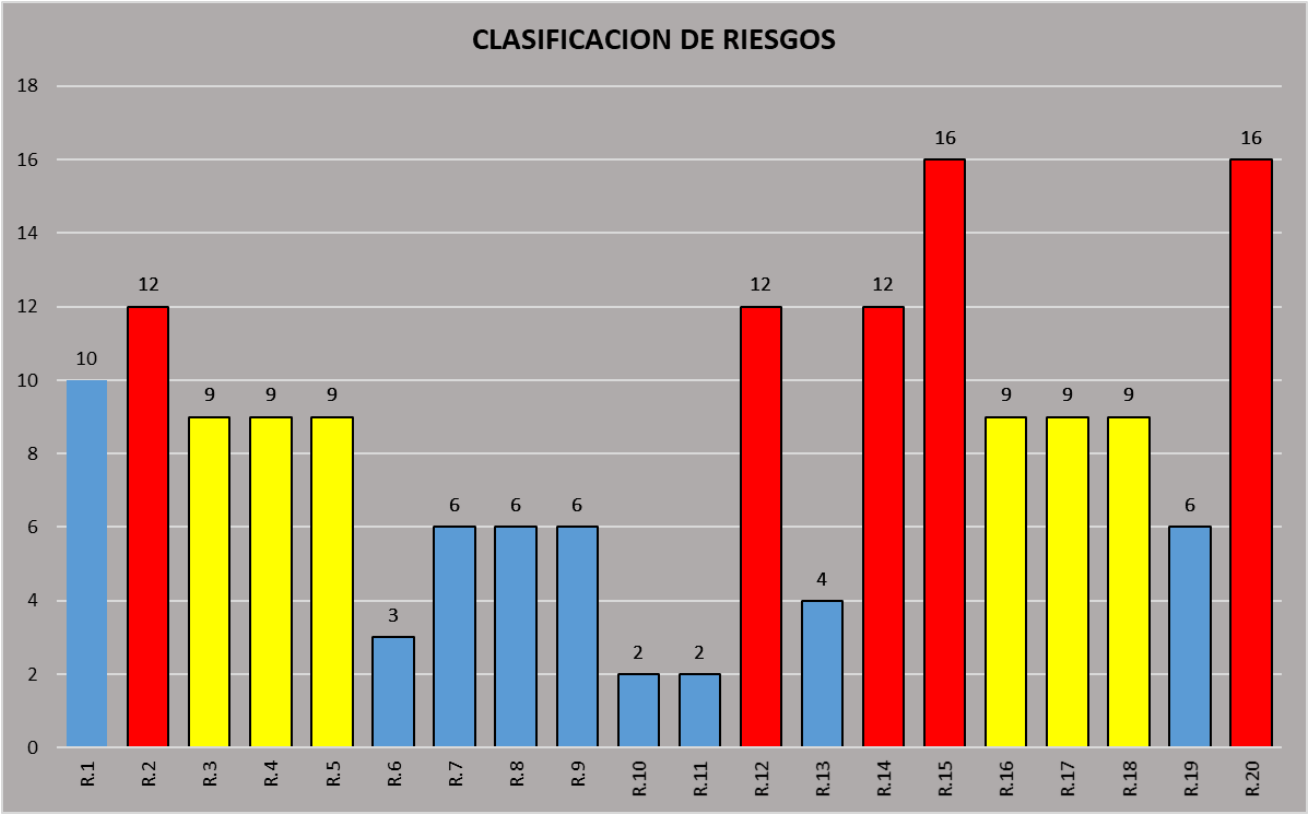


Ilustración 8 Clasificación De Riesgos

Fuente: Imagen Propia

6 CONCLUSIONES

- Se pudo evidenciar que dentro del marco regulatorio colombiano se encuentra la descripción total de las especificaciones técnicas y administrativas para el uso de TVWS que comprenden las frecuencias entre los 470MHz y 698MHz y que de esta manera pueda ser utilizado para llevar internet de calidad a sitios de difícil acceso y no exista interferencia para con los servicios primarios de televisión operados en el ancho de banda de 6MHz. A su vez se pudo constatar que en los países investigados también cuentan con la regulación para el uso de TVWS en el caso de Estados Unidos y Canadá operan en un ancho de banda de 6MHz y para Reino Unido opera en 8MHz.
- Una vez analizados los datos encontrados, se pudo determinar que Colombia tiene una cantidad de canales lo suficiente para realizar channel bonding con más de 4 Canales disponibles, los cuales permitirían el aumento de anchos de banda según cambios de regulación para el ancho de banda en internet que actualmente se encuentra en 25 Mbps.
- Como resultado de la factibilidad técnica y regulatoria, los fabricantes de terminales para huecos espectrales cumplen con los marcos regulatorio, sin embargo, la serie el RDL-3000 no tiene información sobre channel bonding; pero si cumple con el ancho de banda según la regulación colombiana.
- Colombia tiene 28.570.735 canales habilitados para realizar Channel Bonding, entre 2 ,3 y 4 Canales libres y disponibles para las regiones de difícil acceso del país, esto permitiría el aumento de anchos de banda.
- Se recomienda realizar una investigación acerca de la existencia de plataformas de monitoreo para los sistemas TVWS con el fin de tener un mayor control de los sistemas y así poder identificar cuando algún dispositivo se encuentre caído ya sean fallas fortuitas de fluido eléctrico o caídas entre dispositivos maestro - esclavo teniendo en cuenta la plataforma de monitoreo como plan de mitigación para que los servicios primarios no se vean afectados de acuerdo con la asignación de canales.

