

Maestría en Ingeniería Electrónica

Evaluación del uso de los espacios en blanco de televisión en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía ubicados en las zonas no interconectadas operadas por el IPSE

Yaciro Cabezas Burbano

Código: 2143681



Bogotá, D. C., 07 de mayo de 2021

Evaluación del uso de los espacios en blanco de televisión en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía ubicados en las zonas no interconectadas operadas por el IPSE

Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica, con énfasis en Telecomunicaciones

**Director del trabajo de grado
Ing. Hernán Paz**

Jurado: _____

Jurado: _____

Bogotá, D. C., 07 de mayo de 2021

Aceptación del jurado

La tesis de maestría titulada “Evaluación del uso de los espacios en blanco de televisión en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía ubicados en las zonas no interconectadas operadas por el IPSE”, presentada por Yaciro Cabezas Burbano, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica con énfasis en Telecomunicaciones.

Jurado

Jurado

Director de Tesis

Bogotá, D.C., 07 de mayo de 2021

DEDICATORIA

A mi familia

RESUMEN

Los espacios en blanco de televisión es una tecnología que se puede aprovechar como alternativa de comunicación para muchas aplicaciones, dentro de las cuales está la medición inteligente de energía que es fundamental para las empresas eléctricas para poder tener un sistema de distribución más eficiente. El objetivo del presente trabajo es evaluar bajo los criterios de indisponibilidad y fidelidad dos radioenlaces usando los espacios en blanco, uno para enviar la información de los medidores inteligentes ubicados en la localidad de Puerto Estrella, municipio de Uribia en la Guajira hacia la central de energía ubicada en el caserío de Nazareth del mismo municipio y el otro para enviar la información de los medidores inteligentes de la localidad de La Tagua municipio de Puerto Leguízamo hacia la central ubicada en la cabecera municipal, ambas centrales están operadas por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas. Dicha empresa solicitó este tipo de estudio para considerar la posibilidad de establecer sus soluciones de interconexión mediante esa tecnología en esas regiones. Para ello, se hizo una caracterización de las zonas con información cartográfica correspondiente en conjunto con la plataforma especializada de referencia en sistemas de información geográfica ArcGIS®, y los radioenlaces respectivos se simularon con la plataforma Xirio® Profesional. Los resultados de simulación obtenidos para los dispositivos de espacios en blanco RuralConnect Generation TVWS Radio G3 y Adaptrum ACRS2.0 bajo distintas configuraciones como potencia de transmisión, modelo de propagación, frecuencia, esquema de modulación, entre otros, muestran unos valores de indisponibilidad y fidelidad en el peor de los casos menores a 0,04 y 0,015 respectivamente en ambas regiones. Lo anterior permite el cumplimiento de los objetivos mínimos establecidos en las normas ITU-R F.1703 e ITU-R F.1668-1.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	11
1 Capítulo 1. Formulación del proyecto	13
1.1 Preguntas de investigación	14
1.2 Antecedentes	14
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
2 Capítulo 2. Marco teórico y referencial	19
2.1 Espacios en blanco de Televisión (TVWS)	19
2.1.1 TVWS en Colombia	23
2.1.1.1 Estado actual de TVWS en Colombia	24
2.2 Redes inteligentes (Smart Grids)	25
2.2.1 Medidores inteligentes	29
2.3 Zonas no interconectadas de Colombia (ZNI)	30
2.4 Legislación y Regulación	32
2.4.1 Caso TVWS	32
2.4.2 Caso Smart Grids	32
2.5 Modelos de propagación	33
2.5.1 UIT-R P.530-17	34
2.5.2 Línea de Vista	35
2.5.3 Longley Rice	35
2.6 Calidad de un radioenlace digital	35
2.6.1 Parámetros y criterios de calidad en cuanto a fidelidad	36
2.6.2 Parámetros y criterios de calidad en cuanto a indisponibilidad	37
3 Capítulo 3. Metodología	39
3.1 Caracterización de las ZNI	43
3.1.1 Localidad de Nazareth municipio de Uribia (Guajira)	44
3.1.2 Localidad de Puerto Leguízamo, municipio de Puerto Leguízamo (Putumayo)	53

3.2	Dispositivos en RI y TVWS propuestos para las ZNI	61
3.3	Simulación y análisis	61
3.3.1	Configuración Radioenlace Puerto Estrella-Nazareth	62
3.3.2	Configuración Radioenlaces La Tagua - Puerto Leguízamo	66
3.3.2.1	Configuración radioenlace Maestro – Esclavo 1 (La Tagua)	69
3.3.2.2	Configuración radioenlace Maestro – Esclavo 2 (Base Naval)	70
3.4	Elaboración de entregables	71
4	Capítulo 4. Resultados y Análisis	72
4.1	Consideraciones iniciales	72
4.2	Resultados	73
4.2.1	Resultados radioenlace Guajira: Puerto Estrella – Nazareth	73
4.2.1.1	Resultados Xirio	73
4.2.1.2	Contrastación de resultados con Radio Mobile	78
4.2.2	Resultados radioenlace Putumayo: Maestro – Esclavo 1 (La Tagua)	79
4.2.2.1	Resultados Xirio	79
4.2.2.2	Contrastación de resultados con Radio Mobile	83
4.2.3	Resultados radioenlace Putumayo: Maestro – Esclavo 2 (Base Naval)	84
4.2.3.1	Resultados Xirio	84
4.2.3.2	Contrastación de resultados con Radio Mobile	87
4.3	Discusión de resultados y recomendación a IPSE	89
4.3.1	Discusión de resultados	89
4.3.2	Recomendación a IPSE	92
	CONCLUSIONES	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97
	Anexo A: Plataformas utilizadas	102
	Anexo B: ArcGIS® paso a paso	105
	Anexo C: Dispositivos Smart Grids	112
	Anexo D: Dispositivos TVWS	119
	Anexo E: Protocolo de simulaciones para Xirio Online	125
	Anexo F: Correo de recibido de artículo	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Objetivos de calidad para enlaces digitales</i>	37
Tabla 2: <i>Energía activa, reactiva, aparente y factor de potencia</i>	53
Tabla 3: <i>Energía activa, reactiva, aparente y factor de potencia</i>	60
Tabla 4: <i>Parámetros de configuración de las simulaciones Puerto Estrella Nazareth</i>	64
Tabla 5: <i>Parámetros de configuración de las simulaciones Maestro-Esclavo 1</i>	69
Tabla 6: <i>Parámetros de configuración de las simulaciones Maestro – Esclavo 2</i>	70
Tabla 7. <i>Objetivos de estudio</i>	73
Tabla 8: <i>Resultados Xirio radioenlace Puerto Estrella-Nazareth (UIT-R P.530-17)</i>	73
Tabla 9: <i>Resultados Xirio radioenlace Puerto Estrella-Nazareth (Línea de Vista)</i>	74
Tabla 10: <i>Resultados Radio Mobile radioenlace Puerto Estrella-Nazareth (Longley Rice)</i>	78
Tabla 11: <i>Resultados Xirio radioenlace Maestro - Esclavo 1 (La Tagua) (UIT-R P.530-17)</i>	79
Tabla 12: <i>Resultados Xirio radioenlace Maestro - Esclavo 1 (La Tagua) (Línea de Vista)</i>	80
Tabla 13: <i>Resultados Radio Mobile radioenlace Maestro-Esclavo 1 (La Tagua) (Longley Rice)</i>	83
Tabla 14: <i>Resultados Xirio radioenlace Maestro-Esclavo 2 (Base Naval) (UIT-R P.530-17)</i>	84
Tabla 15: <i>Resultados Xirio radioenlace Maestro - Esclavo 2 (Base Naval) (Línea de Vista)</i>	85
Tabla 16: <i>Resultados Radio Mobile radioenlace Maestro - Esclavo 2 (Base Naval) (Longley Rice)</i>	87
Tabla 17: <i>Resumen resultados con Xirio en Guajira y Putumayo (mejor/peor caso)</i>	88
Tabla 18: <i>Modelo de tabla de resultados</i>	133
Tabla 19: <i>Parámetros de configuración de la simulación en La Guajira</i>	134

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Arquitectura multi capa de una RI</i>	26
<i>Figura 2: Requerimientos de velocidad y cobertura para las comunicaciones de RI</i>	26
<i>Figura 3: Contexto ZNI</i>	31
<i>Figura 4: Nazareth (Guajira)</i>	39
<i>Figura 5: Puerto Leguízamo (Putumayo)</i>	40
<i>Figura 6: Arquitectura de red entre medidores y central</i>	41
<i>Figura 7: metodología del proyecto</i>	42
<i>Figura 8: Municipio de Uribia Departamento de La Guajira</i>	44
<i>Figura 9: Corregimiento de Nazaret, municipio de Uribia</i>	47
<i>Figura 10: Corregimiento de Puerto Estrella, municipio de Uribia</i>	47
<i>Figura 11: Vista de Nazareth</i>	48
<i>Figura 12: Vista de Puerto Estrella</i>	49
<i>Figura 13: Distancia entre los caseríos de Nazareth y Puerto Estrella</i>	50
<i>Figura 14: Parte de la central de IPSE en Nazareth</i>	51
<i>Figura 15: Páneles solares de IPSE en Nazareth</i>	52
<i>Figura 16: Municipio de Leguízamo Departamento del Putumayo</i>	54
<i>Figura 17: Localidad de Puerto Leguízamo, municipio de Leguízamo</i>	56
<i>Figura 18: Localidad de La Tagua, municipio de Leguízamo</i>	56
<i>Figura 19: Distancia y curvas de nivel entre Puerto Leguízamo y La Tagua</i>	57
<i>Figura 20: Elevación en el trayecto entre La Tagua y Puerto Leguízamo</i>	58
<i>Figura 21: Vista de Puerto Leguízamo</i>	58
<i>Figura 22: Vista de La Tagua</i>	59
<i>Figura 23: Emplazamiento de las torres en Nazareth y Puerto Estrella</i>	63
<i>Figura 24: Resultado de un radioenlace fallido entre Puerto Leguízamo y La Tagua</i>	67
<i>Figura 25: Emplazamiento de las torres Maestro, Esclavo 1 y Esclavo 2</i>	68
<i>Figura 26: Distribución del espectro para TDT en Colombia</i>	72
<i>Figura 27: Ventana de trabajo ArcGIS®</i>	105
<i>Figura 28: Hoja de trabajo ArcGIS®</i>	106
<i>Figura 29: Configuración de Hoja en ArcGIS®</i>	107
<i>Figura 30: Información DANE departamento de la Guajira</i>	108
<i>Figura 31: Interfaz del Data Frame en ArcGIS®</i>	109

<i>Figura 32: Mapa de Imagery para la Guajira</i>	110
<i>Figura 33: Resultado final de zona en ArcGIS®</i>	111
<i>Figura 34: Propiedades del estudio</i>	126
<i>Figura 35: Propiedades de extremos</i>	127
<i>Figura 36: Propiedades de la antena</i>	128
<i>Figura 37: Propiedades del diagrama de radiación</i>	129
<i>Figura 38: Parámetros de radio</i>	130
<i>Figura 39: Propiedades del equipo MW</i>	131
<i>Figura 40: Modulaciones</i>	131
<i>Figura 41: Propiedades del método de cálculo</i>	132
<i>Figura 42: Datos de atenuación</i>	132
<i>Figura 43: Árbol de simulaciones y parámetros a variar</i>	134

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el mundo se mueve al ritmo de las comunicaciones alámbricas y vía radio que son el soporte para servicios de distinta naturaleza: internet, salud, educación, entre otras, tanto en las ciudades como en zonas rurales. Del mismo modo, la energía eléctrica no solo es un requerimiento para que sean posibles las telecomunicaciones sino para muchas otras actividades de la sociedad. Por lo anterior, se debe velar por el uso eficiente de estos 2 recursos: el espectro electromagnético y la electricidad. Para el primero, los llamados espacios en blanco de televisión (TVWS) se han convertido en una alternativa para ser usados como medio de comunicación en diversas aplicaciones y que tienden a utilizar esos espacios libres del espectro, de esa manera se contribuye a optimizar dicho recurso. Para el segundo, la implementación de redes inteligentes (Smart Grids) es fundamental y necesaria pues permite a las empresas eléctricas hacer un control de consumo y tener un sistema eléctrico de distribución más eficiente.

En este contexto se desarrolla el proyecto “evaluación del uso de los espacios en blanco de televisión en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía ubicados en las zonas no interconectadas operadas por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE)” atendiendo una solicitud de dicha empresa para evaluar los TVWS como estrategia en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía ubicados en las zonas no interconectadas (ZNI) de Nazareth y Puerto Leguízamo. Para ello se propone la implementación de radioenlaces que transporten la información de esos medidores en cada zona usando TVWS y al final realizar una recomendación a IPSE resultado de la evaluación de dicha tecnología. Para lo anterior, se desarrolla una metodología de investigación exploratoria y descriptiva utilizando la plataforma ArcGIS® para caracterizar de manera adecuada cada ZNI y la plataforma Xirio® licenciado para simular los radioenlaces respectivos, evaluándolos al final acorde con los objetivos de indisponibilidad y fidelidad dados en la normatividad correspondiente.

El documento consta de 4 capítulos, el primero corresponde a la formulación del proyecto, en el segundo se desarrolla la teoría relacionada con los ejes del mismo: TVWS y Smart

Grids, normatividad y su estado actual en Colombia, modelos de propagación, y parámetros de calidad de un radioenlace digital, en el tercero se explica la metodología del trabajo: caracterización de las ZNI en la Guajira y en Putumayo con la plataforma ArcGIS® y la configuración de los radioenlaces para la simulación en Xirio en cada zona y el cuarto capítulo corresponde a los resultados de las simulaciones de los radioenlaces, su análisis y la recomendación a la empresa IPSE.

Capítulo 1. Formulación del proyecto

El trabajo “Evaluación del uso de los espacios en blanco de televisión en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía ubicados en las zonas no interconectadas operadas por el IPSE” cuyo objetivo es “evaluar esa tecnología en dos ZNI operadas por el IPSE, mediante simulación y tecnologías de geovisores y plataformas especializadas de referencia en sistemas de información geográfica” presenta una propuesta de solución a una necesidad específica y real manifestada por la empresa de evaluar la viabilidad de implementar este tipo de tecnología para recolectar la información de los medidores inteligentes de energía en las localidades de Nazareth en el departamento de la Guajira y Puerto Leguizamo en el departamento del Putumayo.

El desarrollo del trabajo involucra dos temáticas: la medición inteligente de energía y los espacios en blanco como tecnología alternativa para transmitir información recolectada de los medidores inteligentes en las ZNI, siendo esta última el eje de la presente investigación. La primera se enmarca en un objetivo de Gobierno a través del Ministerio de Minas y Energía el cual ha planteado un proyecto para implementar las Smart Grids involucrando tecnologías de la información y la comunicación en cada aspecto de la generación, suministro y consumo de electricidad, con el objetivo de minimizar el impacto medioambiental, mejorar los mercados, mejorar la fiabilidad y el servicio, reducir costos y aumentar la eficiencia, el objetivo es que para el año 2025 el 95% de los usuarios del servicio de energía eléctrica del país, incluyendo las zonas por fuera del sistema interconectado nacional, es decir las ZNI, deberán tener instalado un sistema de medición avanzado (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016). Sin embargo, en estas zonas no existe un sistema de comunicación que permita implementar estas tecnologías.

La segunda temática se enmarca también en proyectos del ministerio TIC en conjunto con la Agencia Nacional del Espectro (ANE) la cual ha realizado estudios, pruebas y la regulación respectiva para optimizar el espectro. Específicamente en la banda de UHF se quiere aprovechar los llamados espacios en blanco de televisión que como se verá más adelante, son porciones de esa banda que están siendo subutilizados. Lo anterior ha

llevado a diferentes organizaciones a estudiar diversas aplicaciones utilizando los TVWS: emisiones de canales de tv en streaming, control de gestión y tráfico, sistemas de monitorización remota, comunicaciones entre máquinas (M2M) y llevar conexión de banda ancha a zonas rurales. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología más pertinente para el presente trabajo es que es una alternativa propicia para el despliegue de los Smart Grids Networks (SGN). El presente proyecto entonces aprovechando esas bondades de los TVWS pretende evaluar el uso de esa tecnología y suplir la necesidad arriba mencionada.

1.1 Preguntas de investigación

Lo planteado anteriormente, nos lleva a formularnos la siguiente pregunta de investigación:

¿Será viable el uso de los TVWS y otras tecnologías inalámbricas para recolectar la información de los medidores inteligentes de energía en las zonas no interconectadas (ZNI) de Nazareth-Guajira y Puerto Leguízamo-Putumayo operadas por el IPSE?

Hipótesis de investigación

El uso de los TVWS podría ser una solución para recolectar la información de los medidores inteligentes de las ZNI de Nazareth y Puerto Leguízamo si las condiciones topográficas del terreno permiten línea de vista, los radioenlaces sean menores a 20 Km y la tasa de transmisión no supere los 4Mbps.

1.2 Antecedentes

En cuanto al estado del arte, se encontraron varios proyectos implementados en el mundo relacionados tanto con TVWS como Smart Grids, por ejemplo, en Japón se llevó a cabo el primer avance mundial alcanzado por las comunicaciones de banda ancha de largo alcance en TVWS desarrollado por el Instituto Nacional de Tecnología de la Información y las Comunicaciones (NICT) de ese país en el año 2014, con el cual se logró con éxito dar comunicaciones de banda ancha de largo alcance (12.7 Km) en los TVWS basados en los estándares IEEE 802.22 y IEEE 802.11af. La velocidad alcanzada fue de 5.2 Mbps entre la estación base y el cliente y de 4.5 Mbps en sentido contrario. Además, el NICT construyó

una red de múltiples tiendas utilizando IEEE 802.22 como enlace troncal e IEEE 802.11af, que está conectado a él, logrando algunas aplicaciones, como el monitoreo de video de carreteras y acantilados y el teléfono de video en áreas de montaña donde no hay conexiones de Internet por cable / inalámbricas disponibles. Estos logros mostraron la viabilidad de proporcionar servicios de banda ancha en áreas rurales y apoyar las comunicaciones de radio durante las actividades de ayuda en caso de desastres (Rahman & Saifullah, 2019) (NICT, 2014).

De otro lado, en Australia, se desarrolló un proyecto llamado “Smart Grid Smart City” auspiciado por el Gobierno Australiano mediante el cual se buscó establecer la aplicabilidad y beneficios de las redes eléctricas inteligentes en ese país, determinar sinergias con otros sectores como el de las telecomunicaciones, gas y acueducto, y promover en todos los sectores los beneficios de las smart grids desde el punto de vista ambiental y económico. En el proyecto participaron alrededor de 30.000 hogares y el resultado fue una reducción de hasta 12% en la demanda pico nocturna de energía del sector residencial mediante programas de respuesta de la demanda, así como mejoras de hasta 18% en el factor de carga (Motlagh, Foliente, & Grozev, 2015).

Con un propósito similar, pero en Argentina, la empresa Deitres SA con aporte del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MinCyT) implementaron el proyecto con Smart Grids “AMlar: Smart Grid diseñada para economías en desarrollo” dirigido a empresas distribuidoras de energía eléctrica que consistió en el desarrollo de una infraestructura de medición, diagnóstico y control de servicios a un costo relativamente bajo. Se trata de una red inalámbrica donde cada equipo instalado funciona como repetidor inteligente del resto de los nodos. Además de desarrollar el hardware necesario, desarrolló el software que permite nuclear la información de toda la red y gestionar la misma. La primera aplicación propuesta en este proyecto es la medición, diagnóstico y control sobre las redes eléctricas, la idea es que en algunos años estas empresas puedan tener una infraestructura de medición avanzada y conformar toda la Smart Grid. Como resultado, en septiembre de 2017, la empresa concretó el primer prototipo completo y en la actualidad existen grupos de inversores y multinacionales referentes del sector interesados en el proyecto. Durante los primeros meses del 2018 el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires instaló 250 medidores, por otro lado, Deitres está trabajando en conjunto con ADEERA, MinCyT y el Ministerio de

Producción de la Nación, en la puesta en marcha de un proyecto a mediana escala (Deitres SA, s.f.).

Francia también ha implementado proyectos en Smart Grids, por ejemplo, Greenlys es un proyecto en el que participaron operadores, centros de investigación y empresas como Schneider Electric, y Greenlys, y que fue implementado en las ciudades de Grenoble y Lyon. El propósito fue probar múltiples funcionalidades de las redes eléctricas inteligentes, considerando a todos los agentes de la cadena: productores, consumidores, transmisores, distribuidores, el cual se centró en la infraestructura de medición ya instalada en proyectos anteriores, y consideró la incorporación y control de fuentes de energía distribuidas (solar, cogeneración), soluciones inteligentes de control (medición, monitoreo, análisis, auto reparación de la red), plataformas de agregación, medidores inteligentes, integración de vehículos eléctricos y control de electrodomésticos. Como resultado se evidenciaron reducciones de costos de electricidad del 16% mediante la gestión de sistemas de calefacción, para que operaran fuera de las horas de consumo pico (Greenlys).

Sudáfrica implementó un proyecto de banda ancha con TVWS apoyado por la Autoridad de Comunicaciones Independiente del Sudáfrica (ICASA), en convenio con Google, el cual consiste en una estación base ubicada en el Hospital Tygerberg en Ciudad del Cabo para dar internet de banda ancha a escuelas al rededor del hospital. Google fue el encargado de la elaboración de la base de datos de frecuencias, proyectada para ser usada por futuros interesados. Con dicho proyecto se logró el acceso a internet de banda ancha a 10 escuelas ubicadas dentro de un radio aproximado de 10 km (Dominic, Moshe, & Hanson, 2016) (Maheshwari, y otros). Asimismo, en Reino Unido, el Consorcio de Espacios Blancos de Cambridge TV implementó cinco estaciones base en el centro de la ciudad, las cuales estaban conectadas a antenas TVWS montadas en los tejados para probar una variedad de aplicaciones, desde internet hasta comunicación entre dispositivos inalámbricos. Con ello, se logró acceso a banda ancha a zonas rurales cercanas, mayor cobertura para la comunidad urbana que la que podría haberse logrado con Wi-Fi convencional, y comunicación máquina a máquina (M2M) (Khan & Barman, 2018) (Maheshwari, y otros).

En Colombia se han venido desarrollando varios proyectos con TVWS, uno de ellos es el proyecto Airband el cual es un programa creado por Microsoft y empresas aliadas que

busca promover la implementación de tecnología con soluciones que ofrezcan un acceso a internet a los mercados desatendidos alrededor del mundo. En países como: EEUU, Ghana, Kenya, India, Chile, Reino Unido, Colombia entre muchos otros, ya se han implementado soluciones con este programa. En el país, el proyecto está pensado para aprovechar los TVWS y llegar con internet a lugares apartados de varias regiones. Por ejemplo, en el año 2019, esta ejecución ha logrado llegar con internet a 150 productores de café permitiéndoles hacer seguimiento del mercado y decidir en qué momento vender su producto. Además, han proporcionado banda ancha a colegios y a cientos de familias de lugares apartados como Mesetas (Meta), Aguadas (Caldas) y Buenos Aires (Cauca), (Portafolio, 2019) (Microsoft, 2019).

De la revisión de las investigaciones descritas se puede evidenciar que la tecnología TVWS es una alternativa para implementar diversas aplicaciones a nivel urbano y rural y que derivan por ejemplo de poder tener acceso a banda ancha. En muchas de ellas se han implementado dispositivos que operan con esta tecnología, lo cual se convierte en un referente para los dispositivos elegidos en esta investigación. Además, existe un caso en Pakistán en donde lograron comunicar medidores inteligentes en zonas remotas por medio de sensores (Khan & Yasir, 2014).

Con lo anterior se puede inferir los TVWS como una alternativa para recolectar la información de los medidores inteligentes en zonas rurales en Colombia, por ello, estas investigaciones fueron el punto de partida para considerar el foco de este trabajo, la diferencia es que la presente investigación no se centra en el nodo como tal si no en poder establecer un radioenlace que pueda transportar la información de los medidores de energía ubicados en la zona rural de Nazareth en la Guajira y en Puerto Leguizado en el Putumayo y enviarla a la central de energía operada por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) respectiva de cada zona, evaluando el desempeño de cada enlace utilizando los parámetros de disponibilidad y calidad y con ello determinar la mejor opción para ser recomendada a IPSE.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el uso de los TVWS en la recolección de información de medidores inteligentes de energía en las zonas no interconectadas de Nazareth y Puerto Leguísimo operadas por el IPSE mediante simulación y tecnologías de geovisores y plataformas especializadas de referencia en sistemas de información geográfica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar la teoría relacionada con los TVWS, los Smart Grids y algunos casos de éxito implementados con estas tecnologías a nivel mundial.
- Determinar qué tipo de equipos en cuanto a medidores inteligentes y dispositivos de espacios en blanco de TV se requieren para ser implementados en las ZNI operadas por el IPSE.
- Caracterizar las zonas de Nazareth y Puerto Leguísimo mediante tecnologías de geovisores y plataformas especializadas de referencia en sistemas de información geográfica como ArcGIS® y QGIS®, e información cartográfica específica de las mismas.
- Realizar la simulación en la plataforma Xirio Profesional de una solución de comunicaciones bajo distintas condiciones utilizando TVWS para recolectar la información de los medidores inteligentes de energía en las ZNI de Nazareth y Puerto Leguísimo.
- Evaluar el uso de los TVWS en la recolección de información de los medidores inteligentes de las ZNI con el fin de dar recomendaciones técnicas al IPSE y las condiciones para que a través de un sistema de comunicaciones basado en esta tecnología puedan recolectar dicha información.

Capítulo 2. Marco teórico y referencial

Es este capítulo se trata conceptos básicos fundamentales sobre los espacios en blanco de televisión, las redes inteligentes, las zonas no interconectadas de Colombia, entre otros para la comprensión y desarrollo del proyecto.

2.1 Espacios en blanco de Televisión (TVWS)

Actualmente las nuevas tecnologías y las nuevas necesidades que demandan los usuarios requieren que más espectro sea asignado a cierto tipo de servicios, es así como esa creciente demanda de servicios de radiocomunicaciones como telefonía celular, televisión, Internet, entre otros, ha conllevado a que el espectro radioeléctrico como recurso natural limitado se vea hoy en ciertas bandas de frecuencia, saturado e insuficiente. (Arteaga & Navarro, 2016)

Lo anterior impone la necesidad de buscar alternativas a los esquemas de exploración de espectro actuales, por ejemplo, en muchos países se están realizando varios estudios teóricos y prácticos sobre cómo optimizar el espectro electromagnético. Específicamente, en la banda UHF, se están haciendo pruebas sobre cómo utilizar u optimizar los llamados espacios en blanco de televisión, que son canales en la banda asignada al servicio de televisión que no están siendo utilizados. Ello a la vez conlleva oportunidades diferentes y nuevas para hacer un uso más eficiente de esas porciones subutilizadas del espectro, lo cual redundará en alternativas para dar ciertos servicios o inclusión de tecnologías para las zonas rurales (Dynamic Spectrum Alliance, 2018). Si bien para las zonas densamente pobladas (ciudades), los TVWS representan de cierta manera un problema debido a la alta interferencia por la multiplicidad de servicios de los que goza estas zonas, para las rurales el aprovechamiento de estos espacios se ha convertido en una de las mejores alternativas para buscar e implementar tecnologías que permitan el acceso a internet de bajo costo (Hernández, Pérez, Pérez, & Ramírez).

En la actualidad, países como China, Venezuela, Malawi, Zambia, México entre otros, han realizado pruebas para estudiar y caracterizar los TVWS ya sea a nivel global o por regiones y ya sea con equipos de alto costo o con soluciones a bajo costo, en todos los casos las

conclusiones son las mismas: la mayoría de los espacios estudiados son subutilizados incluso en zonas altamente pobladas (Hernández, Pérez, Pérez, & Ramírez).

Cuando la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) lanzó su investigación de espacios en blanco, no estaban seguros de qué sistema de gestión de frecuencia admitir para esas bandas: monitoreo del espectro, búsqueda de geo-base de datos o ambas. Pero después de probar algunos dispositivos de espacios en blanco (que son aquellos que hacen uso de los TVWS), decidieron que el monitoreo no era lo suficientemente confiable, por lo que los dispositivos que dependen solo de la supervisión recibieron un límite de potencia más bajo que los dispositivos que usan la búsqueda de geo-bases de datos (Pietrosemoli & Zennaro, 2013)

En este sentido, hoy en día existen implementaciones comerciales que impulsan tecnologías o dispositivos de espacios en blanco y que en la actualidad están sirviendo a áreas rurales, ciudades y campus universitarios para mejorar el acceso a la banda ancha e inclusive proporcionando servicios de salud, educación y de gobierno (Dynamic Spectrum Alliance, 2018). Entre estos sistemas de gestión están: Google Spectrum Database, Spectrum Bridge (USA), Fire Spectrum (Finlandia), Nominet (Reino Unido), Spectra (LS Telcom) y Microsoft, algunos de ellos se tratan un poco más adelante.

Estas plataformas software para el uso de los espacios en blanco deben estar en concordancia con un marco normativo para permitir el acceso libre de licencia a un espectro subutilizado protegiendo la licencia de titulares, es decir, el espectro electromagnético tiene dos tipos de uso: el primario que es asignado a los operadores, por ejemplo de TV y el uso secundario que es una alternativa para lograr un uso eficiente de cierto espectro, en el que el usuario secundario pueda usar el espectro disponible que está asignado a un servicio primario. Los dispositivos de uso secundario deben estar en capacidad de detectar las condiciones de canal y usarlo sin causar interferencia al servicio primario, esto para asegurar que las operaciones de los titulares no se vean afectadas. Las comunicaciones de uso secundario son de baja potencia, sistemas de emergencia, redes de cobertura regional, entre otras. (Arteaga & Navarro, 2016)

El éxito de esa estrategia depende de que exista información real sobre la ocupación de un canal específico en el momento y lugar en el que el usuario secundario está buscando conexión. Para ello, los dispositivos de espacios en blanco pueden usar uno de dos métodos para prevenir la interferencia a servicios primarios: la geolocalización y la detección de espectro. De cualquier modo, se necesita contactar una base de datos que contiene información sobre los titulares y las frecuencias en las que éstos operan, así, los dispositivos de espacios en blanco pueden operar solo después de recibir permiso de dicha base de datos, y podrán ser apagados si hay riesgo de interferencia perjudicial (Dynamic Spectrum Alliance, 2018).

Las bases de datos de espacios en blanco mencionadas son plataformas administradas ya sea por entidades gubernamentales o por terceros dependiendo de cada país y su normatividad, este último es el caso por ejemplo de EEUU o Canadá, donde compañías como Google, Microsoft, Iconectiv, administran bases de datos aprobadas por la FCC (Arellanos G., 2016).

Un sistema de gestión de espacios en blanco se basa en métodos de distribución del espectro más eficientes y proporciona el control necesario para un posible alto volumen de solicitudes de acceso a la base de datos y cuyas fases en términos generales son:

1. El usuario de un dispositivo de espacios en blanco solicita acceso a la base de datos de espacios en blanco
2. El usuario se registra y se le autoriza el acceso
3. El usuario puede hacer una solicitud para canales en los espacios en blanco disponibles
4. Los canales disponibles son asignados y autorizados (LStelcom, 2019)

Algunas de las plataformas software de tipo comercial arriba mencionadas que se utilizan para gestionar los TVWS, se relacionan a continuación:

1. *Google Spectrum Database: API (Application Programming Interface)*, que provee de funciones que dan la capacidad de hacer uso de un servicio web dentro de una aplicación propia. Los fabricantes de dispositivos, los investigadores y cualquier

persona interesada pueden usar esa base de datos de Google Spectrum para identificar y usar el espectro de espacio en blanco de TV que está disponible. La base de datos de Google Spectrum fue certificada por la FCC y estuvo disponible para dispositivos inalámbricos aprobados por dicha entidad para las bandas de espacio en blanco de TV. Esta API permitía consultar la disponibilidad de espacios en blanco en función de la hora y la ubicación sin costo alguno con un número limitado de consultas diarias. Sin embargo, el uso comercial de la base de datos para implementaciones de dispositivos de espacio en blanco o servicios relacionados requería la firma de un acuerdo comercial. (Wireless, FIERCE, s.f.)