7 REFERENCIAS

- [1] J. J. Flores-Cueto, R. M. Hernández y R. Garay-Argandoña, «Tecnologías de información: Acceso a internet y brecha digital en Perú,» *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 25, nº 90, 2020.
- [2] Wenjie Zhang, Jingmin Yang, Guanglin, Zhang, Liwei Yang y Chai Kiat Yeo, «TV white space and its applications in future wireless networks and communications: a survey,» *IET Communications*, 2018.
- [3] A. A. Lysko, C. R. Burger, A. A. Lysko y E. Hagopian, «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)*, 2019.
- [4] Mustapha, MalaU.M.Bakura, D.Mustapha y M.Abbagana, «A REVIEW OF TV WHITE SPACE TECHNOLOGY AND ITS DEPLOYMENTSINAFRICA,» *ARID ZONE JOURNAL OF ENGINEERING,TECHNOLOGY & ENVIRONMENT*, vol. 15, nº 3, pp. 573-585, 2019.
- [5] O. P. Diogo, J. A. Rocha, P. V. G. Castellanos y T. N. Ferreira, «Perspective of the use of TV White Space in Brazil,» *SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, 2021.
- [6] D. F. Aragón Rojas, L. E. Gómez García, G. M. Rivera Ortiz y W. A. Cuevas Carrero, «ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA DE TVWS EN COLOMBIA Y COMPARACIÓN CON EL MUNDO,» *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, nº 34, 2019.
- [7] E. C. D. COLOMBIA, «LEY 1341 DE 2009,» 2019.

- [8] MINTIC, «BOLETÍN TRIMESTRAL DE LAS TIC CIFRAS SEGUNDO TRIMESTRE DE 2019,» 2019.
- [9] J. P. Blázquez, «Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos,» 2015.
- [10] J. Álvarez Jiménez, «Estudio del impacto de un mercado secundario del Espectro Electromagnético en Colombia bajo el aspecto técnico y de las medidas regulatorias,» 2015.
- [11] A. Castro Lechtaler, A. Arroyo Arzubi, F. B. Carmona, A. R. Foti, A. E. Riba, R. M. Olivieri, G. K. Grin y F. Vera Batista, «Tecnologías de comunicaciones para zonas con poca Densidad Poblacional,» *Red de Universidades con Carreras en Informática*, 2019.
- [12] MINTIC, «Plan Vive Digital Colombia 201-2018,» 2014.
- [13] Plan Vive Digital Colombia 201-2018, «TV White Spaces Project: internet en zonas rurales,» 8 septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://news.microsoft.com/es-xl/tv-white-spaces-project-internet-en-zonas-rurales/>.
- [14] M. Oliver y F. Salas, «Where are the TV White Space pilots? Are they still a solution for the mobile broadband market?,» Cartagena, Colombia, 2017.
- [15] Z. Khan, J. Lehtomäki, S. Scott, Z. Han, M. Krunz y A. Marshall, «Distributed and Coordinated Spectrum Access,» *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 29 mayo 2017.
- [16] CRC, «RESOLUCIÓN No. 5161 de 2017,» 2017.
- [17] F. M. d. P. d. I. Telecomunicaciones/TIC, «Banda ancha,» Ginebra, Suiza, 2013.
- [18] R. E. G. a. E. W. K. Adriana B. Flores, «IEEE 802.11af: A Standard for TV White Space Spectrum Sharing,» *IEEE Communications Magazine*, 2013.

- [19] ANE, «TV WHITE SPACES DATABASE GUIDELINES COLOMBIA.,» 2019.
- [20] ANE, «RESOLUCIÓN 105 DE 27 DE MARZO DE 2020».
- [21] ANE, «RESOLUCION N° 000181 DE 30 DE ABRIL 2019,» 2019.
- [22] ANE, «RESOLUCIÓN 461 DE 01 DE AGOSTO DE 2017,» 2017.
- [23] S. A. D. Molina, D. F. P. Peña, M. E. Buitrago, Á. T. Z. Ortiz, D. P. R. Mendoza, D. C. Dueñas, J. A. R. Restrepo, M. E. Buitrago, M. R. P. Cerquera y Doris Patricia Reinales Mendoza; Montenegro N.; Ca, «El reino digital. Transformaciones y aplicaciones multidisciplinarias.,» *Ediciones USTA*, 2019.
- [24] L. L. B. CAMERO, «HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS DE LAS POSIBLES INTERFERENCIAS DE LOS DISPOSITIVOS DE HUECOS ESPECTRALES EN TELEVISIÓN,» *UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS*, 2018.
- [25] H. HARADA, «White Space Communication Systems: An Overview of Regulation, Standardization and Trial,» *IEICE Transactions on Communications*, 2014.
- [26] FCC, «FCC 10-174,» 2010.
- [27] X. Z. O. H. M. D. J.-M. C. Y. G. a. P. C. Qianyun Zhang, «TV White Space Network Provisioning with Directional and Omni-Directional Terminal Antennas,» *IEEE*, Montreal, QC, Canadá, 2016.
- [28] OFCOM, «The Wireless Telegraphy (White Space Devices) (Exemption),» 2015.
- [29] G. o. Canada, «White space,» 2017. [En línea]. Available: https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/eng/h_sf10498.html. [Último acceso: 5 2020].
- [30] G. o. Canada, «White Space Database Specifications DBS-01,» 2020.

- [31] G. o. Canada, «White Space Devices (WSDs),» *Spectrum Management and Telecommunications Radio Standards Specification*, 2020.
- [32] E. Cadena Muñoz, H. J. Eslava Blanco y J. A. Franco Calderón, «Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia,» *Tecnura*, 2015.
- [33] Colombia, «constitución política,» *TITULO I, Artículo 75*, 1991.
- [34] A. Khattab y M. A. Bayoumi, «An overview of IEEE standardization efforts for cognitive radio networks,» *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2015.
- [35] M. Enes Bayrakdar, «Priority based health data monitoring with IEEE 802.11af technology in wireless medical sensor networks,» *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2019.
- [36] K. Mizutani, K. Ishizu, T. Matsumura, H. Nguyen Tran, H. Sawada, H. Murakami, F. Kojima y H. Harada, «IEEE 802.11af Indoor Experiment in UK Ofcom TVWS Trial Pilot Program,» *IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2015.
- [37] A. Montejo, A. Bañacia, H. Sawada, K. Ishizu, K. Ibuka y F. Kojima, «Implementation of a Multi-hop Network at the University Campus Using an IEEE 802.11afcompliant Network,» *2017 20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 2017.
- [38] W. D. Urbano Vargas, «Modelos de pruebas para análisis de desempeño de sistemas de comunicaciones basados en tecnología TVWS (Television White Space) a implementarse en redes comunitarias,» 2020.
- [39] C. J. SABOGAL URIBE y P. P. HERNANDEZ TRASLAVIÑA, «MODELO DE COMUNICACIÓN EN EQUIPOS DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE PARA EL USO DE ESPACIOS EN BLANCO EN LA BANDA DE TV DIGITAL,» BOGOTA D.C, 2019.