2. *Spectrum Bridge*: es un conjunto de herramientas que ofrecen diversas funcionalidades relacionadas con los espacios en blanco de TV, por ejemplo: “*Show My White Space*” que permite buscar y localizar canales de TVWS disponibles en su área, “*TV White Spaces US Interactive Map*” que es una herramienta interactiva de mapas de USA y “*Wireless Microphones*”, debido a que la FCC reconoce que los micrófonos inalámbricos sin licencia se utilizan en lugares donde las personas se reúnen para eventos, y los consumidores y las empresas confían en estos dispositivos, se tomaron medidas para reservar canales exclusivos para este uso. (Balamurthi, y otros)

3. *Spectra LS Telcom*: es una solución informática para incrementar la eficiencia de todos los procesos de gestión del espectro basado en tres disciplinas: gestión del espectro, la comprobación técnica del espectro y la integración de sistemas: Spectra combina equipos de control y se asegura de que la operación y el flujo de datos entre los componentes de su sistema se desarrollen correctamente. El sistema de gestión del espectro dispone de dos soluciones: Spectra Professional y Spectra Enterprise, el primero es sumamente modular y flexible, y aborda las tareas esenciales de la gestión del espectro, tales como: Solicitud y procesamiento de licencias y autorizaciones, planificación del espectro, asignación de frecuencias, coordinación nacional e internacional, monitoreo y control y gestión financiera. Por su lado, Spectra Enterprise incluye todas las tareas abordadas de la versión Professional, su tecnología de soporte y sus servicios en línea son de vanguardia, y

permiten flujos de procesos totalmente automatizados, así como la perfecta integración de todos los departamentos y módulos de software. (LSTelcom, 2019)

2.1.1 TVWS en Colombia

Hasta el momento la Agencia Nacional del Espectro (ANE) ha realizado algunos estudios sobre las condiciones técnicas del uso de los espacios en blanco y ha hecho pruebas piloto en zonas rurales buscando dar servicio de banda ancha a zonas en las cuales los diferentes operadores y por diversas razones no han dado cobertura. Sin embargo, si bien en ciudades como Cali y Medellín se han realizado algunos estudios sobre la cantidad de espacios en blanco de televisión entre los 470 MHz y los 698 MHz, aún no se han caracterizado estos espacios por regiones que muestren la ocupación del espectro en el rango de frecuencias donde actualmente está ubicado el servicio de televisión, ello permitiría por ejemplo realizar por parte de los entes respectivos una gestión de servicios a zonas determinadas (ANE, 2018).

En ese sentido, la ANE estableció 3 componentes funcionales para el sistema de petición de canales en la banda donde habitan los TVWS:

1. Dispositivo Maestro de TVWS: dispositivo con capacidad de geolocalización con conexión a internet que realiza la petición de canales disponibles a la base de datos para ser utilizados por él mismo y sus dispositivos esclavos asociados.
2. Dispositivo Esclavo de TVWS: Dispositivo asociado a un maestro, el cual realiza una petición de canales disponibles a la base de datos a través de su maestro asociado.
3. Base de datos de espacios en blanco: herramienta software administrada por la ANE que calcula la lista de canales disponibles y responde a una petición realizada por un dispositivo maestro de TVWS, entregándole la lista de canales que él puede usar. Para obtener dicha lista, se tiene en cuenta la ubicación geográfica del dispositivo, las asignaciones existentes en la banda respectiva (servicios primarios y secundarios) y las condiciones de coexistencia para garantizar la protección de dichos servicios (ANE, 2019).

Los antecedentes de proyectos implementados en el mundo con TVWS más lo adelantado por la ANE en Colombia son una base para investigar e implementar proyectos utilizando

esta tecnología tendientes a dar soluciones por ejemplo de internet en zonas rurales entre otras aplicaciones, una de las cuales es el contexto del presente proyecto.

2.1.1.1 Estado actual de TVWS en Colombia

Actualmente, Colombia gracias a la regulación y a la gestión que la ANE ha adelantado ya se han venido desarrollando varios proyectos utilizando dicha tecnología. Por ejemplo en noviembre del año 2020, el director general de la ANE, Miguel Felipe Anzola anunció que la entidad autorizó al Canal Telecaribe para realizar pruebas piloto en 12 zonas de la Costa Caribe para llevar a cabo un proyecto de conectividad con TVWS que busca atender zonas rurales dispersas, brindar servicios de conectividad en la región y ayudar al cierre de la brecha digital en campos como educación, Internet de las Cosas, agricultura de precisión, telemedicina entre otras iniciativas" (ANE, 2021).

Producto de lo anterior, Telecaribe y su programa "Telecaribe Conecta TVWS", ya dan internet a ocho escuelas de los Montes de María, donde más de 250 estudiantes ya se han beneficiado con el proyecto, la radio base estación se encuentra en el cerro La Pita y beneficia a los centros educativos de Villa Colombia, El Palmar, Las Mercedes, José Cárdenas, Capiro, El Camping, Las Babillas y Fernán Díaz (Digital Policy Law, 2021).

De otro lado, la Universidad Santo Tomás realizó un estudio de los canales disponibles en los TVWS en las instituciones educativas oficiales obteniendo en general un promedio mayor a 10 canales disponibles para dichas instituciones representando oportunidad de conectividad de las mismas (Vargas H., 2020). Asimismo, en el año 2020 se presentó un estudio para el despliegue de WiFi en zonas rurales del Ejército Nacional usando TVWS con resultados satisfactorios en el cerro de Manjuy cerca de la ciudad de Facatativá (Avendaño, Espíndola, & Montañez, 2020).

Finalmente, este año la ANE junto a la Universidad Santo Tomás presentó el proyecto que busca automatizar la información de disponibilidad de frecuencias a través de la consulta en línea de una Base de Datos de Espacios en Blanco (BDEB), proyecto que se encuentra en la segunda fase de desarrollo y para el cual se ha invitado a fabricantes de dispositivos TVWS a realizar pruebas en entornos reales y controlados. El propósito es poner en

funcionamiento la operación automática de la plataforma durante el año 2021 que redunde a su vez en el despliegue de los diferentes proyectos que pretendan el uso de los TVWS en el país (ANE, 2021) (El Tiempo, 2021).

2.2 Redes inteligentes (Smart Grids)

A nivel eléctrico, en los últimos tiempos, como resultado del desarrollo no solo del país sino del mundo entero, el consumo energético se ha incrementado enormemente. Por tanto, una manera de mejorar la producción, distribución y gestionar la energía eléctrica es introduciendo el concepto de Red Inteligente (RI) o Smart Grid.

Una red eléctrica inteligente se define como: aquella que utiliza las tecnologías de la información con un sistema de comunicación bidireccional seguro de manera integrada a través de todo el sistema de energía desde la generación hasta el consumidor final. (Alotaibi, A. Abido, Khalid, & V. Savkin, 2020). También se define como una red que puede integrar de manera inteligente las acciones de todos los usuarios conectados a ésta: generadores y consumidores con el objetivo de entregar eficientemente un suministro de electricidad sostenible, económico y seguro (Sánchez, 2016). En otras palabras, Smart Grids, son redes que incorporan las tecnologías de la información y la comunicación en cada aspecto de la generación, suministro y consumo de electricidad, todo ello con el fin de minimizar el impacto medioambiental, mejorar el servicio, reducir costos y aumentar la eficiencia (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016).

En general, una RI se entiende como una plataforma interactiva que consta de varias capas:

1. Capa de energía, la cual se refiere a la generación de energía, transmisión, distribución e infraestructura del cliente.
2. Capa de control de la energía, la cual proporciona a la red control y gestión.
3. Capa de comunicación, permite una comunicación bidireccional en el entorno de la red.
4. Capa de seguridad, que proporciona confidencialidad, integridad, autenticación y disponibilidad.

5. Capa de aplicación, que permite varias aplicaciones de RI a los clientes y a los operadores basada en la información de la infraestructura. (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014).

La Figura 1 muestra la arquitectura de una RI descrita junto a los elementos necesarios en cada capa para su implementación.

Aplicaciones de contadores y redes inteligentes			Aplicaciones de cliente				Capa de aplicación	
Autenticación, control de acceso, integridad de los datos, encriptación y privacidad							Capa de seguridad	
Telefonía móvil, WiMax, F.O.		PLC, DSL, Cable coaxial, Mallas RF		PLC, ZigBee, WiFi, Z-Wave			Capa de comunicación	
WAN		NAN/FAN		HAN/BAN/IAN				
PMUs	Bancos capacitivos	Seccionadores	Switches	Sensores	Transformadores	Medidores	Almacenamiento	Capa de control
Transmisión y generación			Distribución		Clientes			Capa de energía

Figura 1: Arquitectura multi capa de una RI

Fuente: (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014)

Dentro de la anterior arquitectura, la capa de comunicación es uno de los elementos más críticos, sin embargo, la tecnología AMI admite ciertas tecnologías de comunicación y de acuerdo al contexto de cada país se han desarrollado planes pilotos usando tecnologías como RFID, comunicaciones celulares, WiMax, fibra óptica, etc. (Inga, Arévalo, & Hincapié). En el entorno de las RI, la red de comunicaciones puede ser representada como una arquitectura multicapa jerárquica clasificada por rango de cobertura y velocidad de transmisión. En la Figura 2 se describen las principales características de los elementos de la jerarquía anotada.

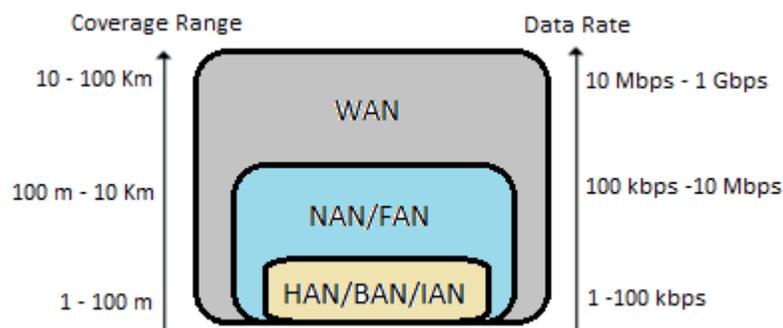


Figura 2: Requerimientos de velocidad y cobertura para las comunicaciones de RI

Fuente: (Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014)

Los requerimientos de comunicaciones para este tipo de redes son de bajo consumo de energía, bajo costo, simples y para entornos HAN, BAN e IAN se necesitan velocidades de transmisión de hasta 100 kbps con corto alcance (100 m) siendo ejemplos de esos sistemas: Zigbee, Wifi, Z-wave, PLC (Power Line Carrier), bluetooth y Ethernet. (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016).

Para aplicaciones NAN y FAN como por ejemplo medidores inteligentes, se requiere una transmisión de datos desde un gran número de clientes o dispositivos en campo hasta un concentrador de datos o subestación y viceversa, por tanto, esas comunicaciones requieren velocidades entre 100 kbps a 10 Mbps y una cobertura de hasta 10 Km. Esa comunicación se puede implementar mediante redes en malla Zigbee o Wifi, PLC, WiMax, cable coaxial, xDSL o telefonía celular. (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016)

Para aplicaciones WAN, como los controles de área extensa, monitorización y sistemas de protección, se requiere la transmisión de una gran cantidad de datos, con velocidades entre 10 Mbps y 1 Gbps y coberturas de hasta 100 Km. Ejemplos de sistemas de comunicación para este entorno son: Telefonía celular, WiMax, comunicaciones ópticas y por satélite (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016).

En Colombia se tiene actualmente un estudio llamado “Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia”, el cual fue realizado mediante convenio entre el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en cooperación técnica con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) cuyo objetivo fue identificar el marco más apropiado para llevar a cabo la implementación de las RI en el país. Dicho estudio muestra que partiendo de la situación actual y considerando las necesidades futuras se han encontrado que las RI pueden aportar importantes beneficios, entre los cuales están:

- *Mejora de la continuidad del suministro:* esto se lograría como resultado de la automatización de la red eléctrica con la cual se podría llegar a reducir el tiempo de interrupción del servicio de los actuales 29,47 h*usuario/año a 5,44 h*usuario/año.
- *Reducción de inversiones en la red eléctrica:* con el aporte de varias tecnologías de RI se lograría el aplanamiento de la curva de la demanda gracias a que permiten

desarrollar la gestión de la demanda activa y pasiva, (por el cambio de hábito de los consumidores) y además los sistemas de generación distribuida y de almacenamiento permiten aportar energía al sistema conllevando a reducir el pico de demanda en los momentos de máximo consumo.

- *Reducción de pérdidas técnicas y no técnicas:* la reducción de las pérdidas técnicas se fundamenta en la instalación de generación distribuida y las no técnicas se basa principalmente en la detección de la manipulación de la red eléctrica. Los beneficios previstos son de 3.403 GWh/año.
- *Aplanamiento de la curva de la demanda y reducción de inversiones en la red de transporte y distribución:* aumenta la capacidad del sistema eléctrico puesto que, en caso de aumentar la demanda, dicho aumento podría ser desviado a horas valle en la que la demanda es menor.
- *Reducción de emisiones:* el aumento de la eficiencia contribuye a reducir la cantidad de energía que se debe generar para satisfacer la demanda que junto a la incorporación de sistemas renovables permite reducir el porcentaje de energía generado por centrales térmicas que provocan la mayor cantidad de emisiones, además de las emisiones evitadas por la electrificación del transporte.
- *Creación de nuevos mercados en el ámbito de suministro eléctrico:* las RI suponen creación de nuevas tecnologías que abren puertas a nuevos mercados en el ámbito de instalación, operación, mantenimiento y explotación. (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016)

Adicionalmente en Colombia un grupo de empresas comercializadoras de energía han desarrollado una serie de proyectos piloto dirigidos hacia la implementación de tecnologías de RI al interior del país, los cuales se tratan más adelante. Los principales esfuerzos se centran en proyectos de Smart Metering (medición inteligente) desarrollados por empresas como Codensa, Electricaribe, EMCALI, EPM y EPSA. Dichos proyectos han incluido la instalación de medidores inteligentes, sistemas de pre-pago, sistemas de medición avanzados (AMI), entre otros. En este contexto se busca promover el desarrollo de las políticas, regulaciones y tecnologías adecuadas para la implementación de las tecnologías RI en Colombia. (Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME, 2016)

Al observar las diferentes ventajas que representa el implementar redes inteligentes de energía y los diversos proyectos realizados por varias empresas en Colombia, se infiere que el presente estudio se enmarca en un contexto de vanguardia y que cuenta con una buena referencia en cuanto a equipos para que IPSE los considere en su propósito.

2.2.1 Medidores inteligentes

El medidor inteligente es un elemento clave en la implementación de RI, pues es el que permite establecer la relación entre el usuario y el sistema eléctrico (operador del sistema). De manera general, los medidores inteligentes pueden estar provistos de dos tipos de tecnología: los primeros con tecnología AMR (Automatic Meter Reading) que son medidores de lectura automática, poseen comunicación unidireccional desde el usuario hacia el operador (central) y permiten enviar datos o variables de consumo con fines de seguimiento o de tarificación. Los otros medidores son los que cuentan con tecnología AMI (Advanced Metering Infrastructure), es decir, que poseen una conexión bidireccional inteligente entre el operador del sistema y los consumidores, para brindarles la información que necesitan y tomar decisiones que redunden en mayores beneficios. (Téllez, Rosero, & Céspedes, 2018)

La transmisión de la información desde el medidor hacia el centro de gestión se puede realizar de forma directa o a través de un concentrador de datos que recibe la información de un grupo de medidores y la transmite a dicho centro. Ese medio de comunicación puede ser cableado o inalámbrico con algún protocolo de seguridad de la información (Téllez, Rosero, & Céspedes, 2018).

En Colombia la “corporación ruta n” de la Alcaldía de Medellín y UNE en un informe de mercado de energía, mencionan los principales fabricantes y distribuidores de medidores inteligentes de energía en Colombia y el mundo, entre los cuales están: Landis+Gyr, ITRON, Elster, General Electric, Schneider Electric, Sensus, eMeter, Echelon, Eka systems y Trilliant (Corporación Ruta N, 2015). Algunas de estas marcas han tenido mayor penetración en el mercado colombiano y han sido homologados para su comercialización e implementación en nuestro país. Lo anterior se convierte en una gran oportunidad para IPSE de poder solucionar sus inconvenientes del registro de energía en las ZNI, máxime

cuando el propósito del gobierno es implementar esta tecnología a lo largo del territorio colombiano.

2.3 Zonas no interconectadas de Colombia (ZNI)

En Colombia gracias a la Ley 142 y 143 de 1994 se establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, referente al servicio público domiciliario de energía (Congreso de la República de Colombia, 1994) (Congreso de la República de Colombia, 1994). Para ello, el país cuenta con dos tipos de zonas, unas que corresponden al sistema interconectado nacional (SIN) que es el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, incluyendo las interconexiones internacionales, que transportan la energía desde las plantas de generación a las subestaciones de transformación y finalmente al consumidor final. Las otras, son las zonas no interconectadas (ZNI) que son aquellos municipios, corregimientos, localidades, caseríos, etc. que no pertenecen al SIN. (Artículo Ley 855-2003) (Congreso de la República de Colombia, 2003).

El Ministerio de Minas y Energía a través del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) atiende las necesidades energéticas de los habitantes que no cuentan con este servicio en las ZNI. Para ello, dicha entidad ya tiene caracterizado todo el territorio nacional por medio de este tipo de zonas y que corresponden al 51% del territorio nacional representados en 1798 localidades en 18 departamentos. (IPSE - Centro Nacional de Monitoreo, 2021). En la Figura 3 se muestra un contexto de las ZNI del país.

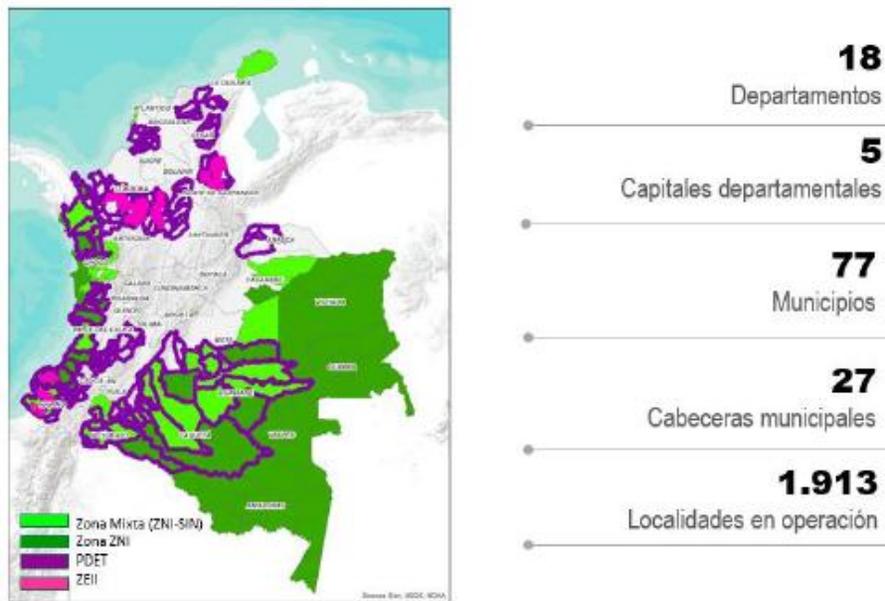


Figura 3: Contexto ZNI

Fuente: (IPSE - Centro Nacional de Monitoreo, 2021)

Actualmente el Centro Nacional de Monitoreo (CNM) que es un área misional del IPSE realiza actividades fundamentales para el seguimiento a la prestación del servicio de energía eléctrica en ZNI, todo encaminado a obtener información sobre la calidad del servicio y la validación y análisis de parámetros eléctricos para la planeación, toma de decisiones y elaboración de soluciones eléctricas estructurales. (IPSE - Centro Nacional de Monitoreo, 2021).

En este contexto, la implementación de la propuesta del presente proyecto redundará no solo en esos objetivos planteados por el CNM sino en optimizar el servicio de energía en esas regiones, de otro lado se convierte en un punto de partida para soluciones futuras en otras ZNI cuyas características topográficas sean similares a las de la Guajira y Putumayo foco de este proyecto previo estudio detallado de su cartografía a través de una plataforma robusta en sistemas información geográfica.

2.4 Legislación y Regulación

2.4.1 Caso TVWS

A nivel nacional, la ANE publicó recientemente la Resolución 181 de 2019, por medio de la cual se simplifica el marco normativo relacionado con la planeación y atribución del espectro radioeléctrico. En dicha resolución, se establecen las bandas de frecuencia de libre utilización, donde trata precisamente las atribuidas al servicio de radiodifusión de televisión, específicamente los TVWS son las frecuencias entre 470 MHz y 698 MHz que no estén asignadas en un área específica y que pueden ser usados por terceros sin causar interferencia a servicios primarios o secundarios en dicha área, además, se establecen las condiciones de operación de los dispositivos de radiocomunicaciones que hagan uso de los espacios en blanco (dispositivos de espacios en blanco) como: frecuencia de operación, potencia de transmisión, ganancia y altura de las antenas, entre otros. También se establecen los parámetros de utilización de la base de datos de los TVWS. Cabe mencionar que dicha resolución está enmarcada en estándares y en normatividad internacional como la IEEE 802.22 y la IEEE 802.11 entre otras (ANE, 2019).

2.4.2 Caso Smart Grids

El Ministerio de Minas y Energía publicó la Resolución número 40072 de 2018, por medio de la cual se establece los mecanismos para implementar la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en el servicio público de energía eléctrica. En ella se establece que el ámbito para implementar AMI incluye todos los agentes que intervienen en la prestación del servicio público de energía eléctrica tanto en el sistema interconectado nacional como en las ZNI. También se establecen las condiciones y características de operación de los dispositivos para implementar medición inteligente como: interoperabilidad, seguridad, actualización y configuración de equipos, calidad de servicio, entre otros.

Otro aspecto a resaltar en la Resolución mencionada es que establece que la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) debe establecer las condiciones para la implementación de la AMI en la prestación del servicio de energía eléctrica en el sistema SIN y que los operadores de red presentarán ante la CREG y ante el Ministerio de Minas y

Energía planes de implementación de AMI, teniendo como meta que en el año 2030 el 95% de usuarios urbanos y el 50% de usuarios de centros poblados y rurales deben estar conectados con este tipo de infraestructura. (Ministerio de Minas y Energía, 2018)

También a nivel nacional, la CREG expidió la Resolución 038 de 2014 en la cual se estipula todo lo concerniente al código de medida, relacionado con el servicio de energía eléctrica. En ella se estipulan aspectos como por ejemplo las características técnicas y requerimientos que deben cumplir los sistemas de medición, calibración, exactitud, tipos de medida, entre muchos otros. También define lo concerniente a los organismos de acreditación que son las entidades autorizadas por el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC) para expedir certificados de evaluación de la conformidad de todo lo relacionado con la prestación del servicio de energía, incluyendo equipos y medidores (CREG, 2014). Toda esta normatividad se articula y debe ser tenida en cuenta por IPSE en su propósito de implementar medidores inteligentes en las ZNI, además en el presente proyecto en el capítulo 3 se proponen medidores que cumplen con dichos requerimientos y tienen su respectivo certificado de conformidad.

2.5 Modelos de propagación

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radiopropagación de un ambiente dado. (Beciez, Florez, & Pérez). Predicen la pérdida por trayectoria que una señal RF pueda tener entre un transmisor y un receptor sea móvil o fijo. La finalidad de modelar las características de trayectoria entre las dos estaciones es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en alguna zona geográfica, en aras de poder hacer una estimación de los costos y requerimientos en la planificación de redes inalámbricas.

En términos generales, dicha finalidad se puede modelar mediante ecuación (1) que determina el nivel de potencia con la que se llega a un receptor:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{coTx} - L_{caTx} + G_{ATx} - L_{fs} + G_{ARx} - L_{coRx} - L_{caRx} \quad (1)$$

Donde

P_{Rx} : Potencia en recepción

P_{Tx} : Potencia de transmisión

L_{coTx} : Pérdidas por conectores en transmisión

L_{caTx} : Pérdidas por cable en transmisión

G_{ATx} : Ganancia de la antena de transmisión

L_{fs} : Pérdidas por espacio libre

G_{ARx} : Ganancia de la antena de recepción

L_{coRx} : Pérdidas por conectores en recepción

L_{caRx} : Pérdidas por cable en recepción

Para hallar las pérdidas de espacio libre (L_{fs}), se recurre a la ecuación (2):

$$L_{fs} = 32,45 + 20 \log_{10} f [MHz] + 20 \log_{10} d [Km] \quad (2)$$

Donde f es la frecuencia de operación y d la distancia entre el transmisor y el receptor

No obstante, existen modelos empíricos o estadísticos y modelos teóricos. Los empíricos o estadísticos se basan en mediciones para aproximar el valor mediano de la señal de potencia o campo eléctrico recibido en una trayectoria con condiciones particulares. Los modelos teóricos lo hacen en principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio (Beciez, Florez, & Pérez).

Para el presente estudio y considerando las zonas rurales de la Guajira y Putumayo, con sus características topográficas, distancias de los radioenlaces y frecuencias de operación, se eligieron los siguientes modelos de propagación:

2.5.1 UIT-R P.530-17

Es un método de cálculo determinístico válido para frecuencias mayores a 30 MHz, es adecuado para ambientes rurales con visibilidad directa, tanto en condiciones de cielo despejado como con lluvia e incorpora el análisis de viabilidad de radioenlaces digitales del servicio fijo. (Xirio Online, 2020).

2.5.2 Línea de Vista

Método de cálculo determinístico que proporciona predicción del nivel de señal únicamente en condiciones de despeje del trayecto, aplicando la atenuación por espacio libre. En general es un modelo para frecuencias entre 30 MHz y 40 GHz, además ideal para ambientes rurales (Anderson, 2003).

2.5.3 Longley Rice

También llamado ITM (*Irregular Terrain Model*), es un modelo semi-empírico el cual realiza una estimación promedio de propagación basándose en la información sobre la geometría del terreno y en las características refractivas de la tropósfera, aplica hasta distancias de 2000 Km y es aplicado a varios sistemas de comunicación, uno de ellos es comunicación punto a punto desde los 20 MHz a 20 GHz. Se utiliza para realizar predicciones de área, predice la atenuación media de una señal de radio en función de la distancia y la variabilidad de la señal (Cevallos & Polette, 2018).

2.6 Calidad de un radioenlace digital

La calidad de un radioenlace representa el grado en que éste esté en condiciones de dar el servicio, y se define en dos niveles: indisponibilidad y fidelidad, la primera se mide en minutos al año en los cuales el sistema no va a estar disponible, y la fidelidad se mide en SES que son los segundos al mes, en los cuales el radioenlace va a estar igualmente sin funcionar (Jaramillo A., 2015). Particularmente, la ITU distingue 2 tipos de interrupciones acorde a su duración y propone un umbral de 10 segundos así: si la interrupción es mayor a 10 segundos a 1 hora o más se afecta la calidad del sistema en cuanto a indisponibilidad y si es menor a 10 segundos, se relaciona con la calidad en cuanto a fidelidad (Murillo Fuentes, 2018). Es decir, por un lado la indisponibilidad es la pérdida del servicio durante un “tiempo grande” (10 segundos) y que se produce básicamente por la indisponibilidad de los equipos, por propagación y por lluvia, la fidelidad por su parte se relaciona con la pérdida de la calidad de la señal en “tiempos pequeños” y se da por el desvanecimiento de la señal, básicamente desvanecimiento plano y desvanecimiento selectivo.

Cabe destacar que la indisponibilidad por equipos está en términos de los valores del tiempo medio entre fallas (MTBF: Mean Time Between Failure) y el tiempo medio de reparo (MTTR:

Mean Time To Repair), sin embargo, actualmente la mayoría de fabricantes no proporcionan el dato de MTBF, y el dato del MTTR generalmente depende del operador dueño del radioenlace, por lo que suponer valores conllevaría a resultados muy relativos. De otro lado, la indisponibilidad por lluvia para frecuencias menores a 10 GHz se considera despreciable, por ello, para el presente proyecto, el cual considera frecuencias entre 470 MHz y 698 MHz, la indisponibilidad solo va estar condicionada por la propagación.

2.6.1 Parámetros y criterios de calidad en cuanto a fidelidad

Los criterios de calidad están dados en las recomendaciones UIT-T G.821 y G.826. El parámetro básico de la calidad en una transmisión digital es la tasa de error en los bits (BER) y se define y evalúa cuando tal sistema está disponible. A partir de este parámetro se definen otros para evaluar la calidad de los sistemas digitales.

- ES o segundo con errores (Errored Second): período de tiempo de 1 segundo en el que hay uno o más bits erróneos.
- SES o segundo con muchos errores (Severely Errored Second): período de 1 segundo en el que la tasa de errores BER es mayor que 10^{-3} .
- EFS o segundo sin errores (Error Free Second): período de 1 segundo en que no hay errores de bit.
- ESR o relación de segundos con errores (Errored Second Ratio): cociente entre ES y el número de segundos de un tiempo de medición.
- SESR o relación de segundos con muchos errores (Severely Errored Second Ratio): cociente entre SES y el número de segundos de un tiempo de medición.

Por tanto, la calidad en cuanto a fidelidad para radioenlaces digitales está en términos de los parámetros ESR y SESR. Los radioenlaces digitales presentan una característica de funcionamiento que, por debajo de cierto valor de la BER, la calidad queda limitada por el ruido de cuantificación, que es función del número de niveles de cuantificación, pero no de la potencia de la señal recibida. La BER se estima mediante la probabilidad de error de bit que depende de la relación energía por bit/densidad de potencia de ruido en la recepción del sistema de modulación y, eventualmente, de las interferencias y

distorsiones que afecten la señal digital. Los objetivos de calidad para los enlaces digitales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: *Objetivos de calidad para enlaces digitales*

Recomendación	Valor de calidad (fidelidad)	
	ESR	SESR
Grado local Rec. UIT-R F.697	0.012	0.00015
Grado local Rec. UIT-R F.696	0.012	0.0004
Grado local Rec. UIT-R F.594 Rec. UIT-R F.634	0.0032	0.00054

Fuente: Elaboración propia

En el caso de un radioenlace digital real, de longitud L , la recomendación UIT-R F.634 establece, para grado alto de cualquier mes, la siguiente distribución de objetivos de calidad:

- $ESR = \frac{L}{2500} * 0.0032 \quad 280 < L < 2500 \text{ km}$ (3)

- $ESR = \frac{L}{2500} * 0.00054 \quad 280 < L < 2500 \text{ km}$ (4)

- $0.0005 + \frac{L}{2500} * 0.00004 \quad L > 2500 \text{ km}$ (5)

2.6.2 Parámetros y criterios de calidad en cuanto a indisponibilidad

La recomendación UIT-R F.557 establece que el período de indisponibilidad comienza cuando, al menos en un sentido de transmisión y durante 10 segundos consecutivos como mínimo, se registran segundos con muchos errores y concluye cuando en los dos sentidos de transmisión y durante 10 segundos como mínimo no hay segundos con muchos errores. De otro lado, los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces digitales que prestan servicio en la porción de grado alto en una conexión ISDN se definen en las recomendaciones UIT-R F.557 y F.695. Se propone como valor provisional una indisponibilidad del 0.3% aunque en la práctica puede estar entre 0.1% y 0.5% y debe evaluarse durante un período suficientemente largo, (superior a un año) para que sea válido estadísticamente. La recomendación UIT-R F.695 estipula que el porcentaje del 0.3% se reparta de forma proporcional a la longitud del enlace, hasta una distancia mínima de 280

km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad permanece constante. Ahora bien, en un enlace de longitud L el objetivo de indisponibilidad total es:

$$U_T = \frac{0,3*L}{2500} \% \quad 280 < L \leq 2500 \text{ Km} \quad (6)$$

$$U_T = \frac{0,3*280}{2500} \% = 0.0336 \quad L \leq 280 \text{ Km} \quad (7)$$

Las normas ITU-R F.1703 e ITU-R F.1668-1 enmarcan todas las normas anteriores para indisponibilidad y fidelidad respectivamente. La primera estipula un porcentaje mínimo al año de 0,04% (Collantes, 2016) y la segunda estipula un porcentaje mínimo al mes de 0,015% (Rodríguez Bermudez, 2019).