- [40] G. M. RONCANCIO QUINTANA, «SISTEMA COGNITIVO DE PETICIÓN DE CANALES DISPONIBLES EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE 470MHz A 698 MHz PARA EL DESPLIEGUE DE IOT».
- [41] Muhammad Waqas Khan, Muhammad Zeeshan y Kashif Shahzad, *IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, 2018.
- [42] Y. P. Mickhayluck, V. M. Iskiv, V. Golovin, A. A. Schekaturin, I. L. Afonin y Y. B. Gimpilevich, «Study of the possibility of using the communication system with IEEE 802.22 for remote control of an unmanned vessel,» *IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS)*, 2017.
- [43] A. Arteaga, S. Céspedes y C. A. Azurdia-Meza, «Toward the Coexistence of Cognitive Networks for Vehicular Communications on TVWS for IEEE Std. 802.22,» *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, vol. 8, 2022.
- [44] R. OUYANG y K. MIZUTANI, «Channel Measurement and Modeling Prototype for IEEE 802.22-Based Regional Area Networks,» *IEEE Access*, 2021.
- [45] I. J. A. Castro del Portillo, I. L. Perdomo Gutiérrez, M. I. Lavandera Hernández y M. J. J. Morales, «IEEE 802.22, SUPER WI-FI,» *Revista Telemática*, vol. 16, nº 1, 2017.
- [46] G. R. FUEL ERIQUE, «PROPUESTA DE DISEÑO PARA BRINDAR SERVICIOS DE INTERNET EN LOS ESPACIOS BLANCOS DE TELEVISIÓN EN EL CANTÓN CAYAMBE.,» 2020.
- [47] K. Pahlavan y P. Krishnamurthy, «Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective,» *International Journal of Wireless Information Networks*, 2021.
- [48] M. Can Macit, H. Şenol y S. Erküçük, «Performance investigation of IEEE 802.11af systems under realistic channel conditions,» *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2015.

- [49] M. Başaran, M. Can Maci, H. Şenol y S. Erküçük, «Realistic Channel Estimation of IEEE 802.11af Systems in TV White Space.,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2020.
- [50] K. I. H. M. K. I. a. F. K. Takeshi Matsumura, «Implementation and Performance Evaluation of IEEE 802.11af Channel Aggregation,» *IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, 2019.
- [51] S. L. O. Gamage, «FUTURE COGNITIVE NETWORK ARCHITECTURE WITH DETERMINISTIC RESOURCE ALLOCATION TECHNIQUES,» School of Electrical Engineering and Computing The University of Newcastle, 2019.
- [52] adaptrum, «adaptrum,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.adaptrum.com/>.
- [53] A. Inc, «Adaptrum ACRS2-B1000,» 2017.
- [54] A. Inc, «Adaptrum ACRS2-B2000,» 2017.
- [55] A. Inc, «Adaptrum ACRS2.0,» 2017.
- [56] R. |. R. Communications, «<https://rdlcom.com>,» 2022. [En línea]. [Último acceso: 2022].
- [57] R. C. Inc., «RDL-3000 XP Edge,» 2022.
- [58] R. C. Inc., «RDL-3000 XP ELLIPSE,» 2022.
- [59] R. C. Inc., «RDL-3000-XP-Elte-MT,» 2022.
- [60] R. Ltda, «You won't belive it's wireless,» 2018.
- [61] RADWIN, «About RADWIN,» [En línea]. Available: <https://www.radwin.com/about/>. [Último acceso: 2022].

- [62] R. Ltd, «RADWIN Outland™,» 2021.
- [63] W. Fischer, Digital Video and Audio Broadcasting Technology,, 2020, p. 687–714.
- [64] A. A. Grela y J. E. Monzón, «Data Transfer Rates in HFC Networks,» *IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*, 2020.
- [65] R. D. NAVARRO CASTRO, «IMPLEMENTACIÓN DE ESTÁNDAR DOCSIS PARA MEJORAR LA INFRAESTRUCTURA DE RED HFC EN HEADEND DE EMPRESA AIRONGROUP,» 2021.
- [66] J. A. Macias Zambrano y L. A. Vaca Cárdenas, «Nuevas tendencias de DOCSIS en Ecuador,» *REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS TELECOMUNICACIONES*, vol. 5, nº 2, pp. 149-161, 2021.
- [67] E. B. Carlos Ernesto, «Evaluación de sistemas terminales de cable módems ARRIS E6000,» 2019.
- [68] L. J. BALLON PALOMINO, «PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA EL MEJORAMIENTO DE ACCESO A LA BANDA ANCHA FIJA EN LA URBANIZACION LOS CEDROS DE VILLACHORRILLOS-LIMA SUR, 2019”,» 2019.
- [69] T. KUSUNOKI, T. KURAKAKE, K. OTSUKI y K. SAITO, «Improvement of 4K/8K multi-channel IP multicast using DOCSIS over in-building coaxial cable network,» *Conferencia internacional IEEE sobre electrónica de consumo (ICCE) de 2019*, 2019.
- [70] T. T. Nguyen, B. Berscheid, H. H. Nguyen y J. E. Salt, «A Novel Iterative OFDMA Channel Estimation Technique for DOCSIS 3.1 Uplink Channels,» *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2017.