Otros criterios de evaluación para determinar si el sistema cumple con un nivel de servicio adecuado en la transmisión de la información respectiva son: calidad de servicio (QoS) y seguridad. La seguridad en un sistema de comunicaciones se relaciona con cumplir 3 preceptos con la información que transporta dicho sistema: disponibilidad, integridad y confidencialidad de esa información y la QoS está relacionada con la relación señal a ruido (S/N de signal to noise) si el sistema es analógico, si es digital está relacionada con la relación portadora a ruido (C/N de carrier to noise) a su vez relacionada con la tasa de error de bit (BER). La relación C/N es uno de los parámetros más importante que se considera al evaluar el comportamiento de un sistema de comunicaciones por microondas (Tomasi, 2003).

Finalmente, para cumplir con los objetivos del presente proyecto solo se consideraron los criterios de evaluación de la calidad relacionados con la indisponibilidad y la fidelidad que concuerdan con los criterios de evaluación de radioenlaces de la plataforma Xirio.

Capítulo 3. Metodología

Actualmente IPSE abastece de energía a las ZNI de Colombia que son zonas geográficamente apartadas y en las cuales el servicio se hace principalmente mediante paneles solares, plantas de generación diésel, generación eólica, entre otras. Algunas de estas zonas son de difícil acceso, otras en terrenos montañosos, algunas en terrenos planos y en general son regiones de distintas características topográficas y climáticas. De esta variedad, IPSE eligió específicamente dos de ellas para realizar un estudio de viabilidad del uso de TVWS para recolectar la información de los medidores y enviarlos a la central respectiva, estas centrales son: la central de Nazareth en la Guajira y la central de Puerto Leguizamo en el Putumayo. La característica en común es que cada central abastece de energía a una localidad o caserío ubicado a cierta distancia. Por ejemplo, la central de Nazareth proporciona el servicio a Puerto Estrella a 18,8 Km y la central de Puerto Leguizamo da el servicio a La Tagua que está a 19,4 Km. En la Figura 4 y en la Figura 5 se observan las zonas entre Nazareth y Puerto Estrella y entre Puerto Leguizamo y La Tagua respectivamente.

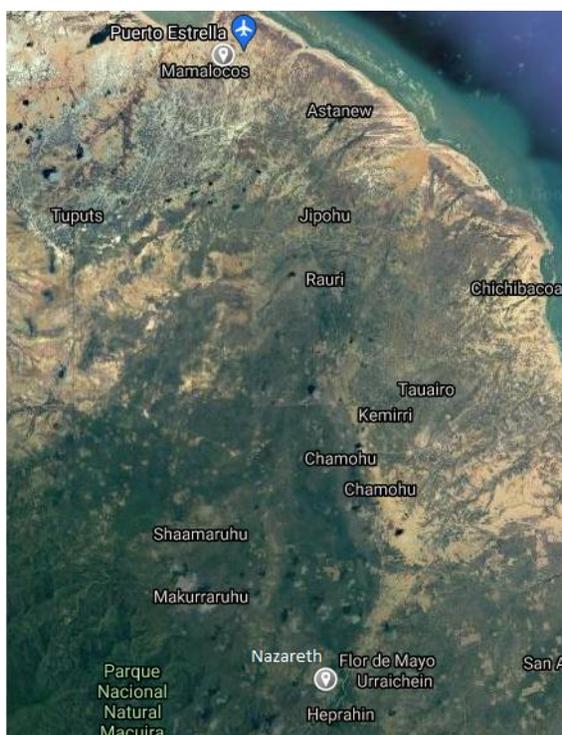


Figura 4: Nazareth (Guajira)

Fuente: SIG-OT Colombia

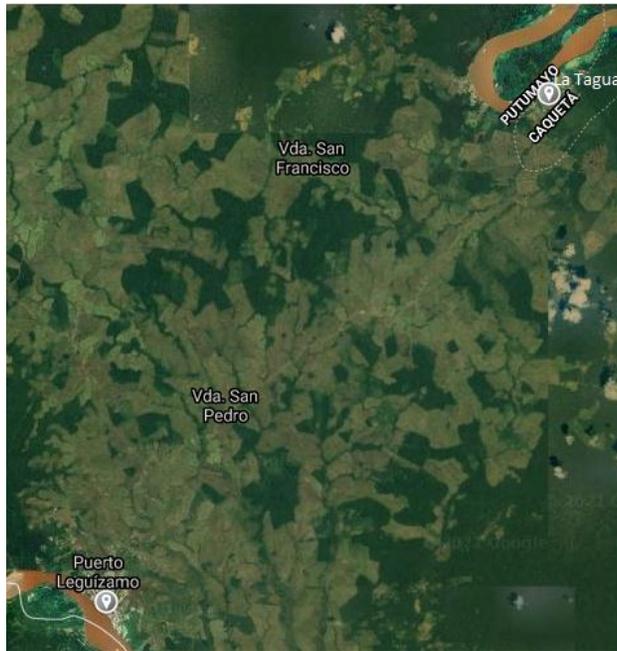


Figura 5: Puerto Leguizamo (Putumayo)

Fuente: SIG-OT Colombia

Como se observa, entre Nazareth y Puerto Estrella en la Guajira no hay elevaciones a considerar y la vegetación es escasa, mientras que entre Puerto Leguizamo y La Tagua en Putumayo se presenta un terreno ondulado y con poca vegetación.

Para desarrollar la metodología, se debe tener en cuenta que IPSE pretende implementar una arquitectura de red como la mostrada en la Figura 6, en la cual se observan sus diferentes secciones, desde los usuarios donde se realizan las medidas a través de los medidores inteligentes hasta la central de IPSE.

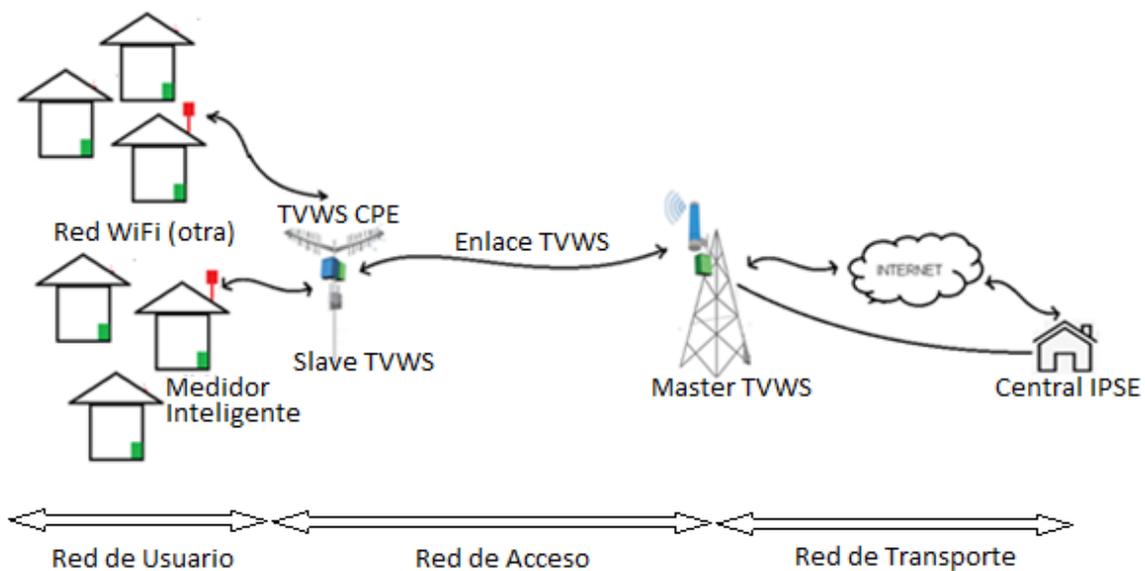


Figura 6: Arquitectura de red entre medidores y central

Fuente: elaboración propia

La red de usuario comprende entre los medidores inteligentes (casas) y un concentrador de datos el cual recoge la información de los medidores a través de una red en malla inalámbrica con licencia. Actualmente, existen en el mercado concentradores y medidores con módulo RF en la banda de los 900 MHz que podría ser una solución en esta red, tal es el caso de la marca ITRON descrita en el capítulo 2. Este concentrador es el que conecta la red de usuario con la red de acceso utilizando TVWS con el dispositivo esclavo, el cual se encarga de enviar a través de un enlace TVWS los datos proporcionados por dicho concentrador hacia el dispositivo TVWS maestro lo cual constituye la red de acceso, (la definición de estos dispositivos se tratan en el capítulo 2). Una vez los datos estén en el dispositivo maestro, éste por tener acceso a internet, los envía hacia las oficinas de IPSE a través de la red de transporte para su respectivo análisis y tratamiento. Un dispositivo maestro es capaz de atender a varios esclavos (y por lo tanto concentradores), que se ubican estratégicamente para lograr un cubrimiento amplio de la zona que se desee.

Debido a que el requerimiento de IPSE, tal cual como se estipuló en el anteproyecto, es evaluar de manera teórica mediante simulación por software la tecnología de TVWS para recolectar la información de los medidores inteligentes en las ZNI de Nazareth y Puerto Leguizamo, el alcance y la red pertinente para el presente trabajo es la red de acceso y

para cumplir con lo solicitado se configura un diseño metodológico que consta de 4 fases o etapas que se muestran en la Figura 7 y que se describen a continuación:

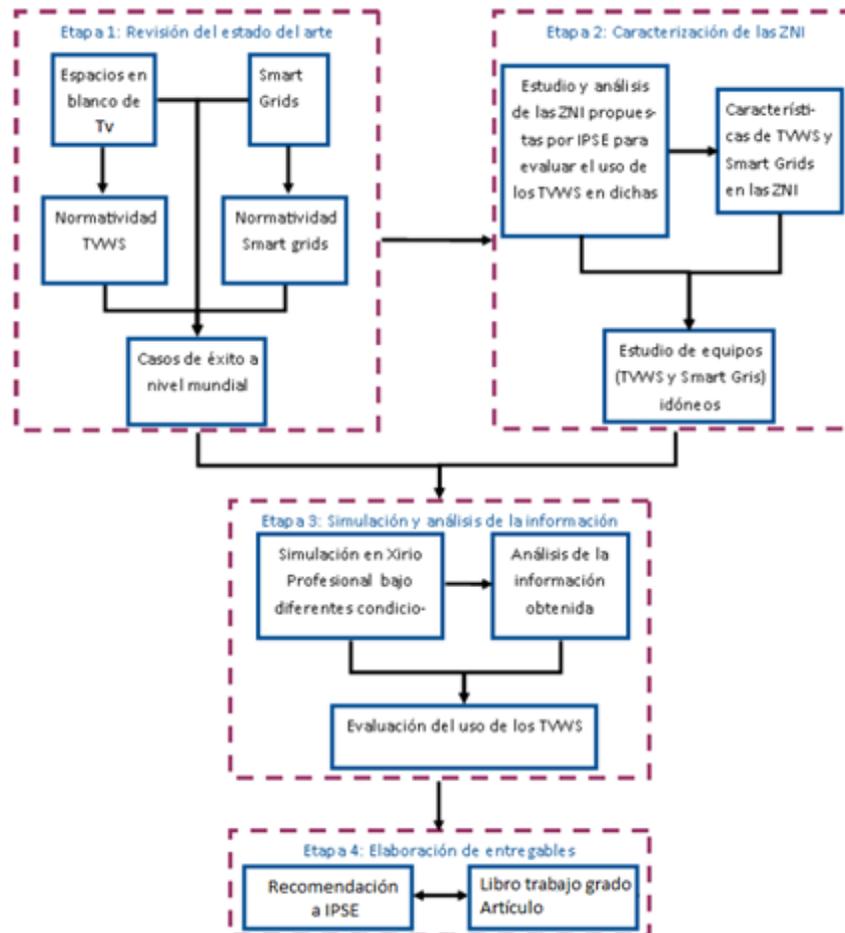


Figura 7: metodología del proyecto

Fuente: elaboración propia

La primera etapa que corresponde a la revisión del estado del arte, se realizó en el capítulo 2 en este orden: en primer lugar, en el numeral 2.1 se abordó la documentación sobre TVWS y el estado actual de los TVWS en el país, luego está lo correspondiente a la temática de Smart Grids en el numeral 2.2, posteriormente en el numeral 2.3 se trata las generalidades de las ZNI en Colombia. En la sección 2.4 está lo relacionado a regulación y normatividad a nivel nacional sobre estas dos tecnologías, luego, los modelos de propagación que por sus características fueron pertinentes para el proyecto se relacionan en la sección 2.5 y finalmente en la sección 2.6 se aborda lo correspondiente a la calidad

de un radioenlace digital bajo los criterios de calidad que se tuvieron en cuenta en este estudio.

La Etapa 2 correspondiente a la caracterización de las ZNI se trata en la siguiente sección:

3.1 Caracterización de las ZNI

La caracterización de las ZNI de Nazareth-Guajira y Puerto Leguízamo-Putumayo se estructura así: En la primera parte se caracterizan las ZNI como tal, para ello se usaron las siguientes herramientas: software licenciado ArcGIS® versión 10.6 e información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) del Geoportal Marco Geoestadístico Nacional Versión 2017 para los departamentos de la Guajira y Putumayo, además se tuvo en cuenta la información del Plan de Desarrollo Municipal de los municipios de Uribia y Puerto Leguízamo (2020-2023). En el anexo A se da una breve descripción de la plataforma y en el anexo B se presenta el protocolo de su configuración para dicha caracterización. Finalmente se realizó un estudio sobre los equipos de espacios en blanco y los medidores inteligentes que por sus características, son idóneos para ser implementados en esas zonas.

Es importante mencionar que si bien en uno de los objetivos específicos se manifestó que se iba hacer caracterización de las zonas con plataformas como ArcGIS® y QGIS, en la revisión de estos sistemas de información geográfica (SIG) se pudo determinar que ambas plataformas tienen sus bondades y también sus inconvenientes. Sin embargo ArcGIS® se destaca en su documentación, facilidad de uso y tiene muy buenas herramientas de geoprociamiento condicionadas al nivel de licencia que se disponga, aunque no es gratuito. Como el objetivo no era comparar los dos sistemas y porque además se tenía en su momento acceso a una licencia a través de una empresa, se decantó por utilizar ArcGIS® y no QGIS (que sí es gratuito), aunque finalmente para efectos del trabajo y la dimensión del mismo los resultados posiblemente habrían sido similares.

3.1.1 Localidad de Nazareth municipio de Uribia (Guajira)

El municipio de Uribia está ubicado al nororiente del departamento de La Guajira (ver Figura 8), abarca toda la región de la Alta Guajira y una parte de la Media Guajira donde se encuentra la cabecera urbana, que no pertenece al resguardo y cuya área disponible se extiende en un radio de 2.5 km, a partir del obelisco ubicado en el parque principal. Su extensión total es de 8200 Km², de los cuales 8194 Km² corresponde a un área rural y solo los 6 Km² restantes a urbana (Concejo Municipal de Uribia, 2020).



Figura 8: Municipio de Uribia Departamento de La Guajira

Fuente: Elaboración propia

- **Aspecto físico:** Los vientos son el gran factor que interviene en el clima del Municipio de Uribía, pues éstos no pueden descargar totalmente su humedad debido a la ausencia de sistemas montañosos de consideración donde solo la serranía de La Macuira (828 m.s.n.m), la serranía de Cojoro (700 m.s.n.m), la serranía de Jarara (853 m.s.n.m) y la serranía de Cosinas (305 m.s.n.m) logran algunas masas de aire cargadas de humedad que a su vez producen mayores precipitaciones en los microvalles y cañadas de estas

montañas generando bosques pequeños. Todo el municipio de Uribia se encuentra entre los 0 y los 1000 msnm, por lo cual posee un piso térmico cálido con una temperatura mayor a 24 grados centígrados, la cual se muestra regular a lo largo del año, sólo presentándose algún incremento entre los meses de junio a septiembre con máximos de 38 grados. De otro lado más del 60% de la temporada de lluvias se presenta durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, la cual es la principal y a veces la única pues en ocasiones en ningún otro mes del año vuelven aparecer lluvias, otro periodo lluvioso se presenta durante abril o mayo pero es de menor impacto. Son muy comunes las grandes precipitaciones, las cuales se concentran en pocos aguaceros pero de gran intensidad que pueden estar entre 80 y 181 mm en 24 horas, contrario a los largos periodos de sequía que pueden durar hasta 6 meses e inclusive más de 3 años como es el caso que afecta a toda la guajira en la actualidad (Concejo Municipal de Uribia, 2020).

El municipio de Uribia limita al norte con el océano Atlántico, por lo cual la brisa suaviza las temperaturas extremas pero a su vez incrementan la evapotranspiración potencial y dificultan el crecimiento de la vegetación. (Concejo Municipal de Uribia, 2020). Lo anterior hace que este municipio y en general la Guajira sea vista como una zona ideal para generar energía eólica y solar que sirva para cubrir no solo las necesidades del municipio y departamento si no de Colombia, tal cual lo plasma el actual plan de desarrollo del municipio de Uribia, donde se menciona que el potencial de la Guajira es de 21.000 Megavatios.

- **Aspecto político:** En cuanto a la división administrativa, el municipio de Uribia a través de elecciones populares elige un alcalde y un Concejo Municipal, además cuenta con 21 corregimientos: Nazareth, Puerto Estrella, Siapana, Cabo de la Vela, El Cardón, Wimpeshi, Guarerpa, Bahía Honda, Carrizal, Punta Espada, Castilletes, El Paraíso, Taroa, Casuso, Taguaira, Porshina, Irraipa, Taparajin, Urú, Jojoncito y Puerto López. (Concejo Municipal de Uribia, 2020). De otro lado, en su aspecto demográfico, según la proyección realizada por el DANE del año 2019, el municipio de Uribia tiene un total de 163.462 habitantes, de los cuales 7.409 (4,61%) son del área urbana y 153.302 (95,39%) del área rural. La proyección fue realizada por el DANE mediante el método de “Componentes Demográficos” y a nivel total municipal se aplicó el método

semidemográfico de “Relación de Cohortes” (DANE, 2019) (Concejo Municipal de Uribia, 2020).

Los datos anteriores revelan que solo un 4,61% de la población reside en el área urbana, lo cual contrasta con los demás municipios del departamento de la Guajira donde los promedios mayoritariamente son habitados en un porcentaje mayor al 51% en el área urbana. Además, según el censo del 2019 realizado por el DANE, el 95.8% corresponde a una población indígena Wayuu cuyas tradiciones se mantienen vivas, dicha tendencia se mantiene en la actualidad, a pesar de las diferentes circunstancias generadas por la situación de Venezuela y grupos armados al margen de la ley. (Concejo Municipal de Uribia, 2020).

En esta localidad se encuentra ubicada la central de energía operada por el IPSE, a su vez, esta central abastece de energía al corregimiento de Puerto Estrella, ambas locaciones están ubicados al nororiente del municipio de Uribia, el caserío correspondiente a Nazareth limita al occidente con la serranía de la Macuira, considerada como Parque Nacional Natural y declarada Zona de Reserva, hecho que le ha servido entre otras cosas para que sea uno de los caseríos con mayor crecimiento en cuanto a número de habitantes, afortunadamente, la ubicación de esta serranía no se encuentra entre las dos localidades, hecho que hubiera podido complicar el radioenlace entre las mismas.

En la Figura 9 dada por ArcGIS®, se muestra un mapa con dos ventanas cartográficas, la primera con la ubicación del corregimiento de Nazareth dentro del municipio de Uribia y la segunda con una visión más detallada de la localidad como tal. De mismo modo, la Figura 10, muestra lo propio para el corregimiento de Puerto Estrella.



Figura 9: Corregimiento de Nazaret, municipio de Uribia

Fuente: Elaboración propia

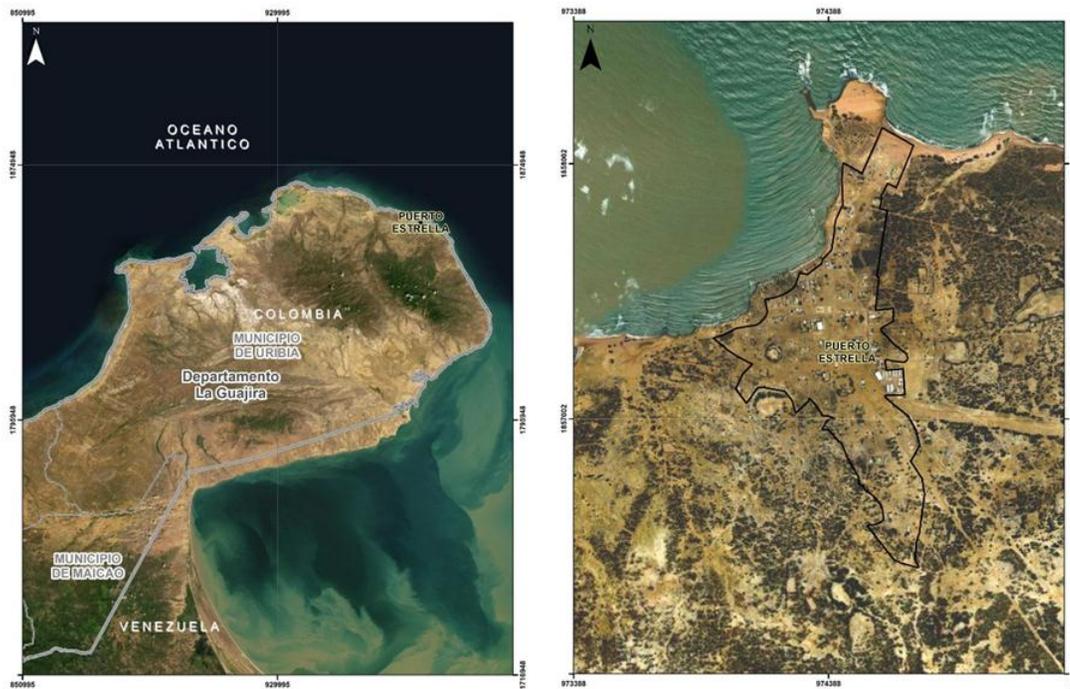


Figura 10: Corregimiento de Puerto Estrella, municipio de Uribia

Fuente: Elaboración propia

Actualmente en Nazareth hay aproximadamente 250 casas las cuales son dispersas entre sí, esto se tiene en cuenta tanto para la proyección de la red a implementar y la posible ubicación de los concentradores. En la Figura 11 se muestra una panorámica del caserío tomada desde inmediaciones de la Serranía de la Macuira, en ella se observa la torre de la antena del operador Claro que servirá como candidato para ubicar el dispositivo maestro del presente estudio



Figura 11: Vista de Nazareth

Fuente: Google Maps

Tanto Nazareth como en Puerto Estrella tiene cobertura el operador de telefonía celular “Claro”, este dato es importante porque el dispositivo maestro de espacios en blanco necesita tener conexión a internet para comunicarse con la base de datos de espacios en blanco y además porque las torres representan una posible ubicación de las antenas respectivas consideradas en el proyecto.

En la Figura 12, se muestra la localidad de Puerto Estrella, como se observa, sus casas son dispersas, dato que se tiene en cuenta para la distribución de los medidores inteligentes.



Figura 12: Vista de Puerto Estrella

Fuente: Google Maps

En la Figura 13 se puede ver que Puerto Estrella está al norte de Nazareth, ya limitando con el mar Caribe y la distancia aproximada entre los dos caseríos es de 18,3 Km. Según la información dada por la plataforma ArcGIS®, a lo largo de esos casi 18 Km, se presenta un relieve moderadamente escarpado, sin alturas de consideración y la vegetación es poca, variada pero no espesa. Puerto Estrella está a nivel del mar y Nazareth tiene una cota alrededor de los 45 msnm, datos a tener en cuenta a la hora de configurar la plataforma Xirio para realizar la simulación del enlace entre las dos localidades.

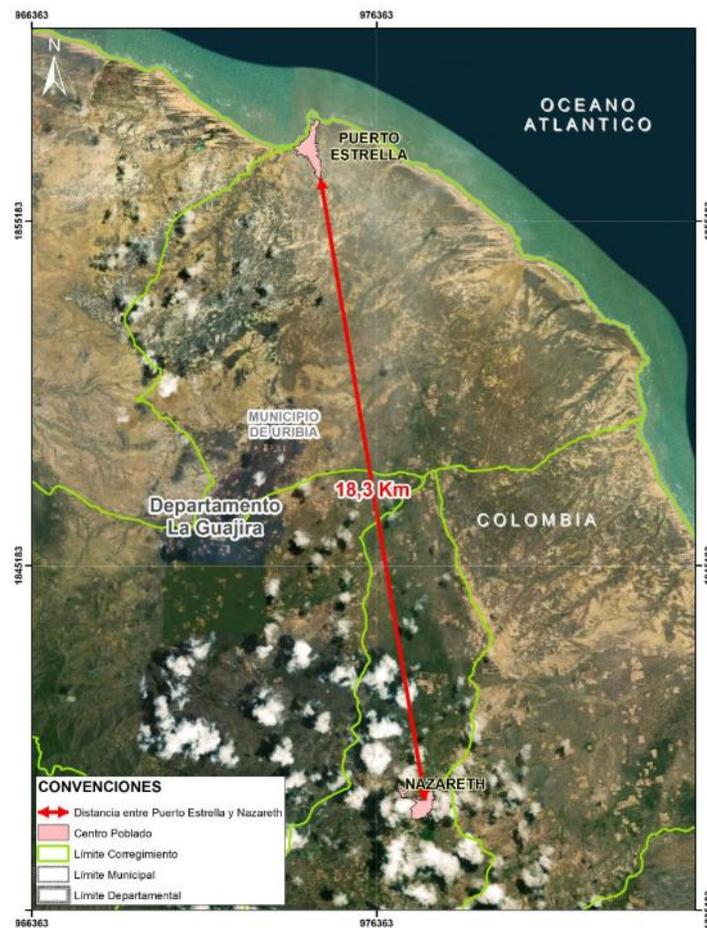


Figura 13: Distancia entre los caseríos de Nazareth y Puerto Estrella

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que anteriormente Nazareth contaba con un gran parque eólico que generaba energía para el corregimiento pero por los fuertes vientos los molinos se cayeron. Debido a ello, en lugar de recurrir a la energía eólica en su totalidad, IPSE optó por instalar una central que combinara generación eólica (algunos de ellos se conservan), solar y Diésel que entró a surtir de energía a las dos localidades (ver Figura 14).



Figura 14: Parte de la central de IPSE en Nazareth

Fuente: Elaboración propia

Según el CNM, el número de usuarios para la localidad de Nazareth es de 244 (61 casas aproximadamente), y para la localidad de Puerto Estrella de 146 (un aproximado de 37 casas), es decir, la central brinda energía a 390 usuarios (casi 100 casas en total). Ahora bien, en cuanto al número de horas del suministro de energía, en la mañana el servicio puede durar hasta 6 horas gracias a los enormes paneles que tiene la central (ver Figura 15) y en las noches, el suministro es de 6 pm a 10 pm, gracias a la planta Diesel. Esta información es importante para analizar la frecuencia al día con la que los medidores envían información pertinente hacia la central.



Figura 15: *Páneles solares de IPSE en Nazareth*

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la Tabla 2 muestran el comportamiento de consumo y las principales variables energéticas en la central que corresponden al informe suministrado por el CNM a febrero de 2021. En dicha tabla se puede ver el consumo de energía eléctrica para esta localidad en este mes, donde se encuentran los valores acumulados diarios de la energía activa, reactiva, aparente y del factor de potencia. Ahora bien, para usuarios residenciales como son los de las zonas en estudio, generalmente lo que los medidores reportan hacia la central es el dato de potencia o energía activa, dicho dato que se muestra en la tabla se almacenaría en el registro de memoria del medidor cuyo tamaño y junto a la frecuencia de lectura y el número de usuarios se tendrá en cuenta para calcular el ancho de banda necesario por concentrador en esta localidad.

Tabla 2: Energía activa, reactiva, aparente y factor de potencia

NAZARETH (URIBIA - LA GUAJIRA)				
Fecha	Energía Activa (kWh)	Energía Reactiva (kVARh)	Energía Aparente (kVAh)	Factor de Potencia (p.u)
Febrero 1, Lunes	247	100	266,73	0,93
Febrero 2, Martes	729	308	791,47	0,92
Febrero 3, Miércoles	754	290	807,87	0,93
Febrero 4, Jueves	756	297	812,31	0,93
Febrero 5, Viernes	771	317	834,08	0,92
Febrero 6, Sábado	734	334	806,58	0,91
Febrero 7, Domingo	768	295	822,71	0,93
Febrero 8, Lunes	793	310	851,44	0,93
Febrero 9, Martes	770	336	839,80	0,92
Febrero 10, Miércoles	660	267	711,83	0,93
Febrero 11, Jueves	777	313	837,47	0,93
Febrero 12, Viernes	682	275	734,92	0,93
Febrero 13, Sábado	1.061	485	1.166,28	0,91
Febrero 14, Domingo	813	289	862,85	0,94
Febrero 15, Lunes	892	356	960,20	0,93
Febrero 16, Martes	810	318	870,48	0,93
Febrero 17, Miércoles	806	343	876,44	0,92
Febrero 18, Jueves	809	315	868,52	0,93
Febrero 19, Viernes	1.205	501	1.304,92	0,92
Febrero 20, Sábado	1.142	489	1.242,38	0,92
Febrero 21, Domingo	753	275	801,89	0,94
Febrero 22, Lunes	726	253	769,20	0,94
Febrero 23, Martes	1.313	594	1.440,87	0,91
Febrero 24, Miércoles	761	299	817,62	0,93
Febrero 25, Jueves	710	265	758,35	0,94
Febrero 26, Viernes	1.416	632	1.550,71	0,91
Febrero 27, Sábado	796	398	890,21	0,89
Febrero 28, Domingo	659	337	739,80	0,89
TOTAL	23.115	9.590	25.025,30	0,92

Fuente: (IPSE - Centro Nacional de Monitoreo, 2021)

3.1.2 Localidad de Puerto Leguízamo, municipio de Puerto Leguízamo (Putumayo)

El municipio de Leguízamo se encuentra localizado en la subregión del Bajo Putumayo de la Amazonia Noroccidental de Colombia, su cabecera municipal se localiza aproximadamente a 380 km de Mocoa, desde donde se llega por vía terrestre hasta Puerto Asís en un recorrido de cerca 1 h 45 m, y de allí vía fluvial por el río Putumayo en un recorrido que dura cerca 6 horas. Es el municipio más extenso, cuenta con 11.640 Km² de los cuales cerca del 94% pertenece a zona rural (ver Figura 16). (Concejo Municipal de Leguízamo, 2020)



Figura 16: Municipio de Leguízamo Departamento del Putumayo

Fuente: Elaboración propia

- **Aspecto físico:** En general la topografía del municipio es plana (ligeramente ondulado), la pendiente puede oscilar entre 3% y el 20%, por lo que el piso térmico es cálido. Dentro de la jurisdicción del municipio está ubicado el parque nacional natural La Paya y se encuentra limitado por las hoyas hidro-geográficas de los ríos Caquetá y Putumayo por lo que en sus procesos erosivos han amoldado la topografía en terrazas y colinas que se localizan en la parte occidental del municipio, los suelos en su mayoría son ácidos de baja fertilidad natural e inestables. En cuanto al clima, Puerto Leguízamo tiene una precipitación de 3.217 mm, con dos periodos de lluvia y dos de verano, presenta una humedad relativa de 87% - 90%, una temperatura media de 28 °C, una altura máxima de 250 m.s.n.m. y una mínima de 95-100 m.s.n.m. (Concejo Municipal de Leguízamo, 2020).
- **Aspecto político:** El municipio está compuesto por su cabecera municipal, 3 corregimientos (Mecaya, Ospina y La Tagua), 5 inspecciones de Policía (Piñuña Negro, Nueva Apaya, Sencella, Yurilla e inspección de policía de la cabecera municipal), 71 veredas y 39 comunidades indígenas, para un total de 110 comunidades rurales (Concejo Municipal de Leguízamo, 2020). De otro lado, según la proyección realizada

por el DANE en 2019, el municipio de Puerto Leguízamo tiene un total de 29.494 habitantes, de los cuales 13.296 (45,08%) son de la cabecera municipal y 16.198 (54,92%) del resto. La proyección fue realizada mediante el método de “Componentes Demográficos (DANE, 2019) (Concejo Municipal de Leguízamo, 2020).