- [71] M. B. Ghorbel, B. Berscheid, E. Bedeer, M. J. Hossain, C. Howlett y J. Cheng, «Principal Component-Based Approach for Profile Optimization Algorithms in DOCSIS 3.1,» *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2018.
- [72] J. Wang, Z. Jia, L. A. Campos, L. Cheng, C. Knittle y G.-K. Chang, «Delta-Sigma Digitization and Optical Coherent Transmission of DOCSIS 3.1 Signals in Hybrid Fiber Coax Networks,» *Journal of Lightwave Technology*, 2018.
- [73] J. Schnitzer, P. Prahlanan, P. Rahimzadeh, C. Humble, J. Lee, J. Lee, K. Lee y S. Ha, «Toward Programmable DOCSIS 4.0 Networks: Adaptive Modulation in OFDM Channels,» *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2021.
- [74] A. Navarro, L. Vargas, D. Guevara, D. Parada, C. Amu y C. G. Rego, *2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2022.
- [75] Y. Barahona Sepúlveda, «DISEÑO DE UN NODO TECNOLÓGICO PARA PROVEER LA CONECTIVIDAD DE ULTIMA MILLA EN ZONAS RURALES AISLADAS DEL DISTRITO DE BUENAVENTURA.,» 2019.
- [76] D. E. C. TIGRE, «“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE QUESILLO Y REQUESÓN COMO INSUMOS EN LA INDUSTRIA PANIFICADORA DE LA CIUDAD DE CUENCA. CASO: FABRICA SAN JOSÉ DE ZHIDMAD”,» 2016.
- [77] W. F. GUEVARA MONRROY, F. R. MELO GARCÍA y F. J. BERNAL GARCÍA, «PLATAFORMAS VIRTUALES DE APRENDIZAJE COMO SOPORTE AL PROCESO FORMATIVO PARA LA MEDIA VOCACIONAL EN LOS COLEGIOS OFICIALES,» BOGOTÁ, 2021.
- [78] UIT, «Recomendación UIT-R P.1546-6,» *UIT*, 2019.

- [79] G. Macias Muñoz, A. T. Zona Ortiz, M. Espinosa Buitrago, J. A. Cardozo, F. E. Bravo Patiño, A. C. Triviño Moreno, L. F. Navas Pineda, J. S. Ayala Zambrano y M. M. Espitia Falla, «DISPONIBLES TVWS COLOMBIA (Método 2 - BDEB de la ANE),» 2021.
- [80] I. e. Project Management Institute, La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) / Project Management Institute., 2017.
- [81] J. D. Villares Pazmiño, M. P. Acurio Acurio y C. J. Soto Valle, «La seguridad informática y su impacto en las conexiones de estándar IEEE 802.11,» *PRO SCIENCES: REVISTA DE PRODUCCIÓN, CIENCIAS E INVESTIGACIÓN*, vol. 1, nº 4, pp. 3-6, 2017.

7.1 FIGURAS

Ilustración 1 Arquitectura del estándar IEEE 802.11af	26
Ilustración 2 Protocolo PAWS	27
Ilustración 3 Modos Contiguos	30
Ilustración 4 Modos no contiguos	30
Ilustración 5 Zonas Rurales	51
Ilustración 6 Zonas Cabeceras Urbanas	51
Ilustración 7 Mapa De Calor	64
Ilustración 8 Clasificación De Riesgos	65

7.2 TABLAS

Tabla 1 Canales disponibles para TVWS.....	15
Tabla 2 Resumen de las frecuencias donde pueden operar los terminales de huecos espectrales	24
Tabla 3 Tipo de Terminal	39
Tabla 4 Especificaciones de Radiofrecuencia por fabricante	42
Tabla 5 Performance	43
Tabla 6 Potencias para terminales.....	44
Tabla 7 Interfaces	45
Tabla 8 Chasis.....	46
Tabla 9 Ambiente.....	46
Tabla 10 Zonas urbanas prohibidas.....	48
Tabla 11 Listado de departamento a analizar	50
Tabla 12 Disponibilidad de canales en Colombia.....	53
Tabla 13 Identificación de Riesgos	55
Tabla 14 Matriz De Riesgo.....	58
Tabla 15 Valorización De La Matriz De Riego.....	63
Tabla 16 Escalas De Valorización.....	64
Tabla 17 Clasificación De Riesgos.....	65

7.3 ANEXOS

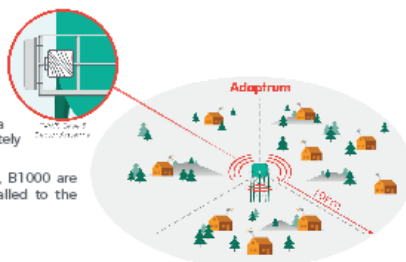
ANEXO A. DATA SHEET ACRS2-B1000

DATA SHEET

360° Point-to-Multipoint TVWS Network

Supporting non-line-of-site links out to a distance of 6mi (10km), when deployed in a typical 3-sector configuration, a site using B1000 radios can cover a 360° area of approximately 120mi² (300km²)

To complete the fixed wireless point-to-multipoint network, B1000 are deployed along with ACRS2.0 client radios, which are installed to the exterior of homes and other subscriber end-points.



B1000 Technical Specifications

Performance

Max Data Rate (PHY):
26.7Mbps/6MHz; 37.3Mbps/8MHz; 46.7Mbps/10MHz

Delivered Throughput (IP):
13Mbps/6MHz; 20Mbps/8MHz; 24Mbps/10MHz

Bandwidth Efficiency: 94%

Latency: 15ms typical

Radio

Frequency Range: 400MHz - 1GHz (restricted by country)

Channel Bandwidth: 6/7/8MHz channel plans, supporting channel expansion to 10MHz for 6MHz channel plans

Modulation: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

Max Conducted Power: 600mW (28dBm)

Adjacent Channel Emission: < -55dBc

Sensitivity (by channel size):

SNR	6MHz Ch.		8MHz Ch.		Modulation
	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	
(dB)					
3.5	-98.0	4.0	-96.75	5.6	QPSK 1/2
11.5	-90.0	10.6	-88.75	14.8	16QAM 2/3
21.5	-80.0	20.0	-78.75	28	64QAM 5/6
29.0	-72.5	26.7	-71.25	37.3	256QAM 5/6

Features

Agile Sense Channel Scan: Active scan monitors & logs on-going RF conditions across channels (no service impact)

Adaptive Resource Ratio: Dynamic auto-optimized down/up resource allocation

Auto Geo-Location: Integrated high sensitivity GNSS receiver with 3 system concurrent reception

Power

Max Power Consumption: 30W

System Power: Passive PoE 48V DC (110V/240V PoE Injector included optionally)