En esta ZNI se encuentra ubicada la central de energía que a su vez surte del servicio a la localidad de La Tagua ubicada aproximadamente a 19 Km al nororiente de la cabecera municipal y a Base Naval del ejército, ubicada en la periferia al sur oriente del casco urbano de Puerto Leguízamo. Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de este municipio, la cabecera cuenta con 18 barrios y es el principal polo de desarrollo del mismo. Puerto Leguízamo y La Tagua están comunicadas por medio de una vía terciaria que si bien no está en buen estado, por las condiciones del terreno, el cual es no montañoso, es transitable y los residentes de La Tagua acuden a la cabecera municipal para abastecerse de diferentes productos de consumo.

Es importante destacar y como se pudo comprobar con la plataforma ArcGIS®, a lo largo de la vía que une los caseríos de Puerto Leguízamo y La Tagua, se han ido apostando nuevas casas y por tanto nuevos usuarios que demandan del servicio de energía, de hecho, uno de los proyectos que tiene IPSE es dotar de este servicio a cada uno de los residentes de estas zonas. En la Figura 17 se muestra un mapa con dos ventanas cartográficas, la primera con la ubicación de la localidad de Puerto Leguízamo dentro del municipio y la segunda con una visión más detallada de la localidad como tal. Del mismo modo, la Figura 18 muestra lo propio para la localidad de La Tagua.

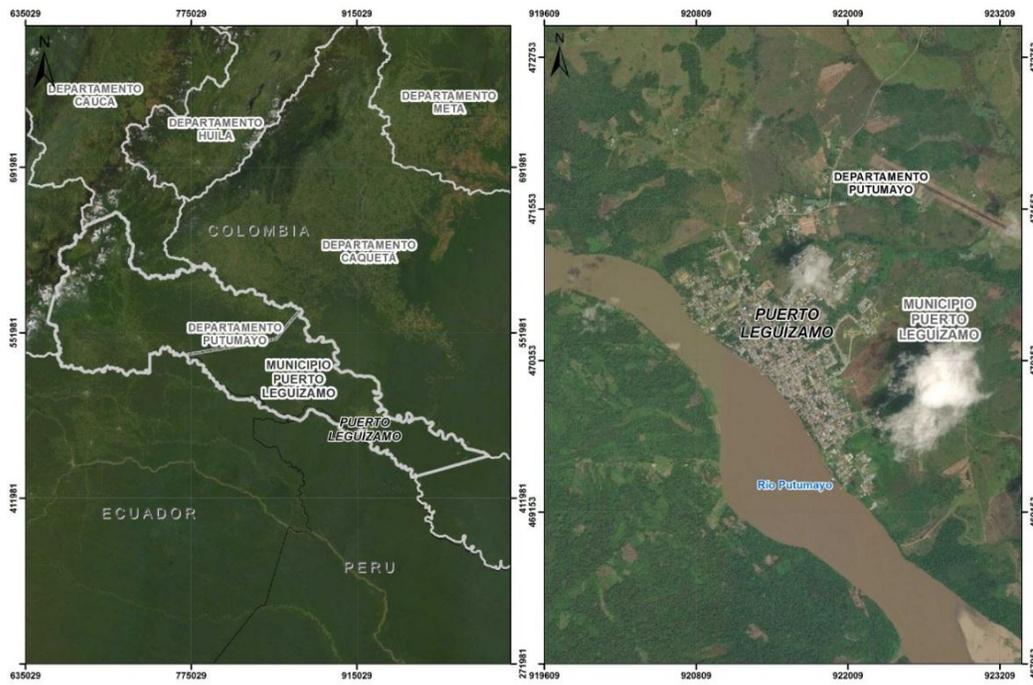


Figura 17: Localidad de Puerto Leguízamo, municipio de Leguízamo
 Fuente: Elaboración propia

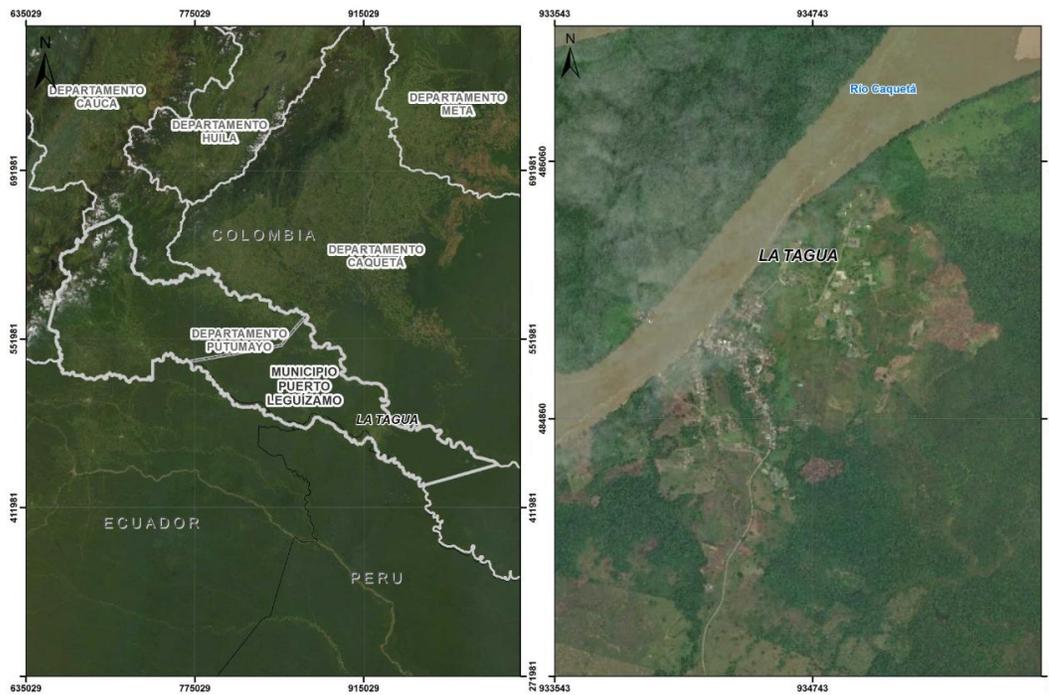


Figura 18: Localidad de La Tagua, municipio de Leguízamo
 Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 se puede ver que la distancia aproximada entre los dos caseríos es de 19,38 Km, y según la información dada por la plataforma ArcGIS®, a lo largo de este trayecto y en general de la zona, se presenta un relieve regular, terreno ondulado sin alturas considerables, y con ciertos tramos de vegetación (no espesa o poco densa), estos datos se tienen en cuenta a la hora de configurar la plataforma Xirio para simular el radioenlace entre las dos localidades. En dicha figura también se representan las curvas de nivel de la región, mostrándonos la plataforma ArcGIS® que dichas curvas de nivel están comprendidas entre los 140 y los 200 msnm (una diferencia de solo 60 metros aproximadamente). Este dato resulta muy importante a la hora de elegir los sitios de emplazamientos de las antenas del radioenlace.

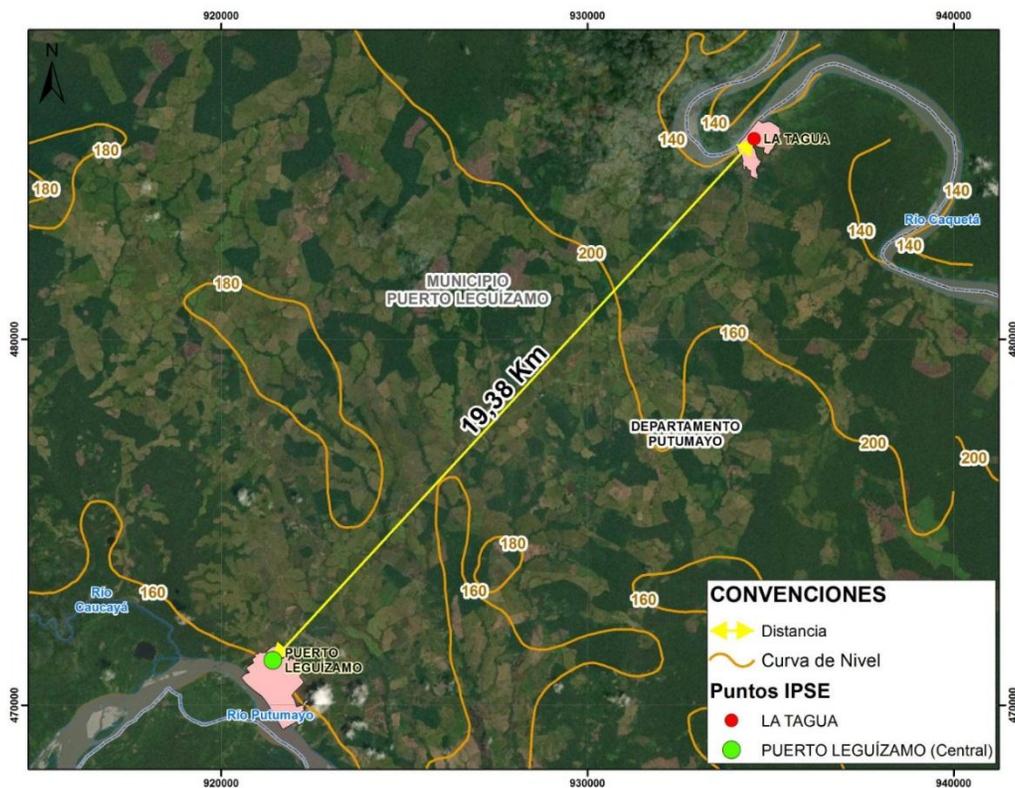


Figura 19: Distancia y curvas de nivel entre Puerto Leguízamo y La Tagua

Fuente: Elaboración propia

Complementario a lo anterior, la Figura 20 también dada por la plataforma ArcGIS® representa la elevación en la trayectoria entre las dos localidades, mostrando que la elevación mínima y máxima son aproximadamente 167 metros y 215 msnm y el promedio es de 185 m. Como se observa, los dos extremos que corresponden a los dos caseríos no

presentan línea de vista, de ahí la importancia de conocer la información topográfica al detalle suministrada por ArcGIS® para no solo elegir los sitios de emplazamiento de las torres si no la altura de las mismas.



Figura 20: Elevación en el trayecto entre La Tagua y Puerto Leguízamo

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 21 se observa una panorámica de la cabecera municipal de Puerto Leguízamo y la ubicación de la Base Naval al suroriente de la misma.

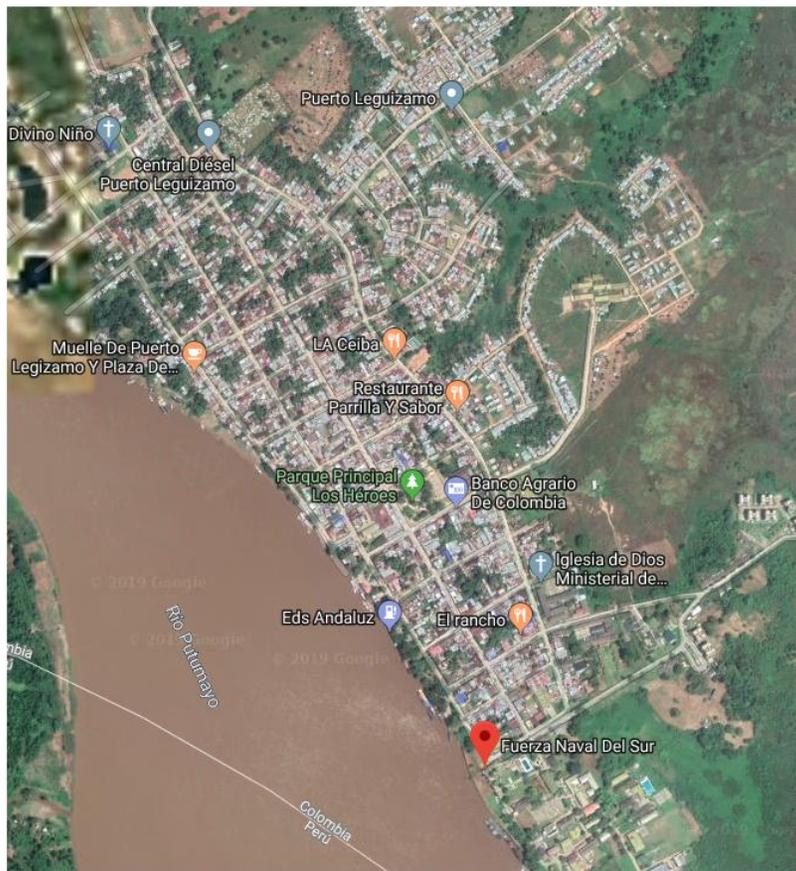


Figura 21: Vista de Puerto Leguízamo

Fuente: Google Maps

Es de anotar que Puerto Leguizamó cuenta con cobertura de telefonía celular, dato a tener en consideración porque el dispositivo de espacios en blanco maestro debe tener acceso a la base de datos respectiva administrada por la ANE a través de internet para poder hacer uso de los TVWS y porque son la primera opción para ubicar los dispositivos de TVWS.

La Figura 22 muestra la panorámica del caserío de La Tagua donde se observa que, aunque las casas son dispersas, el número total de ellas es muy reducido, lo cual se tiene en cuenta para la distribución de los medidores inteligentes de energía y para el cálculo del ancho de banda requerido en la transmisión de la información de dichos medidores.



Figura 22: Vista de La Tagua

Fuente: Google Maps

Finalmente, según información suministrada por el CNM, el número de usuarios de la central es de 3122 (800 casas aproximadamente) donde ya están incluidos los de La Tagua

con 214 usuarios (55 casas aproximadamente). (IPSE - Centro Nacional de Monitoreo, 2021)

Los datos de la Tabla 3 muestran el comportamiento de consumo y las principales variables energéticas en la central que corresponden al informe suministrado por el CNM a febrero de 2021. De nuevo, para usuarios residenciales el dato de la tabla que los medidores reportan hacia la central es el de potencia o energía activa que se almacena en el registro del medidor y junto a la frecuencia de lectura y el número de usuarios se tiene en cuenta para calcular el ancho de banda necesario por concentrador en esta localidad.

Tabla 3: Energía activa, reactiva, aparente y factor de potencia

PUERTO LEGUIZAMO (PUERTO LEGUIZAMO - PUTUMAYO)				
Fecha	Energía Activa (kWh)	Energía Reactiva (kVARh)	Energía Aparente (kVAh)	Factor de Potencia (p.u)
Febrero 1, Lunes	25.008	8.258	26.336,50	0,95
Febrero 2, Martes	23.946	8.034	25.258,09	0,95
Febrero 3, Miércoles	26.429	8.339	27.713,87	0,95
Febrero 4, Jueves	25.968	8.530	27.332,63	0,95
Febrero 5, Viernes	25.564	8.525	26.947,83	0,95
Febrero 6, Sábado	24.063	8.206	25.423,58	0,95
Febrero 7, Domingo	25.638	8.560	27.028,76	0,95
Febrero 8, Lunes	28.680	8.971	30.050,62	0,95
Febrero 9, Martes	29.342	9.371	30.802,25	0,95
Febrero 10, Miércoles	30.373	9.361	31.782,62	0,96
Febrero 11, Jueves	29.642	9.104	31.008,59	0,96
Febrero 12, Viernes	28.276	8.736	29.594,77	0,96
Febrero 13, Sábado	27.837	8.740	29.176,53	0,95
Febrero 14, Domingo	23.931	7.659	25.126,75	0,95
Febrero 15, Lunes	28.029	9.553	29.612,29	0,95
Febrero 16, Martes	25.973	8.072	27.198,08	0,95
Febrero 17, Miércoles	30.100	9.082	31.440,68	0,96
Febrero 18, Jueves	28.970	8.870	30.297,23	0,96
Febrero 19, Viernes	29.099	9.184	30.513,97	0,95
Febrero 20, Sábado	28.670	9.014	30.053,61	0,95
Febrero 21, Domingo	27.780	8.673	29.102,65	0,95
Febrero 22, Lunes	30.174	8.886	31.455,40	0,96
Febrero 23, Martes	26.858	8.508	28.173,68	0,95
Febrero 24, Miércoles	27.152	8.570	28.472,57	0,95
Febrero 25, Jueves	27.318	8.331	28.560,03	0,96
Febrero 26, Viernes	26.372	8.039	27.569,91	0,96
Febrero 27, Sábado	25.232	8.037	26.481,13	0,95
Febrero 28, Domingo	24.175	7.643	25.354,04	0,95
TOTAL	760.599	240.856	797.823,77	0,95

Fuente: (IPSE - Centro Nacional de Monitoreo, 2021)

3.2 Dispositivos en RI y TVWS propuestos para las ZNI

De acuerdo a la caracterización de las zonas descritas en la sección anterior, los dispositivos tanto de TVWS como de redes (medidores) inteligentes que se propone en cada caso, son dispositivos que se adaptan a dichas zonas y cumplen con la regulación vigente para el país. De esta manera, los dispositivos propuestos en redes inteligentes son del mismo fabricante de los medidores que actualmente IPSE ha implementado en algunas de sus centrales en las ZNI y ellos son: el medidor CENTRON C1S de ITRON, el módulo de comunicación conectado al medidor marca CENTRON C1SR R300 IDM y el concentrador de datos ITRON modelo CCU 100 tipo remoto. Las especificaciones técnicas de estos dispositivos están en el anexo C.

En cuanto a TVWS se proponen dos equipos transmisores diferentes para la estación base (maestro) y dos para la estación cliente (esclavo) así: como maestro el dispositivo RuralConnect Generation TVWS Radio G3: Base TVWS Radio de la marca Carlson con su respectivo cliente *RuralConnect Generation 3 CPE TVWS Radio*. La otra marca es Adaptrum ACRS2.0 Basestation (Ubiquitous Wireless Broadband with TV White Space Technology) y el equipo cliente respectivo el Adaptrum ACRS2.0 Client. Las especificaciones técnicas de estos dispositivos se encuentran en el anexo D. Estos dispositivos son los que se consideraron para realizar las simulaciones de los radioenlaces de las zonas en estudio.

3.3 Simulación y análisis

En esta etapa de la metodología se utilizó la plataforma tecnológica Xirio (profesional) en las dos ZNI bajo diferentes parámetros: en primer lugar, se realizó para 3 frecuencias diferentes, una al comienzo, en la mitad y otra al final de la banda donde están ubicados los TVWS (470 MHz – 698 MHz), ello con el objetivo de analizar y evaluar el comportamiento de los enlaces en toda la banda en estudio, además se consideraron dos equipos de espacios en blanco, su técnica de modulación y potencia de transmisión y también con dos modelos de propagación distintos que por sus características aplican para ambientes rurales de Colombia. En el anexo E se describe el protocolo tenido en cuenta para las simulaciones con esta plataforma. Cabe mencionar que también se realizaron

simulaciones en el software Radio Mobile, con el fin de poder contrastar los resultados obtenidos por Xirio.

A continuación se describe la configuración de los radioenlaces que se realizaron en cada una de las ZNI teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas y los resultados de los mismos se muestran en el capítulo 4.

3.3.1 Configuración Radioenlace Puerto Estrella-Nazareth

El primer paso fue estudiar el perfil entre Nazareth y Puerto Estrella, con la ayuda de ArcGIS® se determinó que no habían obstrucciones que pudieran impedir un radioenlace entre las dos locaciones. Ahora bien, para que el dispositivo maestro pueda hacer la solicitud a la base de datos de los canales libres a utilizar, éste debe tener conexión a internet, en este caso en la caracterización de la zona se determinó que Nazareth tiene cobertura celular con el operador Claro, por tanto, la idea es aprovechar esta situación e infraestructura ya instalada y ubicar allí el dispositivo maestro. En el caso del dispositivo esclavo en Puerto Estrella, se propone ubicarlo en la infraestructura de la torre del mismo operador.

En la Figura 23, se observa los sitios de emplazamiento de las antenas con sus respectivas coordenadas.

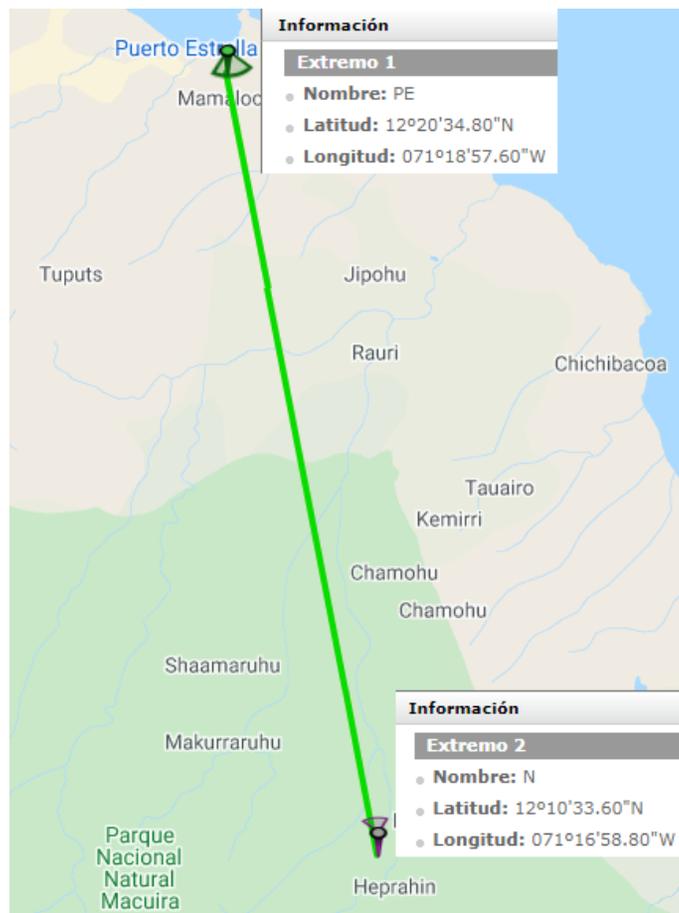


Figura 23: Emplazamiento de las torres en Nazareth y Puerto Estrella

Fuente: Elaboración propia

Ya con los sitios de ubicación de las torres se procedió a configurar los dispositivos necesarios para el radioenlace en Xirio. En cuanto a las antenas, se eligieron dos antenas de ganancia diferente: 16,14 dBi (en ambos extremos) y 11 dBi (en ambos extremos) y se eligieron 3 valores de frecuencia de operación diferentes: 494 MHz, 596 MHz y 686 MHz, que corresponden a los canales 18, 35 y 50 respectivamente.

Se consideraron dos alturas para las antenas: 30 metros (en ambos extremos) y 20 metros (en ambos extremos), estos valores desde un comienzo se consideraron gracias al perfil del terreno y porque con toda seguridad la altura de las torres del operador Claro instaladas es mayor. La polarización fue vertical, debido a que presenta un muy buen comportamiento

en cuanto a propagación y si bien la polarización horizontal, es más inmune al ruido generado por el hombre, por la naturaleza de la zona no aplica.

Respecto a los dispositivos TVWS, se consideraron: el RuralConnect Generation TVWS Radio 3G y el Adaptrum ACRS2.0. En cuanto a la potencia del transmisor, se eligieron dos diferentes: 11 dBm (en ambos extremos) y 12,6 dBm (en ambos extremos) y una modulación QPSK, cabe mencionar que los dos equipos tienen la capacidad de trabajar con modulaciones más eficientes pero por la naturaleza de la información a transmitir y por el número de usuarios de la zona (cantidad de datos a transportar) se consideró que no era necesario.

Finalmente, uno de los aspectos más importantes a la hora de analizar la viabilidad de un radioenlace es elegir correctamente el “Método de cálculo” ligado al modelo de propagación. En el presente estudio se consideraron dos modelos de propagación diferentes para la plataforma Xirio: el “UIT-R P.530-17” y el “Línea de Vista” que como se vio en la sección 2.5, son modelos que abarcan el rango de frecuencias de interés y se acomodan a las características de la zona donde se realizó el estudio. Para la plataforma Rabio Mobile, el modelo de propagación es el Longley Rice, que también es un modelo para zonas rurales.

En la Tabla 4 se muestra un resumen de los parámetros de simulación que se configuraron en cada uno de los extremos del radioenlace para la Guajira.

Tabla 4: *Parámetros de configuración de las simulaciones Puerto Estrella Nazareth*

Modelo de propagación	Frecuencia (MHz.)	Ganancia Antena (dBi)	Altura Antena (m)	Polarización	Potencia de Tx (dBm)	Modulación
UIT-R P.530-17	494	11	20	V	11	QPSK
Línea de Vista	596	16.14	30		12.6	
	686					

Fuente: Elaboración propia

Por último, es importante mencionar que cada parámetro configurado se consideró teniendo en cuenta la hoja de especificaciones técnicas de los dispositivos respectivos y acorde a la resolución 181 de 2019 de la ANE.

- *Análisis de la tasa de transmisión*

En lo referente a la tasa de transmisión, de acuerdo con los datos manejados por los medidores inteligentes, la información se almacena en una memoria (registro) de 48 Kbytes, con una frecuencia de lectura o censado cada 15 min (aunque es programable), entonces:

$$V_{med} = \frac{48 \text{ Kbytes}}{\text{medida}} * \frac{\text{medida}}{15 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}} = 426 \text{ bps} \quad (8)$$

Como IPSE da servicio en Puerto Estrella a 146 usuarios y teniendo en cuenta que según el DANE el promedio de personas por hogar es de 4, se tendrían 40 medidores aproximadamente, por tanto el almacenamiento del concentrador es:

$$V_{con} = V_{med} * 40 \text{ med} \quad (9)$$

$$V_{con} = 426 \text{ bps} * 40 = 17040 \text{ bps} \cong 17,1 \text{ Kbps} \quad (10)$$

Según las proyecciones de población realizadas por el DANE, basados en el último censo, la población rural en el país tiene un incremento de casi el 1% cada año. Para la Guajira el incremento es 1.05 % promedio anual (DANE, 2019). Con esta información para el año 2030 el incremento en el número de hogares que atendería IPSE seguiría siendo muy bajo. Por tanto, se considera mejor una escalabilidad al sistema planteado de un 10%, entonces:

$$V_{con} + 10\% \cong 18,8 \text{ Kbps} \quad (11)$$

Sin embargo, los equipos RuralConnect Generation TVWS Radio G3 y Adaptrum ACRS2.0 pueden operar a una tasa en el peor de los casos de 4 Mbps con modulación QPSK en un ancho de banda de 6 MHz (Adaptrum, 2020), así que no se tendría ningún inconveniente en cuanto a velocidad de transmisión en ese ancho de banda.

3.3.2 Configuración Radioenlaces La Tagua - Puerto Leguízamo

Para esta zona, es importante recordar que la central ubicada en Puerto Leguízamo abastece de energía a La Tagua y a Base Naval (Fuerza Naval al sur oriente del pueblo), por tanto, la idea inicial era tener un radioenlace, con un dispositivo maestro que recogiera los datos de los contadores de Base naval (y casas cercanas) y un esclavo que hiciera lo propio en La Tagua.

En la caracterización de la zona, se determinó que Base Naval es una institución pública y gracias a la plataforma ArcGIS® se pudo establecer que en dicho lugar hay dos torres, una de la emisora “Marina Stereo” y la otra de un operador celular, cualquiera de ellas podría servir perfectamente para ubicar la antena del dispositivo maestro, pues en dicho lugar también cuentan con internet. En el otro extremo, en La Tagua está ubicado el Batallón de Infantería de Selva No. 49 al noreste del caserío en donde existe dos torres dentro del mismo batallón, una de uso privado de la institución y la otra corresponde al operador de telefonía Celular Claro; por medio de ArcGIS® se comprobó que el sitio de las dos torres tenían buena cota, criterios suficientes para proponer esa infraestructura existente para la instalación del equipo TVWS.

Una vez definidos los puntos de emplazamiento se procedió a realizar una primera simulación con parámetros de enlace similares al caso de la Guajira, sin embargo, como se insinuó en la sección 3.1.2, el perfil del terreno no era idóneo para establecer un radioenlace porque no tenía línea de vista, por esta razón se procedió a aumentar la altura de las antenas al máximo permitido en la normativa ANE y el resultado fue el mismo. Se procedió entonces a buscar una cota más alta en el pueblo de Puerto Leguízamo, para ello y gracias a la plataforma ArcGIS® (utilizando las capas o shapes respectivos) se determinó las instituciones públicas del sitio: centros de salud, estaciones de policía, e instituciones educativas, e inclusive parroquias, ello con el fin de determinar las que pertenecían al municipio para ubicar la torre respectiva, sin embargo, tras hacer las simulaciones con varios puntos dentro del pueblo e inclusive en su periferia, el resultado dado por Xirio seguía sin línea de vista con La Tagua y sin cumplir los parámetros de calidad e indisponibilidad; las elevaciones entre las dos locaciones que si bien no eran elevadas, terminaron siendo muy perjudiciales en términos radioeléctricos. Todos esos resultados no se plasman en el

documento, pues no aportan mucho al proyecto, sin embargo, en la Figura 24 se puede ver el resumen de uno de esos “vanos fallidos” dados por Xirio.

RESUMEN DE CUMPLIMIENTO DE CALIDAD E INDISPONIBILIDAD					
Radiocanal	Trayecto	Despejamiento	Calidad	Indisponibilidad	Margen desv.
494 MHz / 1 / V	Directo	No	No	Sí	3,07
494 MHz / 1 / V	Inverso	No	No	Sí	3,07

Los siguientes resultados han sido calculados para el radiocanal con menor margen de desvanecimiento: 494 MHz / 1 / V y 494 MHz / 1 / V

RESULTADO VANO DIGITAL: LA TAGUA - PUERTO LEGUÍZAMO		
Datos del extremo	Extremo 1	Extremo 2
Nombre	La Tagua	Puerto Leguízamo
Longitud	74° 40' 3,78" W	74° 47' 4,8" W
Latitud	0° 3' 32,43" S	0° 11' 21,08" S

Figura 24: Resultado de un radioenlace fallido entre Puerto Leguízamo y La Tagua

Fuente: Elaboración propia

Después de lo anterior, la mejor opción parecía mover el punto del dispositivo maestro a un lugar de la vía que comunica ambos pueblos, o pensar en una estación repetidora. En tal sentido, la primera de ellas comenzó a tomar peso porque cuando se hizo la caracterización de la localidad se comprobó que a lo largo de dicha vía se estaban apostando nuevos usuarios de energía y que IPSE iba a querer monitorear para incluirlos en las bases de datos de la central estudiada. Por ello, se evaluaron varios puntos de emplazamiento considerando aspectos como: cota del sitio, fácil acceso para transportar y emplazar la torre, si hay infraestructura existente, internet para el equipo maestro, entre otras.