System Interfaces

External Antenna: N-Type Female

Data/Control/Power: 10/100 Ethernet

Management: Adaptrum HTTPS HTML5 based Web GUI & NMS, SNMPv3 Remote Monitoring

External Antenna Options

Log-Periodic: Vertically polarized 65°, 11dBi

Panel Antenna: Vertically polarized 90°, 11dBi

Physical

Size: 12in x 10.5in x 3.5i (310mm x 270mm x 85mm)

Weight: 10lbs (4.5kg)

Enclosure Characteristics: Weatherproof sealed aluminum

Mounting: Wall & pole mounting bracket included

Environmental

Operating Temperature: -40°C to 50°C (-40°F to 122°F)

Operating Humidity: 5% to 100%

Regulatory & Compliance

Approvals: FCC, Pending ETSI, IDA

About Adaptrum

Driving both technical and regulatory innovations, Adaptrum has pioneered the use of previously underutilized TV White Space spectrum. Founded by leading experts in wireless communications, our creative and experienced team is committed to fundamentally changing the wireless industry and enabling universally affordable broadband.

Adaptrum

©2017 Adaptrum Inc

☎ 408.850.9996 🌐 www.adaptrum.com

✉ sales@adaptrum.com

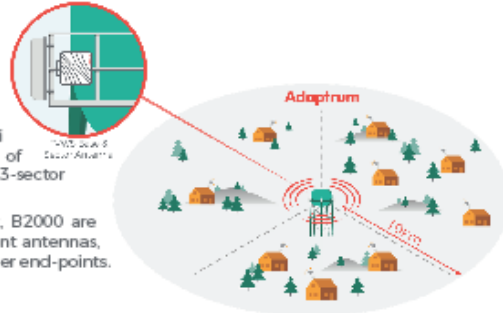
ANEXÓ B. DATA SHEET ACRS2-B2000

DATA SHEET

360° Point-to-Multipoint TVWS Network

Supporting non-line-of-sight links out to a distance of 6mi (10km), a site using B2000 radios can cover a 360° area of approximately 120mi² (300km²) when deployed in a typical 3-sector configuration.

To complete the fixed wireless point-to-multipoint network, B2000 are deployed along with ACRS2 client radios and directional client antennas, which are installed to the exterior of homes and other subscriber end-points.



B2000 Technical Specifications

Performance

Max Data Rate (PHY):
46Mbps/2x6MHz; 65Mbps/2x8MHz; 81Mbps/2x10MHz

Delivered Throughput (IP):
23Mbps/2x6MHz; 34Mbps/2x8MHz; 42Mbps/2x10MHz

Bandwidth Efficiency: 94%

Latency: 15ms typical

Radio

Frequency Range: 400MHz - 1GHz (restricted by country)

Channel Bandwidth: 6/7/8MHz channel plans, supporting dual channel expansion to 10MHz for 6MHz channel plan

Modulation: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

Max Conducted Power: 200mW (23dBm)

Adjacent Channel Emission: < -55dBc

Sensitivity (by channel size):

SNR (dB)	1x6MHz Ch.		1x8MHz Ch.		Modulation
	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	
3.5	-98.0	4.0	-96.75	5.6	QPSK 1/2
11.5	-90.0	10.6	-88.75	14.8	16QAM 2/3
21.5	-80.0	20.0	-78.75	28	64QAM 5/6
29.0	-72.5	26.7	-71.25	37.3	256QAM 5/6

Features

Agile Sense Channel Scan: Active scan monitors & logs on-going RF conditions across channels (no service impact)

Adaptive Resource Ratio: Dynamic auto-optimized down/up resource allocation

Auto Geo-Location: Integrated high sensitivity GNSS receiver with 3 system concurrent reception

Power

Max Power Consumption: 42W

System Power: Passive PoE 48V DC (110V/240V PoE Injector included optionally)

System Interfaces

External Antenna: N-Type Female

Data/Control/Power: 10/100 Ethernet

Database Access: PAWS (IETF RFC 7545)

Management: Adaptrum browser-based GUI & NMS, SNMP Remote Monitoring

External Antenna Options

Log-Periodic: Vertically polarized 65°, 11dBi

Panel Antenna: Vertically polarized 90°, 11dBi

Physical

Size: 1.2in x 10.5in x 3.5in (31.0mm x 270mm x 85mm)

Weight: 6.1lbs (2.8kg)

Enclosure Characteristics: Weatherproof sealed aluminum

Mounting: Wall & pole mounting bracket included

Environmental

Operating Temperature: -40°C to 50°C (-40°F to 122°F)

Operating Humidity: 5% to 100%

Regulatory & Compliance

Approvals: Pending FCC, ETSI, & iDA

About Adaptrum

Driving both technical and regulatory innovations, Adaptrum has pioneered the use of previously underutilized TV White Space spectrum. Founded by leading experts in wireless communications, our creative and experienced team is committed to fundamentally changing the wireless industry and enabling universally affordable broadband.

Adaptrum

©2018 Adaptrum Inc

☎ 408.850.9996 🌐 www.adaptrum.com

✉ sales@adaptrum.com

ANEXÓ C. DATA SHEET ACRS2.0

DATA SHEET



360° Point-to-Multipoint TVWS Network

ACRS2.0 client radios are typically deployed as part of a point-to-multipoint TV White Space fixed wireless network. Utilizing directional antennas, clients are oriented to point back towards an elevated base station site typically comprised of 3 sectorized TVWS base station radios.

Supporting non-line-of-sight links, clients can be deployed out to a distance of 6mi (10km) and in any direction from the base station site.