Después de varias pruebas con la plataforma ArcGIS®, se encontró un sitio con buena cota a un costado de la vía, cerca de varias casas y a 6,9 Km aproximadamente de Puerto Leguízamo, específicamente de Base Naval. Se determinó también que Movistar es el operador que da cobertura a Puerto Leguízamo y específicamente ese sitio candidato para ubicar el dispositivo maestro sí contaba con cobertura 3G. (Movistar, 2021). La idea ahora era tener un maestro con dos dispositivos esclavos, uno de ellos recogería la información de los medidores de la Tagua y el otro de los de Base Naval además de los usuarios de Puerto Leguízamo que son cubiertos por IPSE y que están ubicados al sur oriente del

pueblo, precisamente cerca de Base Naval pues al resto les presta servicio otra planta Diesel ajena a la empresa (Concejo Municipal de Leguízamo, 2020)

Por tanto los emplazamientos serían: dispositivo maestro a un costado de la vía entre Puerto Leguízamo y La Tagua a menos de 5 Km de la entrada del pueblo y que tendría la posibilidad inclusive de recoger la información de los usuarios cercanos (presentes y futuros) apostados sobre dicha vía, dispositivo esclavo 1 en La Tagua, al noreste del dispositivo maestro en la torre dentro del Batallón con una distancia de 13,73 Km y dispositivo esclavo 2, al sureste del maestro en la torre de Base Naval con una distancia de 6,91 Km. En la Figura 25, se observa los sitios de emplazamiento de las antenas con sus respectivas coordenadas que corresponden al sitio de las torres mencionadas.

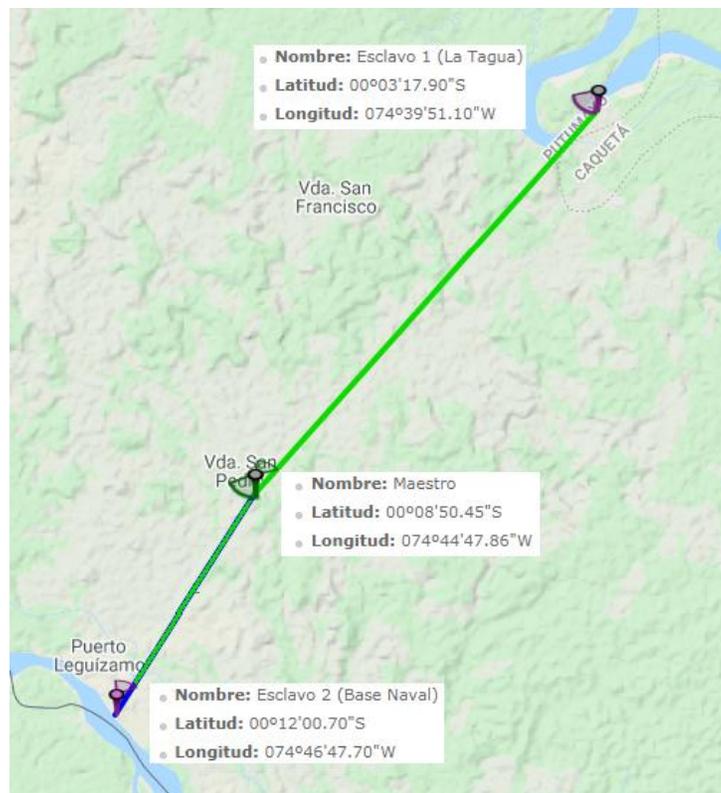


Figura 25: Emplazamiento de las torres Maestro, Esclavo 1 y Esclavo 2

Fuente: Elaboración propia

A continuación se describe la configuración de los dos radioenlaces mencionados: Maestro-Esclavo 1 (La Tagua) y Maestro-Esclavo 2 (Base Naval) en el Putumayo.

3.3.2.1 Configuración radioenlace Maestro – Esclavo 1 (La Tagua)

Siguiendo un análisis similar al de la Guajira, se consideraron los mismos dispositivos TVWS con los mismos parámetros, sin embargo, como ahora la antena del dispositivo maestro debe radiar hacia dos direcciones diferentes y casi opuestas se eligió una antena omnidireccional de 7 dBi de ganancia y polarización vertical y para la antena de La Tagua (esclavo 1) se hizo la simulación con dos antenas de 16,14 dBi y 11 dBi. La altura de ambos emplazamientos fue de 40 metros o 50 metros, datos acordes a la normatividad de la ANE. En la Tabla 5 se muestra un resumen de los parámetros configurados en cada uno de los extremos del radioenlace.

Tabla 5: Parámetros de configuración de las simulaciones Maestro-Esclavo 1

Modelo de propagación	Frecuencia (MHz.)	Antena (dBi)	Altura Antena (m)	Polarización	Potencia de Tx (dBm)	Modulación
UIT-R P.530-17	494	Maestro: 7	40		11	
Línea de Vista	596 686	Esclavo1: 11 y 16,14	50	V	12.6	QPSK

Fuente: Elaboración propia

El emplazamiento para la torre del dispositivo maestro no debería representar problemas debido al fácil acceso por su ubicación, además por el poco peso de los dispositivos (antena y equipo) sería suficiente una antena de celosía tipo arriostrada, las cuales son muy resistentes pero ligeras, versátiles y no necesitan grúa para su instalación. De otro lado, ya hay proyectos en TVWS que han implementado este tipo de antenas y del orden de la que se está proponiendo e incluso hay fabricantes que las diseñan a alturas superiores a los 100 m (Ferroval, 2021).

- *Análisis de la tasa de transmisión*

Realizando un análisis similar al de la Guajira y acorde a lo anotado en sección 3.1.2, el número de casas atendidas por IPSE en La Tagua es de 55, por tanto:

$$V_{con} = V_{med} * 55 \text{ med} \quad (12)$$

$$V_{con} = 426\text{bps} * 55 = 23413 \text{ bps} \cong 23,5 \text{ Kbps} \quad (13)$$

Considerando una escalabilidad del sistema planteado de un 10%, entonces:

$$V_{\text{con}} + 10\% \cong 25,8\text{Kbps} \quad (14)$$

3.3.2.2 Configuración radioenlace Maestro – Esclavo 2 (Base Naval)

Los resultados del enlace anterior (Maestro – Esclavo 1), mostraron que era suficiente tomar una altura del dispositivo maestro de 40 m, por tanto, para este radioenlace se tomó esa altura para el dispositivo maestro y la altura de la antena ubicada en la torre de Base Naval (Esclavo 2), 20 m y 30 m, la razón es porque el radioenlace es de apenas 6,91 Km y porque según la plataforma ArcGIS® en su trayectoria no había ningún obstáculo a considerar.

En la Tabla 6 se muestra un resumen de los parámetros de simulación que se configuraron en cada uno de los extremos del radioenlace.

Tabla 6: Parámetros de configuración de las simulaciones Maestro – Esclavo 2

Modelo de propagación	Frecuencia (MHz.)	Antena (dBi)	Altura Antena (m)	Polarización	Potencia de Tx (dBm)	Modulación
UIT-R P.530-17	494	Maestro: 7	Maestro: 40	V	11	QPSK
Línea de Vista	596	Esclavo 2:	Esclavo 2:		12.6	
	686	11 y 16,14	20 y 30			

Fuente: Elaboración propia

- *Análisis de la tasa de transmisión*

De la sección 3.1.2, el número de casas atendidas por IPSE en Base Naval (Pueblo Leguízamo) es de 730, por tanto:

$$V_{\text{con}} = V_{\text{med}} * 730 \text{ med} \quad (15)$$

$$V_{\text{con}} = 426 \text{ bps} * 730 = 310980 \text{ bps} \cong 311 \text{ Kbps} \quad (16)$$

De nuevo, considerando una escalabilidad del sistema planteado de un 10%, entonces:

$$V_{\text{con}} + 10\% \cong 342 \text{ Kbps} \quad (17)$$

Al final de esta etapa 3 de la metodología, se realizó el análisis de los datos obtenidos en cada radioenlace evaluando su calidad en cuanto a indisponibilidad y fidelidad acorde a la normatividad respectiva para finalmente evaluar el uso de los TVWS en las ZNI estudiadas para generar la recomendación a IPSE.

3.4 Elaboración de entregables

Finalmente, en la etapa 4 de la metodología, se realizó el documento del trabajo de investigación y un artículo relacionado con el mismo (en el anexo F se muestra el soporte de recibido del artículo enviado), también se da la recomendación a IPSE sobre el uso de la tecnología TVWS para recolectar los datos generados en los medidores inteligentes de energía en las dos ZNI propuestas por dicha empresa.

Capítulo 4. Resultados y Análisis

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en la plataforma Xirio y para su confrontación también se muestra los obtenidos con el software Radio Mobile. Los parámetros que se configuraron en la plataforma Xirio para establecer los radioenlaces entre las localidades de Nazareth y Puerto Estrella en el departamento de la Guajira y entre las localidades de Puerto Leguizamo y La Tagua en el departamento del Putumayo, se describieron en la sección 3.2.

4.1 Consideraciones iniciales

La distribución del espectro para TDT en Colombia, es decir, de los canales de televisión, está dado como se muestra en la Figura 26. Además, los espacios en blanco de televisión se ubican entre los 470 MHz y los 698 MHz.



Figura 26: Distribución del espectro para TDT en Colombia

Fuente: (ANE, 2018)

Para el presente estudio, se consideró todo lo estipulado en la Resolución 181 de 2019 tratada en el capítulo 2. Además, según el informe UIT-R SM.2405-0 en el cual considera un ancho de banda de 5 MHz para los canales de los dispositivos de espacios en blanco, de manera que las frecuencias centrales de los canales de dichos dispositivos coincidan con las frecuencias centrales de los canales de televisión (Fuente: UIT-R SM.2405-0). Dicho principio también aplica para el caso de Colombia donde el ancho de banda de los canales de televisión es de 6 MHz.

En cuanto a los objetivos de calidad para el proyecto y teniendo en cuenta que los radioenlaces tanto en la Guajira como en el Putumayo son cortos (menores a 280 Km) se consideraron los objetivos de indisponibilidad y fidelidad establecidos por la ITU en las recomendaciones ITU-R F.695, ITU-R F.696 y las recomendaciones ITU.R F.594 e ITU-R F.634 respectivamente (ver también normas ITU-R F.1703 para indisponibilidad y ITU-R F.1668-1 para fidelidad) (Rodríguez Bermudez, 2019) (Collantes, 2016) (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Objetivos de estudio

Parámetro	Objetivo
Indisponibilidad	0,04% (208 min/año)
Fidelidad	0,015% (389 seg/mes)

Fuente: Elaboración propia

4.2 Resultados

En esta sección se muestra todas las tablas con los resultados de cada uno de los radioenlaces teniendo en cuenta el árbol de simulaciones establecidas en el protocolo de simulaciones (ver anexo E).

4.2.1 Resultados radioenlace Guajira: Puerto Estrella – Nazareth

4.2.1.1 Resultados Xirio

En la Tabla 8 y en la Tabla 9 se observa los resultados del radioenlace en la Guajira con la plataforma Xirio para los modelos de propagación UIT-R P.530-17 y Línea de Vista respectivamente.

Tabla 8: Resultados Xirio radioenlace Puerto Estrella-Nazareth (UIT-R P.530-17)

Xirio Nazareth - Puerto Estrella													Valor teórico	
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)	
RuralConnect Sens=-95,2 dBm	11	20	12,6	494	-86,87	8,33	11,13	0,00058	0,00031	0,0048	0,0025	19,33	-80,62	
				596	-89,92	5,28	8,08	0,00142	0,00074	0,0118	0,0062	16,28	-82,25	
				686	-91,45	3,75	6,55	0,00232	0,00122	0,0193	0,0101	14,75	-83,47	
		Adaptrum Sens=-98 dBm	11	12,6	494	-88,47	6,73	9,53	0,00084	0,00044	0,0070	0,0037	17,73	-82,22
					596	-91,52	3,68	6,48	0,00205	0,00107	0,0171	0,0089	14,68	-83,85
					686	-93,05	2,15	4,95	0,00335	0,00176	0,0279	0,0147	13,15	-85,07
	30	12,6	494	-84,27	10,93	13,73	0,00032	0,00017	0,0027	0,0014	21,93	-81,82		
			596	-85,92	9,28	12,08	0,00056	0,00030	0,0047	0,0025	20,28	-83,45		

Xirio Nazareth - Puerto Estrella													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
				686	-87,15	8,05	10,85	0,00086	0,00045	0,0072	0,0038	19,05	-84,67
11	11	11	494	-85,27	9,93	12,73	0,00040	0,00021	0,0034	0,0018	20,93	-83,42	
			596	-87,52	7,68	10,48	0,00081	0,00043	0,0068	0,0036	18,68	-85,05	
			686	-88,75	6,45	9,25	0,00124	0,00065	0,0104	0,0054	17,45	-86,27	
	20	12,6	494	-76,49	18,71	21,51	0,00005	0,00003	0,0004	0,0002	29,71	-70,34	
			596	-79,64	15,56	18,36	0,00013	0,00007	0,0011	0,0006	26,56	-71,97	
			686	-81,27	13,93	16,73	0,00022	0,00012	0,0019	0,0010	24,93	-73,19	
		11	494	-78,09	17,11	19,91	0,00008	0,00004	0,0006	0,0003	28,11	-71,94	
			596	-81,24	13,96	16,76	0,00019	0,00010	0,0016	0,0008	24,96	-73,57	
			686	-82,87	12,33	15,13	0,00032	0,00017	0,0027	0,0014	23,33	-74,79	
	30	12,6	494	-73,99	21,21	24,01	0,00003	0,00002	0,0002	0,0001	32,21	-71,54	
			596	-75,64	19,56	22,36	0,00005	0,00003	0,0004	0,0002	30,56	-73,17	
			686	-76,87	18,33	21,13	0,00008	0,00004	0,0007	0,0004	29,33	-74,39	
11		494	-75,59	19,61	22,41	0,00004	0,00002	0,0004	0,0002	30,61	-73,14		
		596	-77,24	17,96	20,76	0,00008	0,00004	0,0006	0,0003	28,96	-74,77		
		686	-78,47	16,73	19,53	0,00012	0,00006	0,0010	0,0005	27,73	-75,99		

Tabla 9: Resultados Xirio radioenlace Puerto Estrella-Nazareth (Línea de Vista)

Xirio Nazareth - Puerto Estrella													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
				RuralConnect Sens=-95,2 dBm	11	20	12,6	494	-64,68	30,52	33,32	3,51E-06	1,84E-06
596	-66,33	28,87	31,67					6,19E-06	3,25E-06	5,16E-05	2,71E-05	39,87	-82,25
686	-67,56	27,64	30,44					9,46E-06	4,97E-06	7,89E-05	4,14E-05	38,64	-83,47
11	494	-66,28	28,92				31,72	5,08E-06	2,66E-06	4,23E-05	2,22E-05	39,92	-82,22
	596	-67,93	27,27				30,07	8,95E-06	4,70E-06	7,46E-05	3,92E-05	38,27	-83,85
	686	-69,16	26,04				28,84	1,37E-05	7,18E-06	1,14E-04	5,98E-05	37,04	-85,07
30	12,6	494	-69,88			25,32	28,12	1,16E-05	6,10E-06	9,69E-05	5,08E-05	36,32	-81,82
		596	-71,53			23,67	26,47	2,05E-05	1,08E-05	1,71E-04	8,97E-05	34,67	-83,45
		686	-72,76			22,44	25,24	3,13E-05	1,64E-05	2,61E-04	1,37E-04	33,44	-84,67
	11	494	-71,48			23,72	26,52	1,68E-05	8,82E-06	1,40E-04	7,35E-05	34,72	-83,42
		596	-73,13			22,07	24,87	2,96E-05	1,56E-05	2,47E-04	1,30E-04	33,07	-85,05
		686	-74,36			20,84	23,64	4,53E-05	2,38E-05	3,77E-04	1,98E-04	31,84	-86,27
16.14	20	12,6	494		-54,4	40,8	43,6	3,29E-07	1,73E-07	2,74E-06	1,44E-06	51,80	-70,34
			596		-56,05	39,15	41,95	5,81E-07	3,05E-07	4,84E-06	2,54E-06	50,15	-71,97
			686		-57,28	37,92	40,72	8,87E-07	4,66E-07	7,39E-06	3,88E-06	48,92	-73,19
		11	494		-56	39,2	42	4,76E-07	2,50E-07	3,97E-06	2,08E-06	50,20	-71,94
			596		-57,65	37,55	40,35	8,39E-07	4,41E-07	7,00E-06	3,67E-06	48,55	-73,57
			686		-58,88	36,32	39,12	1,28E-06	6,73E-07	1,07E-05	5,61E-06	47,32	-74,79
	30	12,6	494		-59,6	35,6	38,4	1,09E-06	5,72E-07	9,08E-06	4,77E-06	46,60	-71,54
			596		-61,25	33,95	36,75	1,92E-06	1,01E-06	1,60E-05	8,41E-06	44,95	-73,17
			686		-62,48	32,72	35,52	2,94E-06	1,54E-06	2,45E-05	1,28E-05	43,72	-74,39
		11	494		-61,12	34,08	36,88	1,55E-06	8,12E-07	1,29E-05	6,77E-06	45,08	-73,14
			596		-62,85	32,35	35,15	2,78E-06	1,46E-06	2,32E-05	1,22E-05	43,35	-74,77
			686		-64,08	31,12	33,92	4,25E-06	2,23E-06	3,54E-05	1,86E-05	42,12	-75,99

De la Tabla 8, se puede ver que para el modelo de propagación UIT-R P.530-17, el “peor” caso del sistema se da para el dispositivo RuralConnect en su configuración: antena de 11 dBi de ganancia (en transmisión y en recepción), altura de ambas de 20 m, potencia de transmisión de 11 dBm y para una frecuencia de 686 MHz. Para esa configuración, el margen de desvanecimiento (MD) para ese dispositivo es de 2,15 dB, que si bien es positivo, se tiene una indisponibilidad de 0,00335.

El objetivo de indisponibilidad según la recomendación considerada es de 0,04, y por tanto estaría dentro del objetivo planteado, sin embargo, analizando el porcentaje de disponibilidad para este caso, según lo visto en el capítulo 2:

$$disp = 1 - ind = 1 - 0,00335 = 0,99665 \quad (18)$$

En porcentaje, quiere decir que la disponibilidad o confiabilidad es del 99,665%, que según el tipo de servicio podría no ser muy buena, sin embargo, por la naturaleza del servicio y la tasa de información a enviar por el radioenlace en la Guajira vistos en la sección 3.3, esto no representaría mayor inconveniente.

En cuanto a la calidad por desvanecimiento, el “peor” caso también se presenta en esa misma configuración para ese dispositivo RuralConnect donde se obtiene la mayor probabilidad por desvanecimiento (0,027), mayor inclusive al objetivo de la norma que es de 0,015. No obstante lo anterior, la configuración en cuestión se da para una ganancia de solo 11 dBi en ambas antenas y con una potencia de 11 dBm, que son valores muy por debajo de los permitidos en la norma de la ANE (16,14 dBi y 12,6 dBm respectivamente). Ahora bien, según las especificaciones técnicas, la potencia máxima dada por el dispositivo RuralConnect es de 21 dBm, por lo que aumentar la potencia no representa ningún costo adicional, sin sobrepasar obviamente el máximo permitido y con ello el caso podría fácilmente ser resuelto.

De otro lado, el dispositivo Adaptrum para esa misma configuración, concuerda con el RuralConnect, en el sentido que se tiene la mayor indisponibilidad (0,00176), sin embargo, es mucho mejor que el objetivo propuesto. En cuanto a la calidad por desvanecimiento, se

tiene un valor de 0,014 que es menor al de la norma y en teoría el radioenlace no tendría problema alguno.

Contrario a lo anterior, el mejor caso para este modelo de propagación se da para la configuración: ganancia de 16.14 dBi en ambas antenas, a una altura de 30 m para transmisión y recepción, con una potencia de 12,6 dBm y para una frecuencia de 494 MHz. En este caso, se obtiene una indisponibilidad de 0,00003 y 0,00002 para el dispositivo RuralConnect y Adaptrum respectivamente.

Con lo anterior, para el dispositivo RuralConnect se tiene:

$$disp = 1 - ind = 1 - 0,00003 = 0,99997 \quad (19)$$

Es decir, se tendría una disponibilidad de 99,997% que es un valor mucho mayor, propio de servicios “más exigentes”. De nuevo, por la naturaleza de la información a enviar en la Guajira y el ancho de banda requerido, esta configuración quizá sea un poco sobredimensionada.

En cuanto a la calidad por desvanecimiento en esa misma configuración se tiene 0,0002 y 0,0001 para los dispositivos RuralConnect y Adaptrum respectivamente, ambos mucho mayores a 0,015 que es el objetivo de la norma.

El modelo Línea de Vista (Tabla 9) tiene un mejor comportamiento que el ITU-R P.530-17, pues en cada configuración se observa que los niveles de potencia en la recepción son mayores, y por ende se tendría una disponibilidad igualmente mayor y un porcentaje de desvanecimiento menor (mejor fidelidad) al de la norma para cada dispositivo.

Para este modelo, la “peor” configuración del sistema se da para: antenas de 11 dBi, a 30 metros de altura, con una potencia de 11 dBm y para una frecuencia de 686 MHz. En este caso la indisponibilidad es de $4,53 \times 10^{-5}$ y $2,38 \times 10^{-5}$ para el dispositivo RuralConnect y Adaptrum respectivamente.

Para el equipo RuralConnect que tiene un valor de indisponibilidad mayor entre ambos, se tiene:

$$disp = 1 - ind = 1 - 4,53 * 10^{-5} = 0,99995 \quad (20)$$

Es decir, en el peor de los casos se tendría una disponibilidad del 99.995% que es un valor que satisface con creces el servicio que se propone.

Una diferencia entre los dos modelos de propagación es que mientras con el modelo ITU-R P.530-17 se obtienen mayores valores de indisponibilidad para una altura de antenas de 20 m, con el modelo Línea de Vista esa situación se da para una altura de 30 m, sin embargo, una altura de 30 metros no supondría mayor problema pues la propuesta se hace para ubicación de antenas en infraestructuras ya instaladas de operadores celulares que con toda seguridad son torres de mínimo 50 m.

Una característica común en los resultados con Xirio es que el radioenlace tiene un comportamiento mejor en las frecuencias bajas del rango estipulado para TVWS (470 MHz -698 MHz) y se obtiene mayor indisponibilidad en las frecuencias altas de ese mismo rango, sin que ello represente mayor inconveniente en el servicio.

De otro lado, referente a la relación energía de bit a densidad de potencia de ruido (E_b/N_0), se analizó desde el punto de vista teórico mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} X \frac{B}{f_b} \quad (21)$$

Donde

C/N : Relación de potencia de portadora a ruido

B/f_b : Relación de ancho de banda de ruido a frecuencia de bit

En ese sentido, los valores de la relación E_b/N_0 mostrados en las tablas anteriores, al ser relativamente grandes muestran que el comportamiento de los radioenlaces no tendrían ningún inconveniente en cuanto a la velocidad de transmisión. En efecto, se tiene un ancho de banda de 6 MHz que corresponden a un canal de televisión para transmitir pocos datos.

Ahora bien, si se halla el valor de la potencia teórica obtenida mediante la ecuación vista en la sección 2.5, se observa que es menos exigente sobre todo a distancias grandes, la razón de ello es que por lo general los modelos de propagación consideran muchas más

variables y parámetros en las pérdidas de espacio libre. Esa situación se puede evidenciar en este radioenlace en la Guajira, pues en general los valores de potencia teórica en recepción son mayores que los de Xirio con el modelo ITU-R P.530-17 pero menores que en Línea de Vista debido a la naturaleza del modelo.

4.2.1.2 **Contrastación de resultados con Radio Mobile**

Como se mencionó anteriormente, se realizó simulación de los radioenlaces con la plataforma Radio Mobile, solo con el propósito de “validar” los resultados obtenidos con Xirio. En la Tabla 10 se observa los valores del radioenlace en la Guajira con el software Radio Mobile.

Tabla 10: Resultados Radio Mobile radioenlace Puerto Estrella-Nazareth (Longley Rice)

Radio Mobile Nazareth - Puerto Estrella													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Ind RuralC	Ind Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/NO (dB)	Pot. en Rx (dBm)
RuralConnect Sens=-95,2 dBm	11	20	12,6	494	-91	4,2	7	0,0015	0,0008	0,0125	0,0066	15,20	-80,62
				596	-91,8	3,4	6,2	0,0022	0,0011	0,0182	0,0095	14,40	-82,25
				686	-92,4	2,8	5,6	0,0029	0,0015	0,0240	0,0126	13,80	-83,47
			11	494	-92,6	2,6	5,4	0,0022	0,0011	0,0181	0,0095	13,60	-82,22
				596	-93,4	1,8	4,6	0,0032	0,0017	0,0263	0,0138	12,80	-83,85
				686	-94	1,2	4	0,0042	0,0022	0,0347	0,0182	12,20	-85,07
		30	12,6	494	-88,4	6,8	9,6	0,0008	0,0004	0,0069	0,0036	17,80	-81,82
				596	-87,8	7,4	10,2	0,0009	0,0005	0,0072	0,0038	18,40	-83,45
				686	-88,1	7,1	9,9	0,0011	0,0006	0,0089	0,0047	18,10	-84,67
			11	494	-90	5,2	8	0,0012	0,0006	0,0100	0,0052	16,20	-83,42
				596	-89,4	5,8	8,6	0,0013	0,0007	0,0105	0,0055	16,80	-85,05
				686	-89,7	5,5	8,3	0,0015	0,0008	0,0129	0,0068	16,50	-86,27
	16.14	20	12,6	494	-80,7	14,5	17,3	0,0001	0,0001	0,0012	0,0006	25,50	-70,34
				596	-81,5	13,7	16,5	0,0002	0,0001	0,0017	0,0009	24,70	-71,97
				686	-82,2	13	15,8	0,0003	0,0001	0,0023	0,0012	24,00	-73,19
			11	494	-82,3	12,9	15,7	0,0002	0,0001	0,0017	0,0009	23,90	-71,94
				596	-83,1	12,1	14,9	0,0003	0,0002	0,0025	0,0013	23,10	-73,57
				686	-83,8	11,4	14,2	0,0004	0,0002	0,0033	0,0017	22,40	-74,79
		30	12,6	494	-78,2	17	19,8	0,0001	0,0000	0,0007	0,0003	28,00	-71,54
				596	-77,5	17,7	20,5	0,0001	0,0000	0,0007	0,0004	28,70	-73,17
				686	-77,8	17,4	20,2	0,0001	0,0001	0,0008	0,0004	28,40	-74,39
			11	494	-79,8	15,4	18,2	0,0001	0,0001	0,0010	0,0005	26,40	-73,14
				596	-79,1	16,1	18,9	0,0001	0,0001	0,0010	0,0005	27,10	-74,77
				686	-79,4	15,8	18,6	0,0001	0,0001	0,0012	0,0006	26,80	-75,99

Como se observa, los valores de potencia obtenidos en recepción con el software Radio Mobile son un poco menores a los obtenidos con la plataforma Xirio con ambos dispositivos TVWS, esto implica que los valores de indisponibilidad y la probabilidad de desvanecimiento

para ambos equipos son levemente mayores que los obtenidos por esta última. Esto se puede explicar a la luz del modelo de propagación del software respectivo, pues el utilizado por la plataforma Radio Mobile (Longley Rice), contempla más variables de tipo cartográfico y parámetros para el cálculo de pérdidas que los utilizados por Xirio, tales como las características refractivas de la tropósfera, difracción por obstáculos aislados, el escátering del terreno, entre otros (Guía Velasco & Medina González, 2018).

No obstante lo anterior, se puede deducir que el comportamiento de las simulaciones obtenidas con Radio Mobile es similar al obtenido con Xirio con el modelo de propagación ITU-R P.530-17, por ejemplo, en términos estadísticos la desviación estándar de la potencia en recepción que es un parámetro determinante en tema de radioenlaces con ese modelo da un valor de 5,85, mientras que la desviación estándar de esa misma variable obtenida con Radio Mobile es de 5,64, lo cual de cierta forma da validez a los resultados de Xirio.

4.2.2 Resultados radioenlace Putumayo: Maestro – Esclavo 1 (La Tagua)

4.2.2.1 Resultados Xirio

En la Tabla 11 y en la Tabla 12 se observa los resultados obtenidos del radioenlace en el Putumayo entre el dispositivo Maestro y el Esclavo 1 (La Tagua) con la plataforma Xirio para los modelos de propagación UIT-R P.530-17 y Línea de Vista respectivamente.

Tabla 11: Resultados Xirio radioenlace Maestro - Esclavo 1 (La Tagua) (UIT-R P.530-17)

Xirio Maestro - Esclavo 1 (La Tagua)													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
RuralConnect Sens=-95,2 dBm Adaptrum Sens=-98 dBm	Maestro: 7 Esc1:11	40	12,6	494	-84,33	10,87	13,67	0,00013	6,59E-05	0,0010	0,0005	21,87	-84,28
				596	-85,97	9,23	12,03	0,00022	1,16E-04	0,0018	0,0010	20,23	-85,91
				686	-87,2	8	10,8	0,00034	1,77E-04	0,0028	0,0015	19,00	-87,13
			11	494	-85,93	9,27	12,07	0,00018	9,53E-05	0,0015	0,0008	20,27	-85,88
				596	-87,57	7,63	10,43	0,00032	1,68E-04	0,0027	0,0014	18,63	-87,51
				686	-88,8	6,4	9,2	0,00049	2,56E-04	0,0041	0,0021	17,40	-88,73
		50	12,6	494	-85,53	9,67	12,47	0,00017	8,69E-05	0,0014	0,0007	20,67	-85,48
				596	-87,17	8,03	10,83	0,00029	1,53E-04	0,0024	0,0013	19,03	-87,11
				686	-88,4	6,8	9,6	0,00045	2,34E-04	0,0037	0,0019	17,80	-88,33
			11	494	-87,13	8,07	10,87	0,00024	1,26E-04	0,0020	0,0010	19,07	-87,08
				596	-88,77	6,43	9,23	0,00042	2,21E-04	0,0035	0,0018	17,43	-88,71
				686	-89,99	5,21	8,01	0,00064	3,37E-04	0,0053	0,0028	16,21	-89,93
	Maestro: 7	40	12,6	494	-79,19	16,01	18,81	0,00004	2,02E-05	0,0003	0,0002	27,01	-79,14
				596	-80,83	14,37	17,17	0,00007	3,55E-05	0,0006	0,0003	25,37	-80,77

Xirio Maestro - Esclavo 1 (La Tagua)													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
	Esc1: 16.14	11	11	686	-82,06	13,14	15,94	0,00010	5,43E-05	0,0009	0,0005	24,14	-81,99
				494	-80,79	14,41	17,21	0,00006	2,92E-05	0,0005	0,0002	25,41	-80,74
				596	-82,43	12,77	15,57	0,00010	5,13E-05	0,0008	0,0004	23,77	-82,37
		686	-83,66	11,54	14,34	0,00015	7,84E-05	0,0012	0,0007	22,54	-83,59		
		50	12,6	494	-80,39	14,81	17,61	0,00005	2,66E-05	0,0004	0,0002	25,81	-80,34
				596	-82,03	13,17	15,97	0,00009	4,68E-05	0,0007	0,0004	24,17	-81,97
	686			-83,26	11,94	14,74	0,00014	7,15E-05	0,0011	0,0006	22,94	-83,19	
	11	11	494	-81,99	13,21	16,01	0,00007	3,85E-05	0,0006	0,0003	24,21	-81,94	
			596	-83,63	11,57	14,37	0,00013	6,77E-05	0,0011	0,0006	22,57	-83,57	
			686	-84,86	10,34	13,14	0,00020	1,03E-04	0,0016	0,0009	21,34	-84,79	

Tabla 12: Resultados Xirio radioenlace Maestro - Esclavo 1 (La Tagua) (Línea de Vista)

Xirio Maestro - Esclavo 1 (La Tagua)													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
RuralConnect Sens=-95,2 dBm	Maestro: 7 Esc1:11	40	12,6	494	-68,34	26,86	29,66	3,16E-06	1,66E-06	2,63E-05	1,38E-05	37,86	-84,28
				596	-69,98	25,22	28,02	5,56E-06	2,92E-06	4,64E-05	2,43E-05	36,22	-85,91
				686	-71,21	23,99	26,79	8,50E-06	4,46E-06	7,08E-05	3,72E-05	34,99	-87,13
			11	494	-69,94	25,26	28,06	4,57E-06	2,40E-06	3,81E-05	2,00E-05	36,26	-85,88
				596	-71,58	23,62	26,42	8,04E-06	4,22E-06	6,70E-05	3,52E-05	34,62	-87,51
				686	-72,81	22,39	25,19	1,23E-05	6,45E-06	1,02E-04	5,37E-05	33,39	-88,73
		50	12,6	494	-69,54	25,66	28,46	4,17E-06	2,19E-06	3,47E-05	1,82E-05	36,66	-85,48
				596	-71,18	24,02	26,82	7,34E-06	3,85E-06	6,11E-05	3,21E-05	35,02	-87,11
				686	-72,41	22,79	25,59	1,12E-05	5,88E-06	9,34E-05	4,90E-05	33,79	-88,33
			11	494	-71,14	24,06	26,86	6,02E-06	3,16E-06	5,02E-05	2,63E-05	35,06	-87,08
				596	-72,78	22,42	25,22	1,06E-05	5,56E-06	8,84E-05	4,64E-05	33,42	-88,71
				686	-74,01	21,19	23,99	1,62E-05	8,50E-06	1,35E-04	7,08E-05	32,19	-89,93
	Maestro: 7 Esc1: 16.14	40	12,6	494	-63,2	32	34,8	9,68E-07	5,08E-07	8,07E-06	4,23E-06	43,00	-79,14
				596	-64,84	30,36	33,16	1,70E-06	8,94E-07	1,42E-05	7,45E-06	41,36	-80,77
				686	-66,07	29,13	31,93	2,60E-06	1,37E-06	2,17E-05	1,14E-05	40,13	-81,99
			11	494	-64,8	30,4	33,2	1,40E-06	7,34E-07	1,17E-05	6,12E-06	41,40	-80,74
				596	-66,44	28,76	31,56	2,46E-06	1,29E-06	2,05E-05	1,08E-05	39,76	-82,37
				686	-67,67	27,53	30,33	3,76E-06	1,97E-06	3,14E-05	1,65E-05	38,53	-83,59
		50	12,6	494	-64,4	30,8	33,6	1,28E-06	6,70E-07	1,06E-05	5,58E-06	41,80	-80,34
				596	-66,04	29,16	31,96	2,25E-06	1,18E-06	1,87E-05	9,82E-06	40,16	-81,97
				686	-67,27	27,93	30,73	3,43E-06	1,80E-06	2,86E-05	1,50E-05	38,93	-83,19
			11	494	-66	29,2	32	1,84E-06	9,68E-07	1,54E-05	8,07E-06	40,20	-81,94
				596	-67,64	27,56	30,36	3,25E-06	1,70E-06	2,71E-05	1,42E-05	38,56	-83,57
				686	-68,87	26,33	29,13	4,96E-06	2,60E-06	4,13E-05	2,17E-05	37,33	-84,79

En este caso se debe tener en cuenta que la ganancia de la antena maestro permanece en 7 dBi y se varía es la ganancia de la antena esclavo 1, con ello, de Tabla 11, se observa que para el modelo de propagación UIT-R P.530-17, el “peor” caso del sistema se da con el dispositivo RuralConnect en su configuración: antena Esclavo 1 de 11 dBi de ganancia,

altura de ambas de 50 m, potencia de transmisión de 11 dBm y para una frecuencia de 686 MHz, en la cual el MD es de 5,21 dB y una indisponibilidad de 0,00064, que sin embargo, está dentro del objetivo planteado. Con lo anterior, para la disponibilidad se tiene:

$$disp = 1 - ind = 1 - 0,00064 = 0,99936 \quad (22)$$

Este valor corresponde a una confiabilidad o disponibilidad del servicio del 99,936%, suficiente para el tipo de servicio que se desea implementar. De otro lado, para esa configuración con ese mismo dispositivo se obtiene la “peor” probabilidad de desvanecimiento con un valor de 0,0053 que si se compara con el objetivo de la norma (0,015) está muy por debajo de éste.

Para el dispositivo Adaptrum, en esa misma configuración concuerda con el RuralConnect, en el sentido que se obtiene el menor margen de desvanecimiento (8,01 dB), la mayor indisponibilidad ($3,37 \times 10^{-4}$) y la mayor probabilidad de desvanecimiento (0,0028), valores que son mejores que los del equipo RuralConnect y que cumplen con el objetivo planteado.

Ahora bien, en contraste, el mejor caso para este modelo de propagación se da para la configuración: ganancia de antena Esclavo 1 de 16.14 dBi, a una altura de 40 m para transmisión y recepción, con una potencia de 12,6 dBm y para una frecuencia de 494 MHz. En este caso, se obtiene una indisponibilidad de 0,00004 y $2,02 \times 10^{-5}$ para el dispositivo RuralConnect y Adaptrum respectivamente.

Si se analiza por ejemplo la disponibilidad para el dispositivo RuralConnect se tiene:

$$disp = 1 - ind = 1 - 0,00004 = 0,99996 \quad (23)$$

Es decir, se tendría una disponibilidad de 99,996%.

De otro lado, si se observa los valores de la potencia teórica en recepción obtenidos mediante la ecuación de la sección 2.5 se puede ver que en general son ligeramente mayores a los valores obtenidos mediante Xirio con el modelo de propagación ITU-R P.530-

17, pues el enlace es de tan solo 13,73 Km (ver sección 3.3.2) y la diferencia no es considerable.

El modelo Línea de Vista (Tabla 12) la “peor” configuración del sistema se da para: antena Esclavo 1 de 11 dBi, a 50 metros de altura en ambos extremos, potencia de 11 dBm y para una frecuencia de 686 MHz. En este caso la indisponibilidad es de $1,62 \times 10^{-5}$ y $8,50 \times 10^{-6}$ para el dispositivo RuralConnect y Adaptrum respectivamente.

Para el equipo RuralConnect que es el que tiene un valor de indisponibilidad menor entre ambos:

$$disp = 1 - ind = 1 - 1,62 * 10^{-5} = 0,99998 \quad (24)$$

Es decir, en el peor de los casos se tendría una disponibilidad del 99.998%, suficiente teniendo en cuenta las características del servicio a implementar.

En cuanto a la calidad por desvanecimiento, no existe ninguna combinación en la cual la probabilidad por desvanecimiento sea mayor al objetivo de la norma de 0,015, ni para el modelo ITU-R P.530-17 ni mucho menos para Línea de Vista para ninguno de los dos equipos. Lo mismo ocurre con los valores de indisponibilidad.

En cuanto a la relación E_b/N_0 , al igual que en el radioenlace de la Guajira, se obtienen valores relativamente altos que demuestran que el radioenlace no tendría ningún problema en cuanto al ancho de banda para transmitir los datos de los medidores inteligentes en esta zona.

Para este radioenlace, se observa que tanto los resultados con el modelo ITU-R P.530-17 como con el modelo Línea de Vista, se obtienen los peores valores cuando se consideran antenas en transmisión y recepción de 50 m comparados con los resultados en margen de desvanecimiento y calidad para antenas de 40 m. Este aspecto es importante porque para el enlace entre maestro y Esclavo 2 de la siguiente sección, la antena del dispositivo maestro se mantendrá en 40 m, esto debido a que la distancia para ese enlace es de tan solo 6,9 Km y el perfil del terreno es muy favorable.

De nuevo, una característica común en todos los resultados con Xirio es que el radioenlace tiene un comportamiento mejor en las frecuencias bajas en el espectro en estudio y se obtiene mayor indisponibilidad en las frecuencias altas de ese mismo rango manteniendo sin embargo los valores de calidad dentro de los objetivos establecidos en la norma.

4.2.2.2 **Contrastación de resultados con Radio Mobile**

En la Tabla 13 se observa los resultados obtenidos del radioenlace en el Putumayo entre el dispositivo Maestro y el Esclavo 1 (La Tagua) con la plataforma Radio Mobile.

Tabla 13: Resultados Radio Mobile radioenlace Maestro-Esclavo 1 (La Tagua) (Longley Rice)

Radio Mobile Maestro - Esclavo 1 (La Tagua)													Valor teórico	
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)	
RuralConnect Sens=-95,2 dBm	Maestro: 7 Esc1:11	40	12,6	494	-91,2	4	6,8	0,00061	0,00032	0,0051	0,0027	15,00	-84,28	
				596	-91,4	3,8	6,6	0,00077	0,00040	0,0064	0,0034	14,80	-85,91	
				686	-91,7	3,5	6,3	0,00095	0,00050	0,0079	0,0042	14,50	-87,13	
			11	494	-92,8	2,4	5,2	0,00088	0,00046	0,0074	0,0039	13,40	-85,88	
				596	-93	2,2	5	0,00112	0,00059	0,0093	0,0049	13,20	-87,51	
				686	-93,3	1,9	4,7	0,00138	0,00072	0,0115	0,0060	12,90	-88,73	
		50	12,6	494	-87,9	7,3	10,1	0,00029	0,00015	0,0024	0,0012	18,30	-85,48	
				596	-88,8	6,4	9,2	0,00042	0,00022	0,0035	0,0019	17,40	-87,11	
				686	-89,7	5,5	8,3	0,00060	0,00032	0,0050	0,0026	16,50	-88,33	
			11	494	-89,5	5,7	8,5	0,00041	0,00022	0,0034	0,0018	16,70	-87,08	
				596	-90,04	5,16	7,96	0,00056	0,00030	0,0047	0,0025	16,16	-88,71	
				686	-91,3	3,9	6,7	0,00087	0,00046	0,0072	0,0038	14,90	-89,93	
	Adaptrum Sens=-98 dBm	Maestro: 7 Esc1: 16.14	40	12,6	494	-86	9,2	12	0,00018	0,00010	0,0015	0,0008	20,20	-79,14
					596	-86,2	9	11,8	0,00023	0,00012	0,0019	0,0010	20,00	-80,77
					686	-86,5	8,7	11,5	0,00029	0,00015	0,0024	0,0013	19,70	-81,99
				11	494	-87,6	7,6	10,4	0,00027	0,00014	0,0022	0,0012	18,60	-80,74
					596	-87,8	7,4	10,2	0,00034	0,00018	0,0028	0,0015	18,40	-82,37
					686	-88,1	7,1	9,9	0,00042	0,00022	0,0035	0,0018	18,10	-83,59
			50	12,6	494	-82,8	12,4	15,2	0,00009	0,00005	0,0007	0,0004	23,40	-80,34
					596	-83,6	11,6	14,4	0,00013	0,00007	0,0011	0,0006	22,60	-81,97
					686	-84,5	10,7	13,5	0,00018	0,00010	0,0015	0,0008	21,70	-83,19
				11	494	-84,4	10,8	13,6	0,00013	0,00007	0,0011	0,0006	21,80	-81,94
					596	-85,2	10	12,8	0,00019	0,00010	0,0015	0,0008	21,00	-83,57
					686	-86,1	9,1	11,9	0,00026	0,00014	0,0022	0,0011	20,10	-84,79

De acuerdo a la tabla anterior, si se analiza y se observa los valores de potencia obtenidos en recepción que es un parámetro determinante en radioenlaces, se concluye que con el software Radio Mobile dichos valores son un poco menores a los obtenidos con la plataforma Xirio con ambos dispositivos TVWS, sobre todo cuando se considera una antena

de 40 m, en ese sentido, la desviación estándar de esa variable en Xirio es de 3,06, mientras que la desviación estándar con Radio Mobile es de 3,11, lo cual da cierta “validez” a los resultados de la primera plataforma. Además, también se puede apreciar que los valores de indisponibilidad y la probabilidad de desvanecimiento (SESR) para ambos equipos son mayores con Radio Mobile que los de Xirio, sin embargo, la diferencia entre ambas plataformas no es muy significativa y sus correspondientes valores de desviación estándar son muy cercanos, reafirmando validez a los resultados.

4.2.3 Resultados radioenlace Putumayo: Maestro – Esclavo 2 (Base Naval)

4.2.3.1 Resultados Xirio

De los resultados del radioenlace anterior (maestro - Esclavo 1) se determinó que la altura de la antena del dispositivo maestro se fijaba en 40 m, con ello en este extremo se mantiene fija la altura y la antena omni de 7 dBi, por lo tanto para el radioenlace maestro - Esclavo 2 solo varían los parámetros de la antena de Base Naval (Esclavo 2).

En la Tabla 14 y en la Tabla 15 se observa los resultados obtenidos del radioenlace en el Putumayo entre el dispositivo Maestro y el Esclavo 2 (Base Naval) con la plataforma Xirio para los modelos de propagación UIT-R P.530-17 y Línea de Vista respectivamente

Tabla 14: Resultados Xirio radioenlace Maestro-Esclavo 2 (Base Naval) (UIT-R P.530-17)

Xirio Maestro - Esclavo 2 (Base Naval)													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N 0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
RuralConnect Sens=-95,2 dBm Adaptrum Sens=-98 dBm	Maestro: 7 Esc2:11	Maestro:40 Esc2:20	12,6	494	-77,65	17,55	20,35	3,44E-06	1,80E-06	2,87E-05	1,50E-05	28,55	-77,11
				596	-79,29	15,91	18,71	6,05E-06	3,18E-06	5,04E-05	2,65E-05	26,91	-78,74
				686	-80,52	14,68	17,48	9,25E-06	4,85E-06	7,70E-05	4,04E-05	25,68	-79,97
			11	494	-79,25	15,95	18,75	4,97E-06	2,61E-06	4,14E-05	2,17E-05	26,95	-78,71
				596	-80,89	14,31	17,11	8,75E-06	4,59E-06	7,29E-05	3,83E-05	25,31	-80,34
				686	-82,12	13,08	15,88	1,34E-05	7,01E-06	1,11E-04	5,84E-05	24,08	-81,57
		Maestro:40 Esc2:30	12,6	494	-78,25	16,95	19,75	3,95E-06	2,07E-06	3,29E-05	1,73E-05	27,95	-77,71
				596	-79,89	15,31	18,11	6,95E-06	3,65E-06	5,79E-05	3,04E-05	26,31	-79,34
				686	-81,12	14,08	16,88	1,06E-05	5,57E-06	8,85E-05	4,64E-05	25,08	-80,57
			11	494	-79,85	15,35	18,15	5,71E-06	2,99E-06	4,76E-05	2,50E-05	26,35	-79,31
				596	-81,49	13,71	16,51	1,00E-05	5,27E-06	8,37E-05	4,39E-05	24,71	-80,94
				686	-82,72	12,48	15,28	1,53E-05	8,05E-06	1,28E-04	6,71E-05	23,48	-82,17
	Maestro: 7	Maestro:40 Esc2:20	12,6	494	-72,51	22,69	25,49	1,05E-06	5,53E-07	8,77E-06	4,60E-06	33,69	-71,97
				596	-74,15	21,05	23,85	1,85E-06	9,72E-07	1,54E-05	8,10E-06	32,05	-73,60

Xirio Maestro - Esclavo 2 (Base Naval)													Valor teórico	
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N 0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)	
	Esc2: 16.14		11	686	-75,38	19,82	22,62	2,83E-06	1,49E-06	2,36E-05	1,24E-05	30,82	-74,83	
				494	-74,11	21,09	23,89	1,52E-06	7,99E-07	1,27E-05	6,66E-06	32,09	-73,57	
				596	-75,75	19,45	22,25	2,68E-06	1,41E-06	2,23E-05	1,17E-05	30,45	-75,20	
			Maestro:40 Esc2:30	12,6	686	-76,98	18,22	21,02	4,09E-06	2,15E-06	3,41E-05	1,79E-05	29,22	-76,43
					494	-73,11	22,09	24,89	1,21E-06	6,34E-07	1,01E-05	5,29E-06	33,09	-72,57
					596	-74,75	20,45	23,25	2,13E-06	1,12E-06	1,77E-05	9,30E-06	31,45	-74,20
	11	686	-75,98	19,22	22,02	3,25E-06	1,71E-06	2,71E-05	1,42E-05	30,22	-75,43			
		494	-74,71	20,49	23,29	1,75E-06	9,17E-07	1,46E-05	7,64E-06	31,49	-74,17			
		596	-76,35	18,85	21,65	3,08E-06	1,61E-06	2,56E-05	1,34E-05	29,85	-75,80			
	686	-77,58	17,62	20,42	4,70E-06	2,47E-06	3,92E-05	2,05E-05	28,62	-77,03				

Tabla 15: Resultados Xirio radioenlace Maestro - Esclavo 2 (Base Naval) (Línea de Vista)

Xirio Maestro - Esclavo 2 (Base Naval)													Valor teórico
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N 0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
RuralConnect Sens=-95,2 dBm Adaptrum Sens=-98 dBm	Maestro: 7 Esc2:1 1	Maestro:40 Esc2:20	12,6	494	-61,16	34,04	36,84	7,72E-08	4,05E-08	6,43E-07	3,37E-07	45,04	-77,11
				596	-62,79	32,41	35,21	1,35E-07	7,11E-08	1,13E-06	5,92E-07	43,41	-78,74
				686	-64,02	31,18	33,98	2,07E-07	1,09E-07	1,72E-06	9,05E-07	42,18	-79,97
			11	494	-62,76	32,44	35,24	1,12E-07	5,85E-08	9,29E-07	4,88E-07	43,44	-78,71
				596	-64,39	30,81	33,61	1,96E-07	1,03E-07	1,63E-06	8,56E-07	41,81	-80,34
				686	-65,62	29,58	32,38	2,99E-07	1,57E-07	2,49E-06	1,31E-06	40,58	-81,57
		Maestro:40 Esc2:30	12,6	494	-61,76	33,44	36,24	8,86E-08	4,65E-08	7,38E-07	3,87E-07	44,44	-77,71
				596	-63,39	31,81	34,61	1,56E-07	8,16E-08	1,30E-06	6,80E-07	42,81	-79,34
				686	-64,62	30,58	33,38	2,38E-07	1,25E-07	1,98E-06	1,04E-06	41,58	-80,57
			11	494	-63,36	31,84	34,64	1,28E-07	6,72E-08	1,07E-06	5,60E-07	42,84	-79,31
				596	-64,99	30,21	33,01	2,25E-07	1,18E-07	1,87E-06	9,83E-07	41,21	-80,94
				686	-66,22	28,98	31,78	3,44E-07	1,80E-07	2,86E-06	1,50E-06	39,98	-82,17
	Maestro: 7 Esc2: 16.14	Maestro:40 Esc2:20	12,6	494	-56,02	39,18	41,98	2,36E-08	1,24E-08	1,97E-07	1,03E-07	50,18	-71,97
				596	-57,65	37,55	40,35	4,15E-08	2,18E-08	3,46E-07	1,81E-07	48,55	-73,60
				686	-58,88	36,32	39,12	6,34E-08	3,33E-08	5,28E-07	2,77E-07	47,32	-74,83
			11	494	-57,62	37,58	40,38	3,41E-08	1,79E-08	2,85E-07	1,49E-07	48,58	-73,57
				596	-59,25	35,95	38,75	6,00E-08	3,15E-08	5,00E-07	2,62E-07	46,95	-75,20

Xirio Maestro - Esclavo 2 (Base Naval)													Valor teóric
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adap (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/N 0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)
				686	-60,48	34,72	37,52	9,16E-08	4,81E-08	7,63E-07	4,01E-07	45,72	-76,43
Maestro:40 Esc2:30	12,6	494	-56,62	38,58	41,38	2,71E-08	1,42E-08	2,26E-07	1,19E-07	49,58	-72,57		
		596	-58,25	36,95	39,75	4,76E-08	2,50E-08	3,97E-07	2,08E-07	47,95	-74,20		
		686	-59,48	35,72	38,52	7,28E-08	3,82E-08	6,06E-07	3,18E-07	46,72	-75,43		
		494	-58,22	36,98	39,78	3,92E-08	2,06E-08	3,27E-07	1,71E-07	47,98	-74,17		
		596	-59,85	35,35	38,15	6,88E-08	3,61E-08	5,74E-07	3,01E-07	46,35	-75,80		
		686	-61,08	34,12	36,92	1,05E-07	5,52E-08	8,77E-07	4,60E-07	45,12	-77,03		

De los 3 radioenlaces en estudio, éste en el Putumayo: maestro – Esclavo 2 es el que mejor comportamiento muestra, pues los valores de potencia en la recepción, margen de desvanecimiento, indisponibilidad y fidelidad para cada uno de los 2 dispositivos TVWS son bastante satisfactorios tanto para el modelo UIT-R P.530-17 como Línea de Vista. La razón es porque el perfil del terreno entre ambos extremos es muy apropiado para establecer un radioenlace, sin obstáculos en su trayectoria y porque la distancia del mismo es de apenas 6,9 Km.

En efecto, con el modelo UIT-R P.530-17 para una altura de antena (30 m) en Esclavo 2 con una ganancia de 11 dBi y para una potencia de 11 dBm operando a 686 MHz se tiene el “peor” de los casos con el dispositivo RuralConnect para ambos modelos de propagación. No obstante, el valor de indisponibilidad y probabilidad de desvanecimiento son de $1,53 \times 10^{-5}$ y $1,28 \times 10^{-4}$ respectivamente que está muy por debajo del objetivo planteado. De estos resultados se puede inferir que la antena de Base Naval apenas es suficiente instalarla a 20 m de altura.

De las tablas anteriores, se aprecia que no existe ninguna combinación en la cual ni el valor de indisponibilidad ni la probabilidad por desvanecimiento sea mayor al objetivo de las normas (0,04 y 0,015 respectivamente), ni para el modelo ITU-R P.530-17 ni mucho menos para Línea de Vista para ninguno de los dos dispositivos RuralConnect y Adaptrum.

Por último, si se observa los valores de la potencia teórica en recepción obtenidos mediante la ecuación de la sección 2.5 se puede ver que son muy similares a los valores obtenidos mediante Xirio con el modelo de propagación ITU-R P.530-17, eso a la luz de la trayectoria del radioenlace de apenas 6.9 Km.

4.2.3.2 **Contrastación de resultados con Radio Mobile**

En la Tabla 16 se observa los resultados obtenidos del radioenlace en el Putumayo entre el dispositivo Maestro y el Esclavo 2 (Base Naval) con la plataforma Radio Mobile.

Tabla 16: Resultados Radio Mobile radioenlace Maestro - Esclavo 2 (Base Naval)
(Longley Rice)

Radio Mobile Maestro - Esclavo 2 (Base Naval)													Valor teórico	
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RuralC (%)	SESR Adapt (%)	Eb/No (dB)	Pot. en Rx (dBm)	
RuralConnect Sens=-95,2 dBm	Maestro: 7 Esc2:11	Maestro: 40 Esc 2: 20	12,6	494	-81,5	13,7	16,5	8,34E-06	4,38E-06	6,95E-05	3,65E-05	24,70	-77,11	
				596	-82	13,2	16	1,13E-05	5,93E-06	9,41E-05	4,94E-05	24,20	-78,74	
				686	-82,6	12,6	15,4	1,49E-05	7,83E-06	1,24E-04	6,53E-05	23,60	-79,97	
			11	494	-83,1	12,1	14,9	1,21E-05	6,33E-06	1,00E-04	5,27E-05	23,10	-78,71	
				596	-83,6	11,6	14,4	1,63E-05	8,57E-06	1,36E-04	7,14E-05	22,60	-80,34	
				686	-84,2	11	13,8	2,16E-05	1,13E-05	1,80E-04	9,44E-05	22,00	-81,57	
		Maestro: 40 Esc 2: 30	12,6	494	-79,7	15,5	18,3	5,51E-06	2,89E-06	4,59E-05	2,41E-05	26,50	-77,71	
				596	-80,8	14,4	17,2	8,57E-06	4,50E-06	7,14E-05	3,75E-05	25,40	-79,34	
				686	-81,9	13,3	16,1	1,27E-05	6,67E-06	1,06E-04	5,56E-05	24,30	-80,57	
			11	494	-81,3	13,9	16,7	7,97E-06	4,18E-06	6,64E-05	3,48E-05	24,90	-79,31	
				596	-82,4	12,8	15,6	1,24E-05	6,50E-06	1,03E-04	5,42E-05	23,80	-80,94	
				686	-83,5	11,7	14,5	1,84E-05	9,64E-06	1,53E-04	8,03E-05	22,70	-82,17	
	Adaptrum Sens=-98 dBm	Maestro: 7 Esc2: 16.14	Maestro: 40 Esc 2: 20	12,6	494	-76,4	18,8	21,6	2,58E-06	1,35E-06	2,15E-05	1,13E-05	29,80	-71,97
					596	-76,9	18,3	21,1	3,49E-06	1,83E-06	2,91E-05	1,53E-05	29,30	-73,60
					686	-77,4	17,8	20,6	4,51E-06	2,37E-06	3,76E-05	1,97E-05	28,80	-74,83
				11	494	-78	17,2	20	3,73E-06	1,96E-06	3,11E-05	1,63E-05	28,20	-73,57
					596	-78,5	16,7	19,5	5,05E-06	2,65E-06	4,20E-05	2,21E-05	27,70	-75,20
					686	-79	16,2	19	6,52E-06	3,42E-06	5,43E-05	2,85E-05	27,20	-76,43
			Maestro: 40 Esc 2: 30	12,6	494	-74,6	20,6	23,4	1,70E-06	8,94E-07	1,42E-05	7,45E-06	31,60	-72,57
					596	-75,6	19,6	22,4	2,59E-06	1,36E-06	2,16E-05	1,13E-05	30,60	-74,20
					686	-76,7	18,5	21,3	3,84E-06	2,01E-06	3,20E-05	1,68E-05	29,50	-75,43
				11	494	-76,2	19	21,8	2,46E-06	1,29E-06	2,05E-05	1,08E-05	30,00	-74,17
					596	-77,2	18	20,8	3,74E-06	1,96E-06	3,12E-05	1,64E-05	29,00	-75,80
					686	-78,3	16,9	19,7	5,55E-06	2,91E-06	4,62E-05	2,43E-05	27,90	-77,03

Si se compara los resultados de la tabla anterior con los de la tabla 14, la plataforma Radio Mobile sigue un comportamiento análogo a los de la plataforma Xirio con el modelo de propagación UIT-R P.530-17, con la diferencia de que mientras que con Xirio se tiene un ligero mejor comportamiento en cuanto a margen de desvanecimiento, indisponibilidad y

fidelidad para altura de antena de Base Naval en 20 m comparado con una altura de 30 m, en Radio Mobile ocurre lo contrario, sin embargo esas diferencias no son muy significativas. En ese sentido, al analizar los valores de potencia en recepción (variable determinante en radioenlaces), se obtiene una desviación estándar de 3,01 y 2,91 con Xirio y Radio Mobile respectivamente, lo cual confirma la “validación” de los resultados obtenidos por Xirio. Similar ocurre con los valores de desviación estándar de las variables de indisponibilidad y fidelidad entre ambas plataformas de manera correspondiente.

En la Tabla 17 se muestra un resumen de los mejores y “peores” valores de potencia en recepción, margen de desvanecimiento, indisponibilidad y fidelidad, obtenidos por la plataforma Xirio de los radioenlaces de las dos ZNI y la configuración respectiva para cada caso para los dos dispositivos de espacios en blanco. Solo se toma los resultados con el modelo de propagación UIT-R P.530-17 por ser con el que se obtiene valores más exigentes a la hora de lograr un margen de desvanecimiento positivo en recepción.

Tabla 17: Resumen resultados con Xirio en Guajira y Putumayo (mejor/peor caso)

Localidad Radioenlace		Guajira				Putumayo							
		Nazareth - Puerto Estrella				Maestro - Escl 1 (La Tagua)				Maestro - Escl 2 (Base Naval)			
Parámetro Dispositivo		Pot en Rx (dBm)	MD (dB)	Indisp (%)	Fidel (%)	Pot en Rx (dBm)	MD (dB)	Indisp (%)	Fidel (%)	Pot en Rx (dBm)	MD (dB)	Indisp (%)	Fidel (%)
Adaptru	Mejor caso	-73,99	24,01	0,00002	0,0001	-79,19	18,81	2,02E-05	0,0002	-72,51	25,49	5,53E-07	4,60E-06
	Config	16,14 dBi, 30 m, 12,6 dBm, 494 MHz				16,14 dBi, 40 m, 12,6 dBm, 494 MHz				16,14 dBi, 20 m, 12,6 dBm, 494 MHz			
	Peor caso	-93,05	4,95	0,00176	0,0147	-89,99	8,01	3,37E-04	0,0028	-82,72	15,28	8,05E-06	6,71E-05
	Config	11 dBi, 20 m, 11 dBm, 686 MHz				11 dBi, 50 m, 11 dBm, 686 MHz				11 dBi, 30 m, 11 dBm, 686 MHz			
RuralC	Mejor caso	-73,99	21,21	0,00003	0,0002	-79,19	16,01	0,00004	0,0003	-72,51	22,69	1,05E-06	8,77E-06
	Config	16,14 dBi, 30 m, 12,6 dBm, 494 MHz				16,14 dBi, 40 m, 12,6 dBm, 494 MHz				16,14 dBi, 20 m, 12,6 dBm, 494 MHz			
	Peor caso	-93,05	2,15	0,00335	0,0279	-89,99	5,21	0,00064	0,0053	-82,72	12,48	1,53E-05	1,28E-04
	Config	11 dBi, 20 m, 11 dBm, 686 MHz				11 dBi, 50 m, 11 dBm, 686 MHz				11 dBi, 30 m, 11 dBm, 686 MHz			

De la tabla se puede observar que en general, los mejores valores de los diferentes parámetros y para los dos dispositivos de espacios en blanco se presentan en las frecuencias bajas de la banda correspondiente a los TVWS (470 MHz – 698 MHz), y los “peores” casos en las frecuencias altas de esa misma banda. En el Putumayo, el enlace entre Maestro - Esclavo 1 (La Tagua) de mejor comportamiento es cuando se considera una altura de antena entre las dos locaciones de 40 m en comparación cuando se toma una altura de 50 m, mientras que el enlace Maestro – Esclavo 2 (Base Naval) de mejores resultados es cuando se tiene una altura de torre en Base Naval de 20 m.

El único caso en donde se presenta un valor ligeramente mayor al objetivo de la norma es con el dispositivo RuralConnect en el radioenlace de la Guajira en el peor caso con el parámetro de probabilidad de desvanecimiento (fidelidad), donde se obtiene un valor de 0,027, sin embargo, por lo anotado en la sección 4.2.1 esa combinación se da para una potencia de 11 dBm y una ganancia de 11 dBi por debajo de la norma permitida, lo cual sería fácilmente solucionable aumentando alguno de los dos parámetros sin exceder el valor estipulado en la resolución: 12,6 dBm y 16,14 dBi respectivamente.

Lo más importante que se deduce de la tabla anterior es que tanto para el mejor caso como para el peor caso en los 3 radioenlaces, el dispositivo Adaptrum tiene mejores resultados en cada uno de los parámetros en estudio para los dos modelos de propagación.

4.3 Discusión de resultados y recomendación a IPSE

4.3.1 Discusión de resultados

En el presente estudio se evaluaron 3 radioenlaces, uno en la Guajira y dos en el Putumayo, que por la naturaleza de las zonas era en cierto modo previsible que el comportamiento de los 3 fuera diferente. Sin embargo, la idea inicial era considerar un solo enlace en la Guajira y otro en Putumayo entre Puerto Leguízamo y La Tagua, no obstante, este último no fue viable, a pesar de que la distancia era muy similar a la de la Guajira. Lo anterior demuestra que es sumamente importante hacer una buena caracterización de la zona con plataformas robustas donde se desea establecer un radioenlace que permitan resolver los inconvenientes que se van presentando en el desarrollo de un proyecto, solo así se encontrarán las soluciones adecuadas a cada caso.

Por lo anterior, para realizar una buena caracterización de la zona, es fundamental tener una cartografía detallada del perfil del terreno y un buen sistema de información geográfica donde se pretenda realizar un estudio simulado de un radioenlace. Lo anotado, se pudo comprobar para las zonas propuestas por IPSE: la viabilidad de transportar la información de los contadores de Puerto Estrella hacia Nazareth en la Guajira utilizando los TVWS fue muy favorable, sin embargo, en Putumayo transportar esa información desde la Tagua a Puerto Leguízamo en forma directa no fue posible, y gracias a la buena caracterización de

la zona que se realizó, y a la cartografía de la misma se pudo proponer una alternativa de solución sin dejar de utilizar la misma tecnología de los TVWS.