ACRS2.0 Client Technical Specifications

Performance

Max Data Rate (PHY):
26.7Mbps/6MHz; 37.3Mbps/8MHz; 46.7Mbps/10MHz

Delivered Throughput (IP):
13Mbps/6MHz; 20Mbps/8MHz; 24Mbps/10MHz

Bandwidth Efficiency: 94%

Latency: 15ms typical

Radio

Frequency Range: 400MHz - 1GHz (restricted by country)

Channel Bandwidth: 6/7/8MHz channel plans, supporting channel expansion to 10MHz for 6MHz channel plans

Modulation: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

Max Conducted Power: 100mW (20dBm)

Adjacent Channel Emission: < -55dBc

Sensitivity (by channel size):

SNR (dB)	6MHz Ch.		8MHz Ch.		Modulation
	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	
3.5	-98	4.0	-96.75	5.6	QPSK 1/2
11.5	-90	10.6	-88.75	14.8	16QAM 2/3
21.5	-80	20.0	-78.75	28	64QAM 5/6
29.0	-72.5	26.7	-71.25	37.3	256QAM 5/6

Features

Agile Sense Channel Scan: Active scan monitors & logs on-going RF conditions across channels (no service impact)

Power

Max Power Consumption: 20W

Power Supply included: Passive POE injector,
110/220V AC input, 48V DC output

System Interfaces

External Antenna: TNC Female

Data/Control: 10/100 Ethernet

Database Access: PAWS (IETF RFC 7545)

Management: Adaptrum browser-based GUI & NMS,
SNMP Remote Monitoring

External Antenna Options

Log-Periodic: Vertically polarized 65°, 11dBi

Panel Antenna: Vertically polarized 90°, 7dBi

Physical

Size: 8.5in x 7.5in x 1.5in (216mm x 191mm x 38mm)

Weight: 3.6lbs (1.6kg)

Enclosure Characteristics: Weatherproof sealed aluminum

Mounting: Wall & pole mounting bracket included

Environmental

Operating Temperature: -40°C to 50°C (-40°F to 122°F)

Operating Humidity: 5% to 100%

Regulatory & Compliance

Approvals: FCC Part 15 Subpart H
ETSI 301 489-1, ETSI EN 301 598
Singapore IDA type approval

About Adaptrum

Driving both technical and regulatory innovations, Adaptrum has pioneered the use of previously underutilized TV White Space spectrum. Founded by leading experts in wireless communications, our creative and experienced team is committed to fundamentally changing the wireless industry and enabling universally affordable broadband.

Adaptrum

©2017 Adaptrum Inc

☎ 408.850.9996 🌐 www.adaptrum.com
✉ sales@adaptrum.com

ANEXÓ D. DATA SHEET RDL-3000 XP EDGE

RDL-3000 XP EDGE SPECIFICATIONS

Capability	LOS/OLDS/NLOS PMP Terminal, PTP Terminal ¹
Wireless transmission	OFDM (orthogonal frequency-division, multiplexing), TDQ/TDMA, 2 x 2 MIMO A/B with STBC & MRRRC
RF Band (MHz)	470-698 ¹ , 2000-2300 ¹ , 2300-2700 ¹ , 3300-3800 ¹ , 4940-5875 ¹
Channel Size (MHz)	0.875/1.25/1.75/2.5/3.5/5/6/7/10/12/14/20 software selectable ¹
Modulation	BPSK 1/2 to 64 QAM 5/6, 256 QAM ¹
System Capacity	3 Mbps to 186.6 Mbps ¹ UBR
Max Range	150 km (93 mi)
Max Tx Power	+30 dBm ¹ (Max combined tx power; MIMO mode/frequency band specific)
Antenna Info	External MIMO
Wireless QoS	Dynamic Spectrum Access & Management ¹
MAC	Dynamic ARQ
Security	AES 128/256 (OTA, FIPS 197 compliant); HTTPS (SSL), SSH (CLI), SNMP v3, MAC-based, Mutual Authentication; ECDSA Certificates Authentication ¹ ; FIPS-140-2 compliant
Connection	10/100 Ethernet (RJ-45), 2x RF N/F
Layer 2	512 Kbps to 100 Mbps ¹
Latency	< 10 ms
Processing (PPS)	< 280,000
Attributes	Transparent bridge, DHCP pass-through, 802.1Q VLAN
Network QoS	CIR, PIR support, multiple services per terminal, 802.3x, 802.1p
Management	Redline ClearView NMS, SNMPv2, HTTP (Web), Telnet (CLI), RADIUS (User Authentication)
Provisioning	Automatic templates using ClearView NMS ¹
Redundancy	1+1 Hot Standby ¹ (PRP or RSTP compatible)
Temperature	-40 to 75 °C (-40 to 167 °F) ²
Enclosure	IP67 (IEC 60259)
Humidity	100% humidity, condensing
Surge Protection	Built-in: PoE and RF ports
Power	+17W/Standard; IEEE 802.3at (PoE); CAT-5 cable 100 m (330 ft) max.

All specifications are subject to change without notice.

1. Availability restricted by regional regulations, model type, software version and purchased product options;

2. UHF systems only: 60 °C (140 °F)

Compliance

Safety: IEC, EN, and UL/CSA 62368-1

EMC: EN 301 489-1, EN 301 489-17

5.8 GHz¹: IC RSS-210, FCC Part 15,
ETSI EN 302 502,

5.4 GHz¹: IC RSS-210, FCC Part 15,
ETSI EN 301 893

5.2 GHz¹: IC RSS-210, FCC Part 15

4.9 GHz¹: IC RSS-111, FCC Part 90

3.65-3.70 GHz¹: IC RSS-197, FCC Part 90Z

3.5 GHz¹: IC RSS-192

3.3-3.8 GHz¹: ETSI EN 302 326-2

2.6 GHz¹: EN 302-544, FCC Part 27

2.4 GHz¹: IC RSS-210, ETSI 300-328,
FCC Part 15C

2.3 GHz¹: IC RSS-195

2.1 GHz¹: (2.025-2.110 GHz¹, 2.200-2.290 GHz¹)
ITU-R F.1098

600 MHz¹: IC RSS-196, FCC Part 15H

Security: FIPS 140-2 Compliant



Physical Attributes

Dimensions

306.8 x 230 x 60.3 mm (12.079 x 9.06 x 2.375 in)

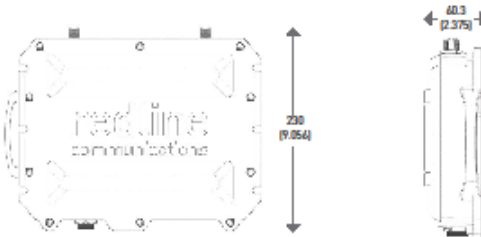
Weight

2.7 kg (6.0 lbs) without bracket or antenna

Patent No.