Un aspecto fundamental a evaluar cuando se desea transmitir información a través de un enlace radioeléctrico es verificar si en los sitios de emplazamientos existe infraestructura instalada (torres o construcciones) que sirvan para el enlace en cuestión, pues montar una antena o torre dependiendo obviamente de la infraestructura, equipos, altura de la misma y el sitio de emplazamiento puede conllevar a un incremento considerable de costos o hasta la inviabilidad del proyecto ya sea por los mismos costos o porque por ejemplo los sitios para emplazar la torre corresponde a una zona de difícil acceso. En este proyecto a pesar de considerar 3 radioenlaces sólo se propone instalar una torre arriestrada de apenas 40 m, para las demás se propone infraestructura existente en las zonas. Esta clase de decisiones y propuestas solo son posibles hacerlas si se cuenta con una buena plataforma en sistemas de información geográfica como ArcGIS®.

En cuanto a los resultados, el nivel de sensibilidad de los dispositivos de espacios en blanco es un parámetro clave a la hora de evaluar un radioenlace, si bien, dicho nivel es diferente acorde a la modulación utilizada, se pudo comprobar que los niveles de señal para las diferentes frecuencias del estudio en el punto de recepción están por encima de esa sensibilidad del dispositivo, es decir que se tiene un margen positivo que podría indicar que el receptor pueda decodificar la señal y que por lo tanto el enlace sea viable desde el punto de vista técnico.

La tecnología de los espacios en blanco de televisión se convierte en una gran alternativa para IPSE de poder implementarla en otras ZNI previo estudio de su topografía, sin embargo, este proyecto no se recomienda tomarlo como referencia en casos donde no haya línea de vista entre la localidad donde iría el dispositivo esclavo y la localidad del dispositivo maestro, pues si bien, últimamente esta tecnología de los TVWS se viene diseñando para aplicar en ambientes en condición de “no línea de vista” son casos muy particulares, en distancia, vegetación, topografía, etc. y por la geografía del país es mejor hacer un estudio cartográfico de cada zona asegurando parámetros de calidad acorde a la norma de la ITU.

La característica común de las ZNI en Colombia es que son zonas rurales de baja densidad poblacional y por tanto el número de usuarios a atender por parte de IPSE es pequeño, lo que implicaría que al recolectar la información de los medidores inteligentes en esas zonas utilizando la tecnología TVWS se obtendría una solución fácilmente escalable a varios años sin que ello implique costos adicionales, pues los dispositivos TVWS tienen un gran desempeño en cuanto a capacidad en esos 6 MHz que corresponden al ancho de banda de un canal, además de no tener que solicitar y pagar por más espectro por ser una banda de libre uso con un buen número de canales disponibles en esas zonas rurales.

Un parámetro fundamental cuando se estudia radioenlaces es la potencia que se obtiene en recepción, en este sentido, es muy importante para el diseñador del enlace contar con una plataforma de simulación robusta como Xirio para obtener valores más cercanos a la realidad posible, ya que la potencia teórica obtenida mediante ecuaciones es menos exigente sobre todo a distancias grandes. En este proyecto se pudo ver precisamente que los valores de potencia teórica en recepción eran más grandes que los de Xirio, aunque en Putumayo donde los radioenlaces son de corta distancia sus valores eran más cercanos.

Los TVWS por ser concebida como tecnología maestro-esclavo y al tener la posibilidad de que un dispositivo maestro pueda tener varios esclavos, se convierte en una solución muy llamativa para ser implementada en zonas rurales donde las concentraciones de las casas son algo dispersas, logrando tener una red con una cobertura considerable sin incrementar el trabajo que representa la gestión de dicha red.

Existen varias alternativas de solución en recolectar la información de los medidores inteligentes en ZNI operados por IPSE: fibra óptica, radioenlaces en bandas con licencia, WiFi, WiMax, entre otras, y el aplicar una u otra implicaría realizar un estudio detallado de su viabilidad tanto técnica como en costos. La ventaja que puede representar TVWS es que si la zona cuenta con infraestructura instalada, esta tecnología es muy rápida de implementar y su gestión y mantenimiento es considerablemente menor a otras soluciones como por ejemplo fibra óptica u otras redes cableadas, además se evitaría el trámite de solicitar licencia de un rango del espectro y el costo económico que ello representa en otras soluciones inalámbricas.

Complementario a lo anterior, este proyecto se constituyen en un muy buen punto de partida en considerar TVWS como medio de comunicación no solo con el propósito de transmitir la información de los medidores en zonas rurales y desplegar así la medición inteligente, sino en otro tipo de servicios como internet, convirtiendo esta tecnología en una opción para llevar desarrollo a esas comunidades.

Al IPSE optar por implementar tecnología TVWS en sus ZNI estaría enmarcando sus proyectos en dos frentes que actualmente el gobierno nacional tiene en mente a mediano y largo plazo: por un lado el proyecto del Ministerio de Minas y Energía de implementar redes inteligentes incluidas las zonas rurales y por otro, el del Ministerio TIC y la ANE de optimiza el espectro radioeléctrico que redunden en el desarrollo de las comunidades rurales.

4.3.2 Recomendación a IPSE

A continuación, se presenta la recomendación por parte del desarrollador del presente estudio a IPSE:

RECOMENDACIÓN IPSE	Uso de los espacios en blanco de televisión (TVWS) en la recolección de información de los medidores inteligentes de energía de las centrales de Nazareth y Puerto Leguizamo
-------------------------------	--

Con el presente documento, se describe la recomendación final a IPSE producto de la investigación realizada, sobre el uso de la tecnología relacionada con los TVWS en la recolección de información de los medidores inteligentes instalados en las zonas no interconectadas (ZNI) de las centrales de Nazareth en el departamento de la Guajira y de Puerto Leguizamo en el departamento del Putumayo

1. La recomendación surge debido a una solicitud realizada por el mismo IPSE al señor Yaciro Cabezas Burbano estudiante de la Maestría en Electrónica como producto del proyecto de grado en el sentido de evaluar mediante simulación por software la tecnología TVWS para recolectar la información de los medidores de las ZNI de Nazareth y Puerto Leguizamo con el propósito de monitorear el servicio para gestionar el mismo en beneficio de esas comunidades.

2. El señor Yaciro Cabezas Burbano, después de haber realizado la investigación durante 2 años y con la plataforma especializada de referencia en sistemas de información geográfica ArcGIS® V.10.6 Licenciado y el software Xirio® Profesional como plataforma de simulación, obtuvo resultados de calidad en cuanto a disponibilidad y fidelidad satisfactorios y enmarcados dentro de los objetivos de la norma ITU en cada uno de los radioenlaces de las dos ZNI en estudio.

Por lo tanto, se RECOMIENDA a IPSE el uso de dispositivos de espacios en blanco de televisión para recolectar la información de los medidores inteligentes de la central de Nazareth en la Guajira y la central de Puerto Leguizamo en Putumayo. Puntualmente se recomienda el dispositivo **Adaptrum ACRS2.0. Basestation** como equipo maestro y el dispositivo **Adaptrum ACRS2.0 Client** como equipo esclavo o CPE con un threshold de -98 dBm y una modulación QPSK que fueron con los que mejores resultados se obtuvo en cada radioenlace.

3. Los pasos a seguir para alcanzar la meta propuesta son:

ACTIVIDADES PROPUESTAS
1. Evaluación, análisis y viabilidad de la recomendación por parte del personal del IPSE
2. Análisis del impacto y relación costo – beneficio por parte del personal de IPSE
3. Cotización y presupuesto de ejecución de la recomendación llevada a cabo por personal del IPSE
4. Compra de materiales, equipos y dispositivos
5. Contratación de personal para ejecución
6. Estudio de terreno donde se ejecutará la recomendación
7. Ejecución de la propuesta (instalación) por parte del personal técnico contratado
8. Pruebas en terreno del proyecto
9. Puesta en marcha del servicio

4. La recomendación o propuesta es para implementarla en:

LOCALIDAD ZNI	CENTRAL IPSE	COMUNIDAD BENEFICIADA
Nazareth - Guajira	Nazareth	Nazareth y Puerto Estrella
Puerto Leguizamo Putumayo	Puerto Leguizamo	Puerto Leguizamo, Base Naval y La Tagua

5. A continuación, en la siguiente tabla se da un estimado del costo para implementar la recomendación con base en precios actuales.

NOTA: los precios anotados en la tabla solo hacen referencia a la tecnología TVWS foco de la presente recomendación para un radioenlace en una ZNI y no tiene en cuenta los equipos relacionados con smat metering (medidores inteligentes, concentrador, módulo RF, etc). También se destaca que dichos precios solo consideran 1 solo radioenlace, por lo que IPSE tendrá que calcular el precio para todos los enlaces en ambos departamentos: Guajira y Putumayo.

EQUIPOS Y RECURSOS TECNOLÓGICOS					
#	Concepto del Gasto	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
1	Base Station / Access Point	Adaptrum ACRS2.0 Basestation TVWS Radio: 470 to 698 MHz (Ch. 14-51) ODU with F-Type Connector	\$11.994.000	1	\$11.994.000
2	120-Degree Sector Panel Antenna	2 Bay UHF 470-790 120 Degree Sector Panel Antenna 11dBi 75 ohm	\$840.000	1	\$840.000
3	UHF Antenna 11 dBi	11 dB Gain UHF Antenna (CH14-69) 400-800MHz	\$240.000	1	\$240.000
4	RC Pole/Wall Mount	RuralConnect ODU Pole or Wall Mount	\$105.000	1	\$105.000
6	100' Outdoor CAT5E Cable	100' Outdoor CAT5E Shielded CMX Cable with RJ45 Connectors	\$474.000	1	\$474.000
7	RC Base Surge Protector (POE)	POE Surge Protector - 100W - IP65 Enclosure Rating	\$330.000	1	\$330.000
8	RC Base Surge Protector (RF)	RF Surge Protector for RC High-Value Base Station	\$204.000	3	\$612.000
9	Client Station / Subscriber Unit	Adaptrum ACRS2.0 Client CPE TVWS Radio: 470 to 698 MHz (Ch.14-51) ODU	\$1.380.000	1	\$1.380.000
12	RC Pole/Wall Mount	RuralConnect ODU Pole or Wall Mount	\$105.000	2	\$210.000
13	POE Injector 90-264 VAC 56 VDC	56V POE Injector- 90-264VAC Input - 802.3af POE+	\$177.000	2	\$354.000
14	50' Outdoor CAT5E Cable	50' Outdoor CAT5E Shielded CMX Cable with RJ45 Connectors	\$210.000	2	\$420.000
15	RC CPE Surge Protector (POE)	POE Surge Protector - 51W - IP23 Enclosure Rating	\$180.000	2	\$360.000
16	RC CPE Surge Protector (RF)	RF Surge Protector for RC Client Station. 75 Ohm, 5-1000 MHz	\$36.000	1	\$36.000
17	Bench Test Kit	Adaptrum Bench Test Kit	\$75.000	1	\$75.000
TOTAL					\$17.430.000

CONCLUSIONES

Por ser zonas rurales con las características de la Guajira entre Nazareth y Puerto Estrella y del Putumayo entre Puerto Leguizamo y La Tagua, donde las distancias son relativamente grandes pero sobre todo donde el volumen de información a transmitir es bajo, los dispositivos TVWS que operen con modulaciones poco eficientes en espectro pero con mayor alcance como es el caso de QPSK tendrán un mejor desempeño.

En el presente proyecto se estudiaron dos dispositivos de espacios en blanco, el RuralConnect y el Adaptrum, con sensibilidad de -95,2 dBm y -98 dBm respectivamente, siendo este último el equipo con el cual se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a margen de desvanecimiento, indisponibilidad y fidelidad y con el que cada una de las simulaciones bajo cualquier configuración de los radioenlaces se obtuvo valores dentro de los objetivos de calidad estipulados por la norma respectiva.

La alternativa de usar la tecnología TVWS en la recolección de datos de los medidores inteligentes de las ZNI donde el equipo maestro y el equipo esclavo están separados por una distancia relativamente grande está condicionada a una tasa de transmisión máxima de 4 Mbps en un ancho de banda de 6 MHz que corresponde al de los canales de televisión en Colombia y poder cumplir con los valores de calidad estipulados en la normatividad respectiva.

El correcto uso de la plataforma Xirio para la simulación bajo distintas condiciones o configuraciones de los radioenlaces utilizando TVWS se constituye en una herramienta con la que se obtiene resultados de cierta manera confiables antes de poner en marcha un proyecto como la recolección de información de los medidores de energía de las zonas rurales. No obstante es recomendable utilizar otro software de simulación para de alguna forma contrastar los resultados obtenidos con Xirio.

Los resultados finales del proyecto tanto en la Guajira como en el Putumayo permiten concluir que sí es factible el uso de la tecnología TVWS para recolectar la información de los medidores inteligentes y transportarlos a la central operada por el IPSE en cada zona.

Sin embargo en el caso particular de Puerto Leguízamo en Putumayo se debió dar una alternativa de radioenlace punto multipunto con dispositivo maestro y dos esclavos para poder cumplir con ese propósito, la alternativa resulta finalmente una muy buena opción con miras a atender los nuevos usuarios que están demandando del servicio de energía y que IPSE tiene en mente dar servicio.

La alternativa propuesta de usar espacios en blanco para el envío de datos de los medidores de energía hacia la central respectiva tanto en la Guajira como en Putumayo constituye un sistema con una escalabilidad del 10% al año 2030, que acorde a la información del crecimiento de la población en estas zonas proporcionada por el DANE, resulta más que suficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adaptrum. (2020). *Adaptrum*. Obtenido de https://www.adaptrum.com/Content/docs/acrs2_datasheet_1016.pdf
- Alotaibi, I., A. Abido, M., Khalid, M., & V. Savkin, A. (2020). A Comprehensive Review of Recent Advances in Smart Grids: A Sustainable Future with Renewable Energy Resources. *Energies*, 13.
- Anderson, H. R. (2003). *Fixed Broadband Wireless System Design*. USA: Wiley.
- ANE. (2018). *Convocatorias*. Recuperado el 23 de Agosto de 2019, de <https://www.ane.gov.co/index.php/informacion-de-interes/convocatorias/615-convocatorias-2018>
- ANE. (30 de Abril de 2019). Resolución 181 de 2019. Colombia.
- ANE. (02 de 2021). *Agencia Nacional del Espectro*. Recuperado el 25 de 02 de 2021, de <https://www.ane.gov.co/SitePages/det-noticias.aspx?p=215>
- Arellanos G., J. (2016). *Radios Cognitivos: Conectividad en Zonas Rurales utilizando Espacios Blancos de TV*. Monterrey.
- Arteaga, A., & Navarro, A. (2016). Availability of TV White Spaces Using Spectrum Occupancy Information and Coverage Maps. *IEEE*, 2588-2591.
- Avendaño, E., Espíndola, J. E., & Montañez, O. J. (2020). Study of TV white spaces in the context of cognitive radio for the deployment of WiFi in rural zones of the colombian army. *Espacios*, 41(50), 171-182. doi:DOI: 10.48082/espacios-a20v41n50p12
- Balacco, J. (s.f.). *Radio Enlaces Digitales en un Entorno Urbano y Suburbano*. La Plata, Argentina.
- Balamurthi, R., Joshi, H., Nguyen, C., Sadek, A. K., Shellhammer, S. J., & Shen, C. (s.f.). A TV White Space Spectrum Sensing Prototype. *IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks*, 297-299.
- Beciez, S., Florez, N. J., & Pérez, C. I. (s.f.). *Aplicación de Modelos de Propagación en Sistemas Inalámbricos de Area Extendida WWAN*.
- CARLSON. (2020). *Carlsonwireless*. Obtenido de <https://carlsonwireless.com/wp-content/uploads/2018/04/RuralConnect-Gen3-ETSI-03-22-18-Print-Book-r.pdf>
- Castro Benavides, B. (2017). *Obtención de una cuenca hidrográfica mediante el uso de un software comercial "ArcGISs y el uso de un software libre "Saga". caso de estudio municipio de Porcesito, Antioquia*. Bogotá.

- Cevallos, V., & Polette, S. (2018). *Determinación del tamaño muestral basado en el rendimiento del modelo de propagación Longley Rice en la frontera nororiente del Ecuador*. Salgolquí.
- Collantes, E. C. (2016). *Diseño y configuración de un radioenlace digital para un servicio de emergencia*. Valencia.
- Concejo Municipal de Leguizamó. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal de Leguizamó 2020-2023*.
- Concejo Municipal de Uribe. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal de Uribe 2020 - 2023*.
- Congreso de la República de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994 - Servicios Públicos Domiciliarios*.
- Congreso de la República de Colombia. (1994). *Ley 143 de 1994*.
- Congreso de la República de Colombia. (2003). *Ley 855 de 2003 - Las Zonas no Interconectadas*.
- Corporación Ruta N. (2015). *Área de oportunidad en Medición Inteligentes*. Medellín.
- CREG. (2014). *Resolución 038*.
- DANE. (2019). *DANE-Censo Nacional de Población y Vivienda DNP.TerriData*.
- Deitres SA. (s.f.). *Deitres*. Recuperado el 08 de Marzo de 2020, de Deitres: <http://www.deitres.com/es/servicios/amiar>
- Digital Policy Law. (02 de 2021). *DPL*. Recuperado el 25 de 02 de 2021, de <https://digitalpolicylaw.com/colombia-ocho-escuelas-en-los-montes-de-maria-ya-cuentan-con-internet/>
- Dominic, K. L., Moshe, T. M., & Hanson, I. (2016). TV white space usage in education: An overview of GTUC TV white space network in Accra, Ghana. *IEEE*.
- Dynamic Spectrum Alliance. (02 de 2018). Obtenido de http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2016/07/Model-White-Spaces-Rules_cover-note-SP.pdf
- El Tiempo. (20 de 04 de 2021). Espacios blancos de TV: opción para llevar internet a zonas apartadas. *EL TIEMPO*. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de <https://www.eltiempo.com/opinion/columnistas/miguel-felipe-anzola-espinosa/columna-de-miguel-espinosa-sobre-los-espacios-en-blanco-de-tv-582433>
- ESRI Colombia. (10 de 2020). *esri Colombia*. Obtenido de <https://esri.co/arcgis/>
- Ferroval. (28 de Enero de 2021). *ferroval*. Obtenido de <https://ferroval.com/>

- Greenlys. (s.f.). *Greenlys*. Recuperado el 30 de Enero de 2020, de http://www.greenlys.fr/wp-content/uploads/2013/06/FINAL-GEG-GREENLYS-conf-press_EN-LOWRES.pdf
- Guía Velasco, M. V., & Medina González, F. B. (2018). *Modelo de predicción para la propagación de la señal de televisión digital abierta en Venezuela*.
- Harrison, K. (2011). *Cognitive radios in the TV whitespaces: challenges and opportunities*. Berkeley.
- Hernández, M., Pérez, J., Pérez, M., & Ramírez, F. (s.f.). Monitoreo de espacios en blanco de televisión en Mérida. 1-4.
- Inga, E., Arévalo, G., & Hincapié, R. (s.f.). *Optimal Deployment of Cellular Networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid*.
- IPSE - Centro Nacional de Monitoreo. (16 de Febrero de 2021). *IPSE*. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de IPSE: <http://190.216.196.84/cnm/>
- IPSE, «Centro Nacional de Monitoreo». (s.f.). *www.ipse.gov.co*. (CNM) Recuperado el 15 de Febrero de 2018, de <http://190.216.196.84/cnm/>
- ITRON. (2020). *itron*. Obtenido de <https://www.itron.com/-/media/feature/products/documents/spec-sheet/100188sp06-c1s-centron.pdf>
- ITRON. (2020). *itron*. Obtenido de <https://www.itron.com/-/media/feature/products/documents/spec-sheet/100192sp03-c1sr-r300-idm.pdf>
- ITRON. (2020). *itron*. Obtenido de <https://www.itron.com/-/media/feature/products/documents/spec-sheet/ccu-100.pdf>
- Jaramillo A., J. C. (2015). *Diseño de un radioenlace de servicio fijo de banda ancha entre las ciudades de Sevilla y Córdoba*. Sevilla.
- Khan, M., & Barman, P. (2018). TV White Space in Rural Broadband Connectivity in Case of Bangladesh toward “Vision 2021”. *American journal of Engineering Research*, 7, 36-45.
- Khan, Z. A., & Yasir, F. (2014). Cognitive radio sensor networks: Smart communication for smart grids—A case study of Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 463-474.
- Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67, 74-88.

- LStelcom. (12 de 09 de 2019). *LStelcom*. Recuperado el 12 de 10 de 2020, de <https://www.lstelcom.com/fr/accueil/>
- LSTelcom. (2019). *Spectrum Management*.
- Maheshwari, A., Gopalakrishnan, A., A, H., Mangla, N., Bhagavatula, P., & Goyat, R. (s.f.). *TELEVISION WHITE SPACES – GLOBAL DEVELOPMENTS AND REGULATORY ISSUES IN INDIA*. Ahmedabad.
- Microsoft. (2019). *Microsoft*. Recuperado el 10 de 10 de 2020, de <https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/airband>
- Ministerio de Minas y Energía. (2018). *Resolución número 40072*.
- Ministerio de Minas y Energía; Ministerio TIC; BID; UPME. (2016). *Smart Grids Colombia Visión 2030, Parte I, II y III*. Bogotá.
- Motlagh, O., Foliente, G., & Grozev, G. (2015). Knowledge-Mining the Australian Smart Grid Smart City Data: A Statistical-Neural Approach to Demand-Response Analysis. En O. Motlagh, G. Foliente, & G. Grozev, *Knowledge-Mining the Australian Smart Grid Smart City Data: A Statistical-Neural Approach to Demand-Response Analysis*.
- Movistar. (2021). *Movistar*. Obtenido de www.movistar.co
- Murillo Fuentes, J. J. (2018). *Problemas de Radiocomunicación*. Sevilla, España.
- NICT. (23 de Enero de 2014). *National Institute of information and communications Technology*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2019, de National Institute of information and communications Technology: <http://www.nict.go.jp/en/press/2014/01/23-1.html>
- Pietrosemoli, E., & Zennaro, M. (2013). *TV WHITE SPACES A PRAGMATIC APPROACH* (First edition ed.). ICTP.
- Portafolio. (04 de Junio de 2019). *Portafolio*. Recuperado el 10 de 2020, de <https://www.portafolio.co/contenido-patrocinado/microsoft-transforma-la-ruralidad-con-tecnologia-530161>
- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., González, V., & Pucha, D. (2017). *Fundamentos de SIG Aplicaciones con ArcGIS*. Ediloja Cia, Ltda.
- Rahman, M., & Saifullah, A. (2019). A Comprehensive Survey on Networking over TV White Spaces. *ScienceDirect*, 1-30.
- Rodríguez Bermudez, J. M. (2019). *Estudio de la viabilidad de radioenlaces*. Sevilla, España.

- Rodríguez, J. D., Bautista, J. C., & Sotomonte, L. (2017). *Xirio: Herramienta para la planeación de redes de comunicaciones móviles celulares*.
- Sánchez, J. (2016). *Estimación del impacto de las Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en el precio de la electricidad en Colombia*. Medellín, Colombia.
- Téllez, S. M., Rosero, J., & Céspedes, R. (2018). Advanced metering infrastructure in Colombia: benefits, challenges and opportunities. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), 469-488.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (4 ed.). Prentice Hall.
- Vargas H., C. L. (2020). *Estudio de la disponibilidad de huecos espectrales en televisión en las instituciones educativas oficiales en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Wireless, FIERCE. (s.f.). *Fierce Wireless*. Recuperado el 15 de 12 de 2018, de <https://www.fiercewireless.com/tech/>
- Xirio Online. (2020). *Xirio Online*. Recuperado el 30 de Agosto de 2019, de https://www.xirio-online.com/help/es/line_of_sight.htm

Anexo A: Plataformas utilizadas

1. ArcGIS® V. 10.6 (Licenciado)

ArcGIS® desarrollado por la empresa ESRI, es una herramienta de representación cartográfica y análisis que ofrece un conjunto único de capacidades para aplicar analíticas basadas en la ubicación a sus prácticas comerciales (ESRI Colombia, 2020). De otro lado, ArcGIS® es una de las aplicaciones principales para profesionales de SIG, forman parte de ArcGIS for Desktop. ArcMap y la aplicación que la acompaña, ArcCatalog, así como ArcGlobe y ArcScene, funcionan conjuntamente para proporcionar un espectro completo de funciones de SIG (Castro Benavides, 2017). En otras palabras, cuenta con una arquitectura extensible mediante la que puede añadirse nuevas funcionalidades conocidas como extensiones, entre las cuales se destacan: Spatial Analysis (análisis ráster), 3D Analysis (análisis 3D y de relieve) o Geostatistical Analysis (geoestadística) (Pucha, y otros, 2017).

Una ventaja de ArcGIS® sobre otros software, es el soporte técnico continuo con rápidas y eficientes respuestas, adicionalmente las aplicaciones se van modificando dependiendo de las necesidades del usuario y el mercado. Debido al nombre y reputación de la casa desarrolladora ESRI posee amplia difusión y es bien conocida en el mercado (Castro Benavides, 2017). ArcGIS® además para su interfaz tiene una gran variedad de mapas base (imágenes satelitales), como Imagery que es una de las bases de datos más completa de esta naturaleza.

Es importante anotar que los mapas que se muestran en el presente documento fueron obtenidos y procesados mediante el software licenciado ArcGIS® utilizando información del DANE del Geoportel Marco Geoestadístico Nacional Versión 2017 para los departamentos de La Guajira y del Putumayo, del cual se obtienen las llamadas capas vectoriales o shapes respectivos y pertinentes de las zonas requeridas. Además ArcGIS® también tiene una gran variedad de mapas base (imágenes satelitales), para este caso se utilizó el mapa base de Imagery.

2. Plataformas de simulación

2.1 Xirio (Licenciado)

Xirio Online desarrollado por la empresa Áptica, es una plataforma mediante la cual de una manera rápida se pueden realizar simulaciones de cobertura radioeléctrica en cualquier parte del mundo tanto en entornos rurales como urbanos utilizando *cartografías de alta resolución*. Además se puede compartir y publicar resultados en la web sin necesidad de disponer de herramientas de planificación ni cartografía digital propias y también con un sistema de “pago por uso” (Xirio Online, 2020) (Rodríguez, Bautista, & Sotomonte, 2017).

Xirio presenta dos módulos de trabajo independientes:

- PLANNINGTOOL, como herramienta de planificación radioeléctrica genérica la cual permite al diseñador utilizar una gran variedad de tecnologías inalámbricas: comunicaciones móviles públicas (GSM, DCS, UMTS, LTE,...), radiodifusión (TV, DVB-T, FM, DAB, DVB-H,...), sistemas de comunicaciones móviles profesionales (PMR, TETRA,...), radioenlaces (PDH, SDH,...).
- SHAREPLACE como aplicación de consulta e intercambio de resultados.

Xirio incluye los métodos de cálculo más habituales y reconocidos a nivel internacional, además de proponerle al usuario algunos parámetros por defecto más adecuados dependiendo el caso específico que se esté diseñando. En cuanto a cartografía, XIRIO hace uso de google maps, lo cual hace que sea de aplicación global y se tiene acceso a cientos de ciudades a nivel mundial. Finalmente cabe destacar que la empresa que provee las capas cartográficas a Xirio es Áptica (Xirio Online, 2020) (Rodríguez, Bautista, & Sotomonte, 2017).

3. Radio Mobile

Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación desarrollado por Roger Coudé en 1998 y permite predecir comportamiento de sistemas de radio, para lo cual utiliza datos digitales de elevación de terreno para generar perfil de trayecto entre transmisor y receptor (Cevallos & Polette, 2018).

La plataforma utiliza el modelo de propagación *Longley Rice* y usa capas cartográficas como *Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)*, *Digital Terrain Elevation Data (DTED)*, HGT, SRTM30 las cuales obtiene de diversas fuentes combinados con otras disponibles en la red. Una fuente popular y muy utilizada por el software es el repositorio de la NASA SRTM (Shuttle Radio Topology Mission) de datos de elevación que cubre el planeta completo (Cevallos & Polette, 2018).

Anexo B: ArcGIS® paso a paso

En el presente anexo se describe paso a paso la configuración de la plataforma para caracterizar las zonas de estudio.

Procedimiento

1. Se abre el programa
2. Aparece la ventana de trabajo de la plataforma como la mostrada en la Figura 27 .

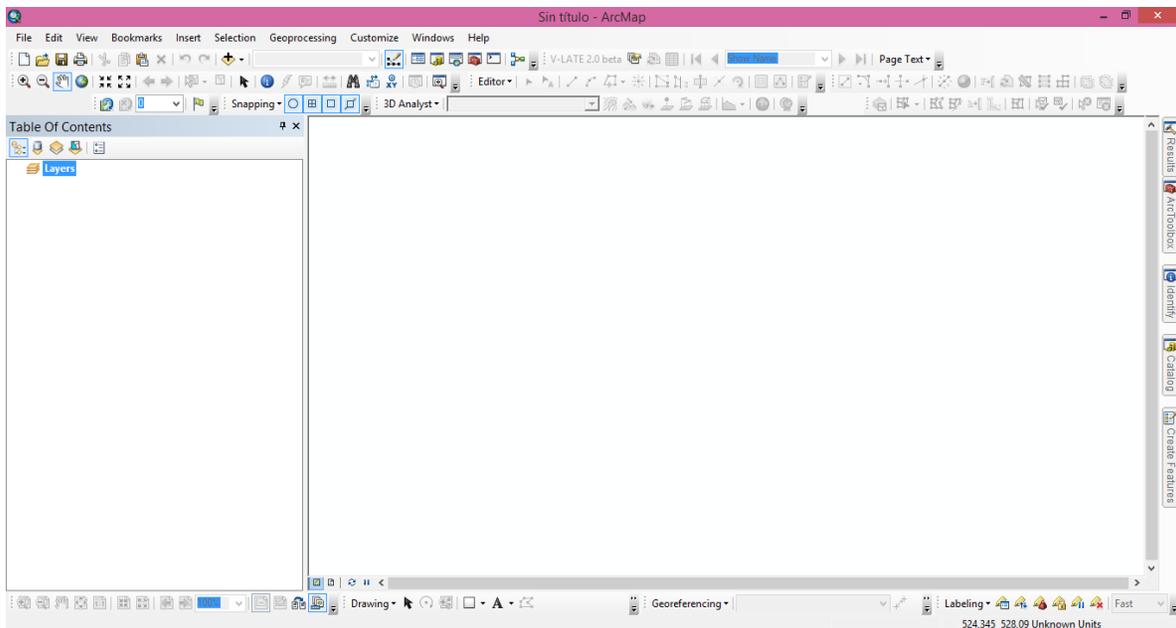


Figura 27: Ventana de trabajo ArcGIS®

Fuente: Elaboración propia

3. En la barra de herramientas en la opción de VIEW, selecciona LAYOUT VIEW con el fin de que aparezca la hoja de trabajo, tal como lo muestra la Figura 28.