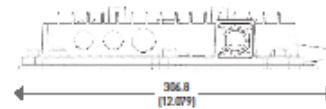
US 9,468,028 B2

DRAWINGS



Dimensions are in millimeters (inches)

Redline logo appears only on product label.



302 Town Centre Blvd.
Markham, ON L3R 0E8 Canada

20220513 RDL-3000 XP Edge © 2022 Redline Communications Inc. All rights reserved.

redline
communications

ANEXÓ E. DATA SHEET RDL-3000 XP ELLIPSE

RDL-3000 XP ELLIPSE SPECIFICATIONS

Max Tx Power	+31 dBm ¹ (Max combined tx power; MIMO mode/frequency band specific)
RF Band (MHz)	470-698 ¹ , 2000-2300 ¹ , 2300-2700 ¹ , 3300-3800 ¹ , 4940-5875 ¹
Antenna Info	External MIMO sectoral or omni directional
Capability	LOS/OLoS/NLOS software-defined PMP Base Station ¹ or PTP terminal ¹
Wireless QoS	Auto link distance ranging, auto channel scanning, optimal channel selection, ATPC, DFS
Transmission	OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing), TDD/TDMA 2x2 MIMO A/B with STBC & MRRRC, high-rejection Tx/Rx filtering
Throughput	Up to 186.6 Mbps ¹ UBR
Channel Size (MHz)	0.8/5/1.25/1.75/2.5/3.5/5/6/7/10/12/14/20 (software selectable ¹)
Modulation & Coding	BPSK to 256 QAM 7/8 ¹
Spectral Efficiency	9.3 bits per second per Hertz
Channel Efficiency	Up to 93%
Max Range	150 km (93 mi)
Number of Remotes	120
Security	Management Encryption: TLS v1.2, AES-256, SHA1, Device Authentication: ECDSA digital signature-based authentication or MAC-based mutual authentication, Data Encryption: AES-128/256 with ECDH secure key exchange (over-the-air, FIPS 197 compliant), NIST FIPS-140-2 compliant
Network Features	Transparent bridge, DHCP pass-through, 802.1Q VLAN (Q-in-Q), VLAN Whitelisting, Syslog, SNMP, spectrum analyzer
Layer 2	160 Mbps aggregate ¹
Latency	<10 ms
Processing (PPS)	>250,000
MAC	Per link: dynamic ARQ, dynamic adaptive modulation, dynamic and fixed frame, Fast Fusion Link Adaptation
QoS	802.1p, 802.3x, CIR & PIR settings, up to 8 services per terminal
Management Interface	Redline ClearView NMS, SNMP v2c/v3, HTTP/HTTPS (Web), Telnet/SSH (CLI), Management VLAN tagging, RADIUS User Authentication
Provisioning	MAC-Based, Template-based ¹ ; Automatic using Redline ClearView NMS
Redundancy	1+1 Warm Standby ¹ , HSR, PRP or RSTP compatible
Location & Timing	Built-in GPS ¹
Power	<17W; Standard IEEE 802.3at (PoE); CAT5 cable 100m (330 ft) max
Temperature	-40 to 75 °C (-40 to 167 °F) ²
Connections	1Q/100 Ethernet (RJ-45), 2x RF N(F), GPS TNC(F)
Surge Protection	Built-in: PoE and RF ports
Enclosure	IP67 (IEC 60259)
Humidity	100% humidity, condensing

Compliance

Safety: IEC, EN, and UL/CSA 62368-1
EMC: EN 301 489-1, EN 301 489-17
5.8 GHz ¹ : IC RSS-210, FCC Part 15, ETSI EN 302 502
5.4 GHz ¹ : IC RSS-210, FCC Part 15, ETSI EN 301 893
5.2 GHz ¹ : IC RSS-210, FCC Part 15
4.9 GHz ¹ : IC RSS-111, FCC Part 90
3.65-3.70 GHz ¹ : IC RSS-197, FCC Part 90Z
3.5 GHz ¹ : IC RSS-192
3.3-3.8 GHz ¹ : ETSI EN 302 324-2
2.6 GHz ¹ : EN 302-544
2.496-2.690 GHz ¹ : FCC Part 27
2.4 GHz ¹ : IC RSS-210, ETSI 300-328, FCC Part 15C
2.3 GHz ¹ : IC RSS-195
2.1 GHz ¹ : (2.025-2.110 GHz ¹ , 2.200-2.290 GHz ¹) ITU-R F.1098
600 MHz ¹ : IC RSS-196, FCC Part 15H
HAZ.ATEX/IECEx: Zone 2, CSA: Class 1 Div 2
Security: FIPS 140-2 Compliant



Physical Attributes

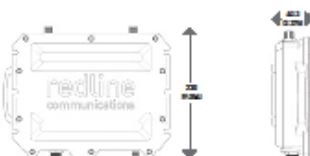
Dimensions	306.8 x 230 x 60.3 mm (12.079 x 9.06 x 2.375 in)
Weight	2.7 kg (6.0 lbs) without bracket or antenna

Patent No.
US 9,468,028 B2

Redline logo appears only on product label.

All specifications are subject to change without notice.
1. Availability restricted by regional regulations, model type, software version and purchased product options;
2. UHF systems only: 60 °C (140 °F)

DRAWINGS



Dimensions are in millimeters (inches)

302 Town Centre Blvd.
Markham, ON L3R 0E8 Canada
rdlcom.com | +1.905.479.8344
info@rdlcom.com | +1.866.633.6669
© 2022 RDL-3000 XP Ellipse © 2022 Redline Communications Inc. All rights reserved.

redline
communications

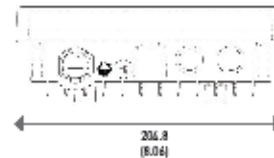
ANEXÓ F. DATA SHEET RDL-3000 XP ELTE MT

RDL-3000 XP Elte MT SPECIFICATIONS

Capability	LOS/OLDS/NLOS PMP/PTP Terminal		
Wireless transmission	OFDM (orthogonal frequency-division, multiplexing), TDD, 2x 2 A/B MIMO		
RF Band (MHz)	470-698 ¹ , 2000-2300 ¹ , 2300-2700 ¹ , 3300-3800 ¹ , 4940-5875 ¹		
Channel Size (MHz)	0.875/1.25/1.75/2.5/3.5/5/6/7/10/12/14/20 software selectable ¹		
Modulation	BPSK to 256 QAM, TDMA		
System Capacity	3 Mbps to 186.6 Mbps UBR		
Max EIRP	Band (MHz)	Tx Power (dBm)	Antenna Gain (dBi)
	5000	22	19
	2500/3000	23	15
	2100	28	14/18
	UHF	23	8
Antenna Info	Integrated MIMO		
Wireless QoS	Dynamic Spectrum Access & Management ¹		
MAC	Dynamic ARQ		
Security	AES 128/256 (OTA, FIPS 197 compliant); HTTPS (SSL), SSH (CLI), SNMP v3; MAC-based, Mutual Authentication; ECDSA Certificates Authentication ¹ ; FIPS-140-2 compliant		
Encryption (OTA)	AES-128 ¹ and AES-256 ¹ (software keyed)		
Connection	1Q/100 Ethernet (RJ-45)		
Ethernet Rate	Up to 100 Mbps		
Latency	<10 ms		
Processing (PPS)	>280,000		
Attributes	Transparent bridge, DHCP pass-through, 802.1Q VLAN		
Network QoS	Multiple services with unique CIR & PIR, 802.3x, 802.1p/Q		
Management	ClearView NMS, HTTP, SNMP v2/v3, Telnet, HTTPS/SSL, SSH		
Temperature	-40 to 75 °C (-40 to 167 °F)		
Enclosure	IP67 (IEC 60259)		
Humidity	100% humidity, condensing		
Surge Protection	Built-in: PoE and RF ports		
Power	Standard IEEE 802.3at (PoE), cable 91 m (300 ft) max.		

All specifications are subject to change without notice.
1. Availability restricted by regional regulations or product options

DRAWINGS



Dimensions are in millimeters (inches)

Compliance

Safety: IEC, EN, and UL/CSA 62368-1
EMC: EN 301 489-1, EN 301 489-17
5.8 GHz¹: IC RSS-210, FCC Part 15, ETSI EN 302 502
5.4 GHz¹: IC RSS-210, FCC Part 15, ETSI EN 301 893
4.9 GHz¹: IC RSS-111, FCC Part 90
3.65-3.70 GHz¹: IC RSS-197, FCC Part 90Z
3.5 GHz¹: IC RSS-192
3.3-3.8 GHz¹: ETSI EN 302 324-2
2.6 GHz¹: EN 302-544, FCC Part 27
2.4 GHz¹: IC RSS-210, ETSI 300-328, FCC Part 15C
2.3 GHz¹: IC RSS-195
2.1 GHz¹: [2.025-2.110 GHz ¹ , 2.200-2.290 GHz ¹] ITU-R F.1098
Security: FIPS 140-2 Compliant



Physical Attributes

Dimensions
204.8 x 204.8 x 72.6 mm (8.06 x 8.06 x 2.86 in)
Weight
2.0 kg (4.4 lbs) without bracket

Patent No.
US 9,468,028 B2

Redline logo appears only on product label.

302 Town Centre Blvd.
Markham, ON L3R 0E8 Canada
w rdlcom.com t +1.905.479.8344
e info@rdlcom.com f +1.844.633.6669

© 2022/0513 RDL-3000XP Elte MT © 2022 Redline Communications Inc. All rights reserved.

redline
communications

ANEXÓ G. DATA SHEET RADWIN

Solution Specifications

	Outland™ TVWS Base Station	Outland™ TVWS Subscriber Unit
Service		
Max capacity (net aggregate)	Dual carrier: 2x150 Mbps	Single carrier: up to 150 Mbps
Subscriber Units (SU) support	Up to 64 Subscriber Units	-
Configuration & Interfaces		
Antenna configuration	Connectorized outdoor unit (2 x N-type)	Outdoor Unit with an integrated 8 dBi antenna
Data Interfaces	1000BaseT, SFP 1GbE	10/100/1000BaseT
PoE supported	RADWIN PoE	RADWIN PoE
PoE to ODU Interface	Outdoor CAT-5e; 10/100/1000BaseT	
Radio		
TVWS band	470 – 698MHz	
Carrier Bandwidth	1,2,4 contiguous 6MHz TVWS FCC channels or up to 3 contiguous 8MHz ETSI channels, per carrier	
Adaptive Modulation & Coding	MIMO-OFDM, BPSK, QAM256	
Max Tx Power	25 dBm	23 dBm
TDD synchronization	Built-in GPS	
Encryption	AES 128	
Networking		
Layer 2	Bridging learning of 5K MAC addresses	HUB Mode
QoS	4 priority queues, 802.1P or Diffserv	
VLAN Support	802.1Q, QinQ, 4094 VLANs	
ODU Management	IPv4/IPv6 dual stack; SNMP v1 and v3; HTTP using web browser	
Environment & Regulations		
Operating Temperatures	-40°C to 60°C / -40°F to 140°F	
Enclosure	IP 67 compliant	
Regulations supported	FCC, ETSI	
Dimensions and Power		
ODU Dimensions (w) x (h) x (d)	24.8 x 25.5 x 7.5 cm	32.5 x 32.5 x 11.4 cm
ODU Weight	4.5 kg / 9.9 lbs.	2.3kg / 4.85s lbs.
Power Consumption	<65W	<27W

RADWIN is a leading provider of broadband wireless access solutions that deliver superior performance due to innovative and advanced wireless technologies. RADWIN focuses on developing reliable, high quality solutions together with powerful operational tools that simplify network planning, deployment and operation to assure network rollout with the lowest TCO.

With more than 1 million radios installed in over 170 countries, RADWIN's solutions provide high quality broadband connectivity to home and office customers, city streets, suburban neighborhoods, rural villages and rail and metro trains.

RADWIN

RADWIN Ltd Corporate Headquarters

+972.3.766.2900 | sales@radwin.com

RADWIN North America

+1-877-RADWIN US (723-9468) | salesna@radwin.com

The RADWIN name is a registered trademark of RADWIN Ltd. Specifications are subject to change without prior notification. © All rights reserved, March 2021

www.radwin.com