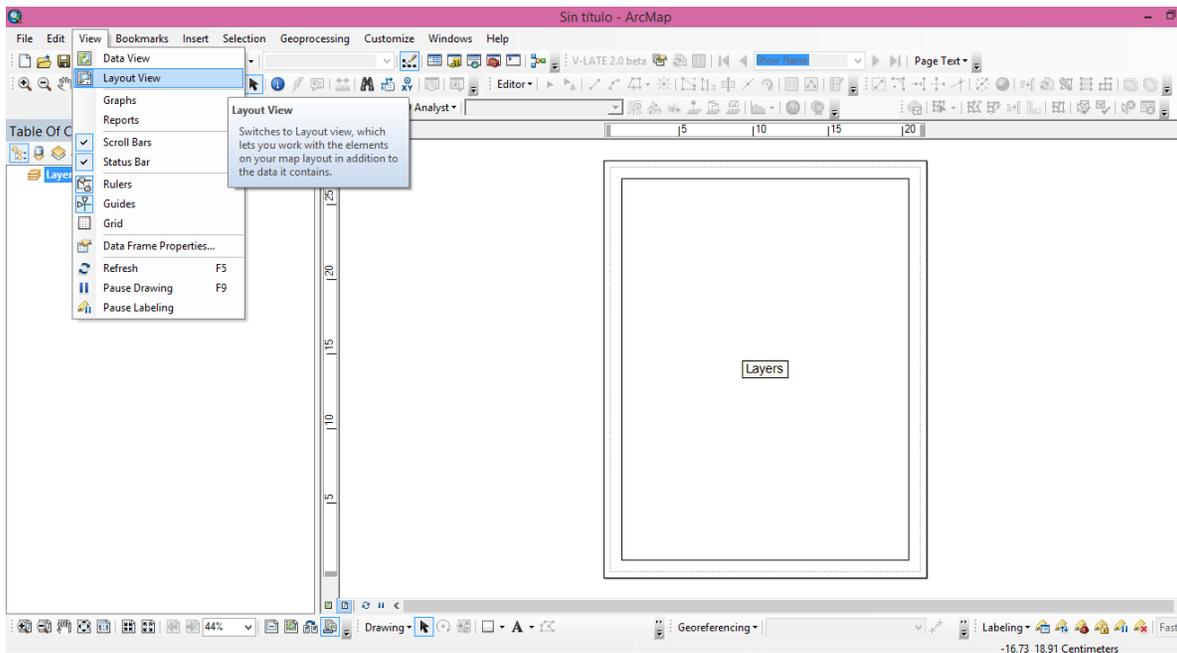


Figura 28: Hoja de trabajo ArcGIS®

Fuente: Elaboración propia

4. Seguidamente se le asigna el tamaño de papel y orientación a la hoja de trabajo. Desde el menú FILE opción PAGE AND PRINT SETUP, se muestra la siguiente ventana, en la cual se confirma el tamaño de papel a carta y en orientación horizontal y se da clic en OK (ver Figura 29).

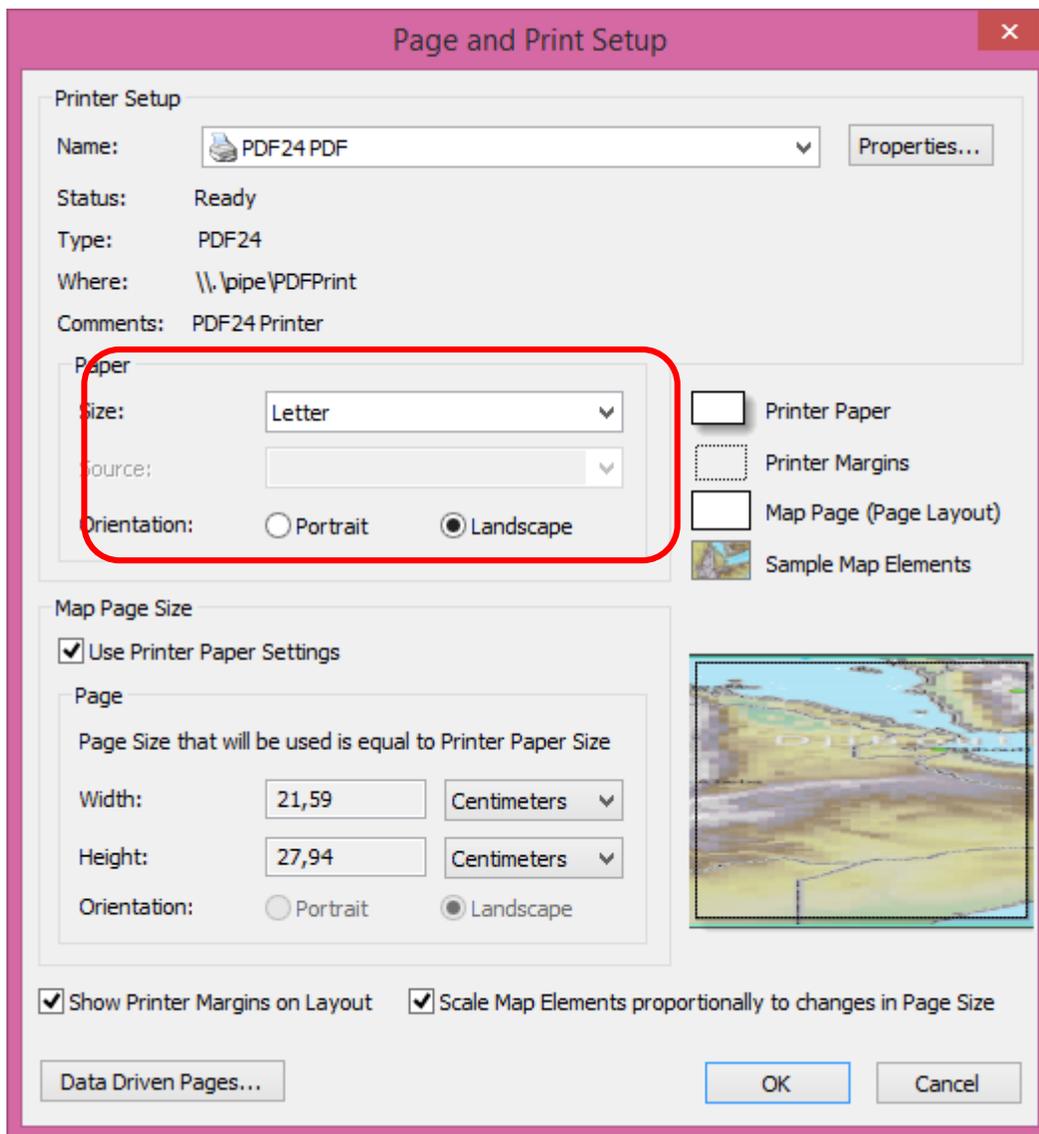


Figura 29: Configuración de Hoja en ArcGIS®

Fuente: Elaboración propia

5. Para este caso se utilizó información del DANE del Geoportal Marco Geoestadístico Nacional Versión 2017 para el departamento de La Guajira (ver Figura 30) y del Putumayo.

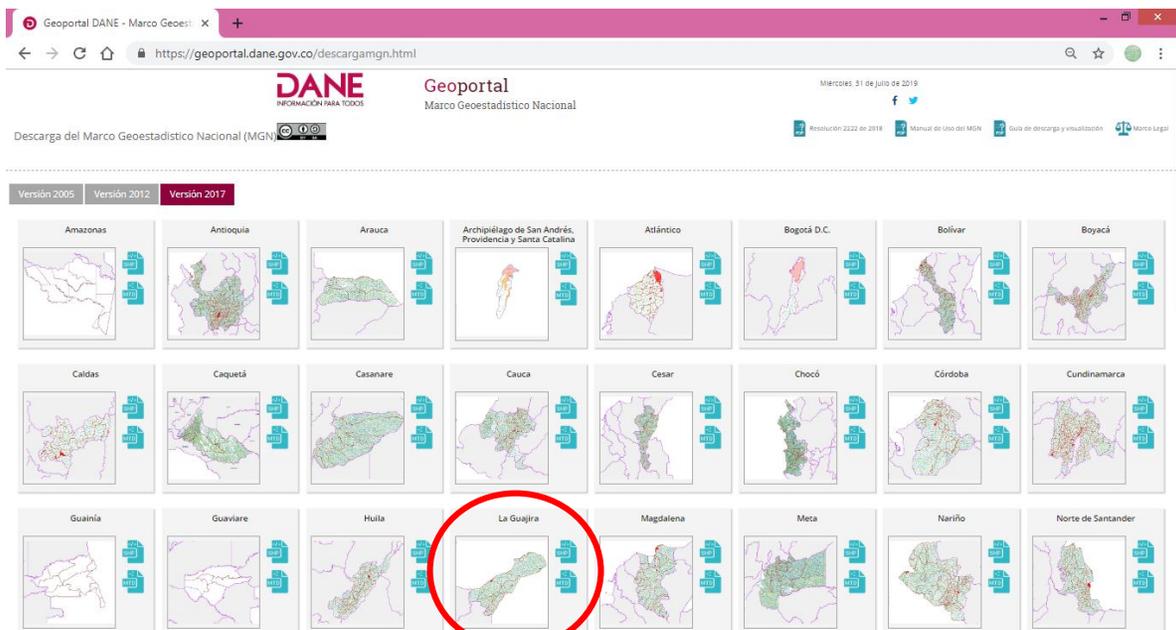


Figura 30: Información DANE departamento de la Guajira

Fuente: Elaboración propia

6. Y ya se pueden cargar las capas vectoriales (shape) al área de trabajo. Como se va a realizar dos ventanas cartográficas para el área de trabajo, simplemente se agrega un Data Frame.
7. A cada capa vectorial se le organizan los labels (nombre del departamento, municipio, etc.) (ver Figura 31).

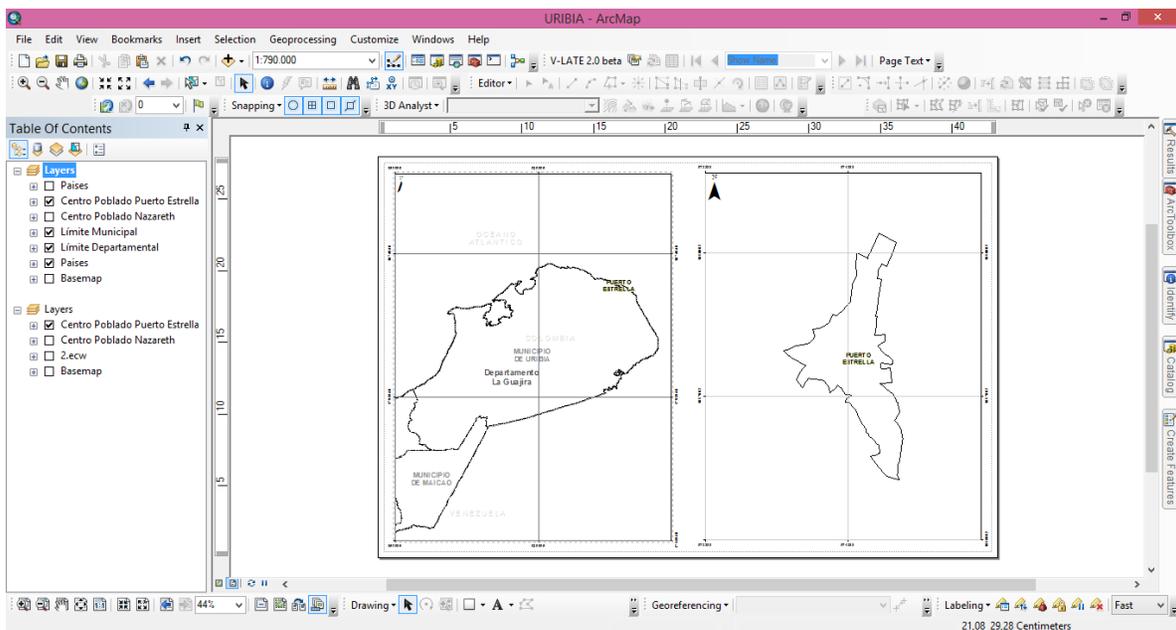


Figura 31: Interfaz del Data Frame en ArcGIS®

Fuente: Elaboración propia

8. Arcgis tiene gran variedad en cuanto a mapas base (imágenes satelitales), para este caso se emplea el mapa base de Imagery como el que se muestra en la Figura 32.

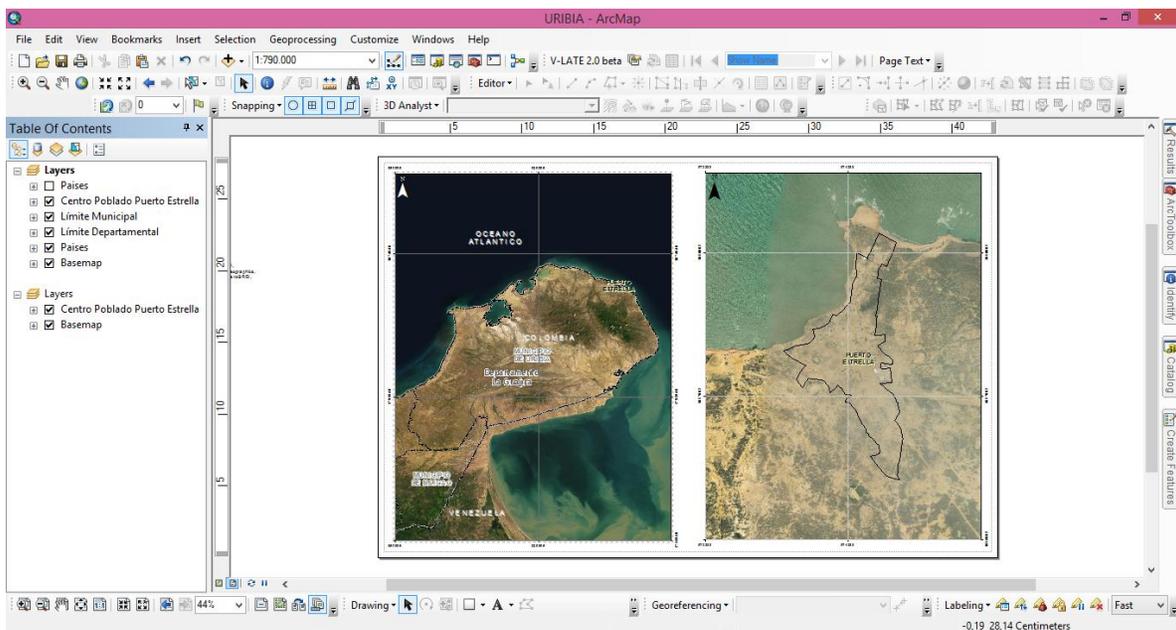


Figura 32: Mapa de Imagery para la Guajira

Fuente: Elaboración propia

9. Ya se ha terminado de elaborar la figura, simplemente se exporta en el formato que se desee, para este caso en JPG dando como resultado el mostrado en la Figura 33.



Figura 33: Resultado final de zona en ArcGIS®

Fuente: Elaboración propia

El anterior paso a paso se realizó para el proceso de localización, pero ArcGIS tiene un sin número de opciones según el requerimiento que se necesite, por ejemplo se puede obtener un perfil de altimetría entre dos puntos o de un terreno específico, también con otro tipo de “shape” se puede lograr el tipo de suelo y determinar si esos suelos son aptos por ejemplo para instalar antenas de energía eléctrica, entre otras.

Anexo C: Dispositivos Smart Grids

1. Medidor CENTRON C1S



C1S

CENTRON® Meter

The CENTRON C1S solid-state meter is used for measuring single-phase energy consumption. With this solid-state meter, Itron presents a platform for residential metering with the flexibility to adapt as your needs expand and change.

The CENTRON C1S is available as an energy meter with an LCD register. As an option, the meter is available with interchangeable personality modules, including demand, time-of-use (TOU), load profile and various communication options.

FEATURES

Flexible Platform

- ▶ The CENTRON meter can easily be upgraded to any of the option modules available
- ▶ All calibration data is permanently stored in the base of the meter on the CENTRON metrology board

Personality Modules

- ▶ The interchangeable personality modules are part of a snap-in register assembly
- ▶ The personality module houses all register or communication functions

Enhanced Performance

- ▶ Low starting watts
- ▶ Low burden
- ▶ Captures energy that was not monitored in the past by electromechanical meters

Tamper Resistant

- ▶ Measures energy even if the meter is inverted

Standard Features

- ▶ Electronic LCD register
- ▶ Polycarbonate cover
- ▶ Test LED Unattended Processing

Option Module Upgrades

- ▶ Demand module (C1SD)
- ▶ TOU with demand module (C1ST)
- ▶ Load profile with TOU and demand module (C1SL)
- ▶ R300 900 MHz RF module (C1SR)

Option Availability

- ▶ Glass cover
- ▶ Electronic detent
- ▶ Identification/Accounting aids

Product Availability

Meter Version	Class	Volts	Wire	Form	Digits/Mult	Energy Setting	Catalog Number Glass	Catalog Number Poly
C1S	100	120	2	1S	5x1	Undetented	G980225	G980205
C1S	200	240	3	2S	5x1	Undetented	G980194	G980181
C1S	320	240	3	2S	5x1	Undetented	G980236	G980213
C1S	20	120	2	3S	5x1	Undetented	G980247	G980248
C1S	20	240	3	4S	5x1	Undetented	G980255	G980223
CN1S	200	120	3	12S	5x1	Undetented	G980257	G980195
CN1S	200	120	3	25S	5x1	Undetented	G980265	G980266

Technical Data

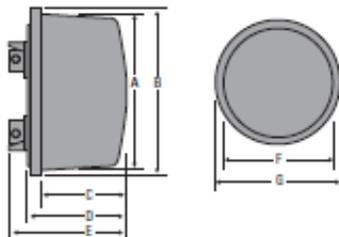
Meets applicable standards:

- ▶ ANSI C12.1 - 1995
- ▶ ANSI C12.10 - 1997
- ▶ ANSI C12.20 (Class 0.5) - 1998
- ▶ ANSI C37.90.1 - 1989
- ▶ ANSI C62.45 - 1992
- ▶ IEC 61000-4-4
- ▶ IEC 61000-4-2
- ▶ FCC Part 15, Subclass C

Reference Information

- ▶ CENTRON Technical Reference Guide
- ▶ CENTRON C1SR Specification Sheet
- ▶ CENTRON C1SC Specification Sheet
- ▶ CENTRON C1SD, T, L Specification Sheet
- ▶ Hardware Specification Form
- ▶ ZRO-C2A Handheld Meter Resetter Instructions

Dimensions



SPECIFICATIONS

Dimensions

Polycarbonate						
A	B	C	D	E	F	G
6.29"	6.95"	2.7"	3.16"	4.53"	6.29"	6.95"
16 cm	17.7 cm	6.9 cm	8 cm	11.5 cm	16 cm	17.7 cm
Glass						
A	B	C	D	E	F	G
6.42"	6.95"	3.03"	3.55"	4.9"	6.42"	6.95"
16.3 cm	17.7 cm	7.7cm	9 cm	12.5 cm	16.3 cm	17.7 cm

Shipping Weights

Polycarbonate			Glass		
	Pounds (approx)	Kilograms		Pounds (approx)	Kilograms
4 Meter Cartons	8.9	4.04	4 Meter Cartons	13.96	6.35
120 Meter Pallets	260-265	117.936	120 Meter Pallets	335	151.956

Specifications

Power Requirements	Voltage Rating: 240 Operating Voltage: ± 20% (60 Hz); ±10% (50 Hz)	Frequency: 60Hz, 50Hz Operating Range: ± 3 Hz	
Operating Environment	Temperature: -40° to +85°C	Humidity: 0% to 95% non-condensing	
Transient / Surge Suppression	ANSI C37.90.1-1989 ANSI C62.45-1992	IEC 61000-4-4	
Accuracy	ANSI C12.20 0.5 accuracy class		
General LCD Display	Five-digit liquid crystal display Annunciator height: 0.088"	Data digit height: 0.4" Electronic load indicator	
Characteristic Data	Starting watts: 5 watts		
Temperature Rise Specifications	Meets ANSI C12.1 section 4.7.2.9		
Burden Data*	Voltage circuit:		
	Voltage: 240	Watts: 0.5	VA: 7.5
	Current coil-self contained test amp current: 60 Hz		
Service: 3-Wire	Test current: 30 (amps)	VA: <0.50	



At Itron, we're dedicated to delivering end-to-end smart grid and smart distribution solutions to electric, gas and water utilities around the globe. Our company is the world's leading provider of smart metering, data collection and utility software systems, with over 8,000 utilities worldwide relying on our technology to optimize the delivery and use of energy and water.

To realize your smarter energy and water future, start here: www.itron.com

ITRON ELECTRIC METERING

313-B North Highway 11
West Union, SC 29696
USA

Phone: 1.877.487.6602
Fax: 1.864.638.4950

CORPORATE HEADQUARTERS

2111 N Moller Road
Liberty Lake, WA 99019
USA

Phone: 1.800.635.5461
Fax: 1.509.891.3355

2. CENTRON C1SR R300 IDM



R300 IDM CENTRON®

The Radio Frequency Personality Module allows meter data to be collected automatically, helping to save time, improve reliability, increase accuracy and ensure data security.

The R300 IDM is a Radio Frequency (RF) Personality Module based on the CENTRON solid-state metering platform. Kilowatt-hours and tamper data are reported through RF transmissions. The R300 IDM module provides both baseline and advanced data collection functionality, including interval data recording and enhanced tamper reporting capability. The R300 IDM delivers the ERT Standard Consumption Message (SCM) to any of Itron's radio-based data collection technologies, including handheld computers (OMR), a vehicle based mobile AMR unit such as the Mobile Collection System and Mobile Field Collector, or a network data collection solution such as the Itron Fixed Network or Micro Network. In addition, the R300 IDM is capable of

delivering the Interval Data Message (IDM) to the Itron Fixed Network AMR system to calculate ANSI standard demand, time-of-use and load profiling information.

The meter can be reset by using the ZRO-C2A which resets both the kWh register and tamper status counters.

Itron provides all applications, related hardware and complete support to automate and ensure maximum efficiency in the installation process for utilities. Itron also provides easy-to-use file interfaces to support the upload and download of information to and from utility billing systems.

Standard Features

- » Electronic LCD display
- » Polycarbonate cover
- » Test LED Option Availability
- » Glass cover
- » Identification/Accounting aids
- » Undetented energy setting
- » Detented energy setting
- » Net energy setting

Radio Frequency Personality Module

- » Fully factory programmed
- » Transmit frequency; spread spectrum 910-920 Mhz

Energy RF Transmission

- » Each RF transmission contains the unit ID number, unit type, energy usage, and tamper status, as well as the Cyclic Redundancy Check (CRC) to ensure message integrity.

Tamper Detection

The Itron patented method of tamper detection identifies:

- » Power removal tamper
- » Meter inversion tamper
- » Reverse disk rotation
- » Power outage count

Technical Data

Meets applicable standards:

- » ANSI C12.1 - 1995
- » ANSI C12.10 - 1997
- » ANSI C12.20 (Class 0.5) - 1998
- » ANSI C37.90.1 - 1989
- » ANSI C62.45 - 1992
- » IEC 61000-4-4
- » EC 61000-4-2
- » FCC Part 15, Subclass C

Reference Information

- » CENTRON Technical Reference Guide
- » CENTRON C1S Specification Sheet
- » CENTRON C1SC Specification Sheet
- » CENTRON C1SD, T, L Specification Sheet
- » ZRD-C2A Handheld Resetter Operating Instructions

Product Availability

Volts & Service	Meter Class	Test Amps	Kh (Pulse/Wh)	Form No.	Register Description	Digits & Multipliers	Catalog with Glass	Catalog with Poly
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	LCD	5 x 1	G980485	G980486
120V 2-wire	100	15	1.0	1S	LCD	4 x 10	G980499	G980500
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	LCD	5 x 1	G980513	G980476
240V 3-wire	200	30	1.0	2S	LCD	4 x 10	G980514	G980477
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	LCD	5 x 1	G980487	G980488
240V 3-wire	320	50	1.0	2S	LCD	4 x 10	G980501	G980502
120V 2-wire	20	2.5	1.0	3S	LCD	5 x 1	G980489	G980490
120V 2-wire	20	2.5	1.0	3S	LCD	4 x 10	G980503	G980504
120V 3-wire	200	2.5	1.0	12S	LCD	5 x 1	G980495	G980496
240V 2-wire	20	2.5	1.0	3S	LCD	5 x 1	G980491	G980492
240V 2-wire	20	2.5	1.0	3S	LCD	4 x 10	G980505	G980506
240V 3-wire	20	2.5	1.0	4S	LCD	5 x 1	G980493	G980494
240V 3-wire	20	2.5	1.0	4S	LCD	4 x 10	G980507	G980508

Refer to the CENTRON Technical Reference Guide for the catalog numbers and burden data for the FM 1S CL100, FM2S CL320, FM3S CL20, FM 4S CL20, FM 12S CL200 and FM 25S CL 200 meters. All catalog numbers specify undelanted energy setting with 7/1 segment check. Please refer to the CENTRON specification number bulletin for additional configurations.

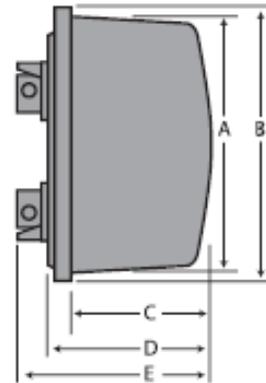
Dimensions

Polycarbonate

A	B	C	D	E	F	G
6.29"	6.95"	2.7"	3.16"	4.53"	6.29"	6.95"
16cm	17.7cm	6.9cm	8cm	11.5cm	16cm	17.7cm

Glass

A	B	C	D	E	F	G
6.42"	6.95"	3.03"	3.55"	4.9"	6.42"	6.95"
16.3cm	17.7cm	7.7cm	9cm	12.5cm	16.3cm	17.7cm



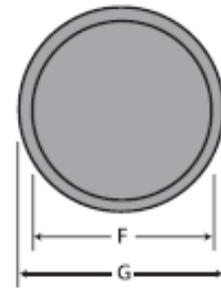
Shipping Weights

Polycarbonate

4 Meter Cartons	Approx. 8.9 lbs.	4.04 kg
96 Meter Pallets	Approx. 214 lbs.	97.30 kg

Glass

4 Meter Cartons	Approx. 13.98 lbs	6.35 kg
96 Meter Pallets	Approx. 335 lbs	152.30 kg



Specifications

Power Requirements	Voltage Rating: 240 V, 120 V Frequency: 60 Hz (50 Hz)	Operating Voltage: ±20% (60 Hz), ±10% (50 Hz) Operating range: ±3 Hz
Transmitter Frequency	910-920 MHz Frequency Hopping	
Operating Environment	Temperature: -40° to +85°C Humidity: 0% to 95% non-condensing	
Transient/Surge Suppression	ANSI C37.90.1 - 1989 IEC 61000-4-4 ANSI C62.45 - 1992	
Accuracy	ANSI C12.20 0.5 Accuracy Class	
General LCD Display	Five-digit Liquid Crystal Display Data Digit Height: 0.4" Annunciator Height: 0.088 Electronic Load Indicator	
Characteristic Data	Starting Watts: 5 Watts	
Temperature Rise Specifications	Meets ANSI C12.1 Section 4.7.2.9	
Burden Data	Voltage Circuit: Voltage: 240 Watts: 1.79 VA: 7.45	
	Current Coil-Self Contained Test Amp Current: 60Hz Service: 3-wire Test Current (Amps): 30 VA: <0.50	

3. concentrador de datos ITRON modelo CCU 100



CCU 100

Acquiring meter data is one half of the equation in a successful fixed network system. The other half is delivering that information back to the utility. With the onset of advanced metering initiatives and more robust collection of interval and event data, ensuring your information arrives where and when it should becomes critical. Devices that transport data across the network are a critical link, connecting utility and consumer.

Itron's new CCU 100 makes that link stronger than ever. The CCU 100 (also known as a collector) reads data from Itron electricity meters, gas and water endpoints, and repeaters. Data is forwarded from the collector to the utility over a public wide area network (cellular-based WAN or broadband) or a private WAN supporting IP-addressable packet data. Data is automatically uploaded to the Itron Fixed Network Software and can be used for billing as well as advanced applications and analysis in a meter data management system. Data uploads occur at scheduled intervals. The CCU 100 can also facilitate on-demand requests when needed. Collectors operate on a 120/240 auto-sensing volt service and are equipped with a backup battery. In the event of an outage, the collector sends an alarm to the Itron Fixed Network Software with information describing various events, including power loss, restoration, and low-battery conditions.

FEATURES AND BENEFITS

Itron's latest fixed-network collector, the CCU 100, supports the needs of today's evolving utility by providing:

- » Two-way communication to endpoints and to the repeater to collect on-demand reads and issue network commands
- » Robust collection of time-synchronized interval data, when coupled with a meter data management system, helps utilities:
 - Improve customer service
 - Refine forecast consumption
 - Manage and control tamper and theft
 - Develop new rate-based and customer incentive programs
 - Better respond to customer "what-if" questions
- » Time-synchronization of endpoint clocks, ensuring data collected territory-wide is accurately time-stamped
- » Retrieval of missing interval data in the event of a network outage
- » A compact device footprint that is lightweight and unobtrusive
- » Flexible and easy installation including tower, building or utility pole-mount options
- » Low power consumption
- » Solar-powered configurations for locations where hard-wired power is not readily available
- » Multiple communication options for public and private WAN backhauls. Public and private technologies can be combined in a deployment, providing a hybrid approach best suited to the communication strengths of a given area

SPECIFICATIONS

Functional

- » Power Requirements
 - Power source: 90VAC to 265VAC/ 47 Hz to 63 Hz
 - Power consumption: 12 Watts
Maximum 7.5 Watts Typical
 - Power cable with photocell adapter for street light mount
 - Power connectors: watertight and keyed
 - Backup battery: 6 VDC, 4.5 AH lead-acid, 1.5 hour operating duration
- » Operating Environment
 - Operating and storage temperatures: -40C to +60C (-40F to 140F) ambient
 - Operating humidity: 0 to 95% non-condensing relative humidity
- » Product Details
 - Product life: 15 years
 - Product identification: numeric and bar code serial number
 - Certification: meets or exceeds applicable ANSI C12.1 or equivalent standards

Operational

- » Endpoint Transceiver Operating Frequency
 - 903.0-926.8 MHz

- » Backhaul Specifications
 - Ethernet
 - Flexible Private LAN options via Ethernet connection
 - HSPA/UMTS
 - EDGE/GPRS/GSM
 - CDMA EV-DO Rev A
 - CDMA 1xEV-DO Rev 0
 - CDMA 1xRTT
 - CDMA IS-95

Regulatory and Standards

- » FCC, CFR 47, Part 15 Class B certified

Physical

- » Dimensions
11.6" x 6.3" x 3.9" (29.5 cm x 16.0 cm x 9.9 cm)
- » Weight - 6.3 lbs. (2.9 kg) with battery

Installation Methods

- » Utility pole mount
- » Street light pole mount, optional photocell power adapter
- » Roof mount
- » Wall mount
- » Tower configuration

Host Processing Software

- » Itron Network Software
- » Optional Hosted Services



Mounting Options



At Itron, we're dedicated to delivering end-to-end smart grid and smart distribution solutions to electric, gas and water utilities around the globe. Our company is the world's leading provider of smart metering, data collection and utility software systems, with over 8,000 utilities worldwide relying on our technology to optimize the delivery and use of energy and water.

To realize your smarter energy and water future, start here: www.itron.com

CORPORATE HEADQUARTERS

2111 N Moller Road
Liberty Lake, WA 99019
USA

Phone: 1.800.635.5461

Fax: 1.509.891.3355

Anexo D: Dispositivos TVWS

1. Adaptrum ACRS2.0

DATA SHEET

Adaptrum ACRS2.0



TV White Space Client Radio

Ubiquitous Wireless Broadband with TV White Space Technology

Adaptrum's ACRS2.0 provides long-range wireless broadband connectivity with unrivaled non-line-of-sight (NLOS) coverage, simple deployment, and globally proven reliability. The ACRS2.0 serves as the client radio of the Adaptrum TV White Space (TVWS) System. These radios are ideal for supporting a range of fixed wireless applications: from rural broadband for underserved communities to machine-to-machine communication.

Long Range. Improved Penetration

Low frequency TVWS spectrum combined with Adaptrum's Non-Line-of-Sight (NLOS) OFDMA technology provides better propagation and improved signal penetration. Means reliable service even in rugged terrain and heavy foliage.

Fast & Low Latency

Industry leading channel efficiency and Just-In-Time OFDM Frame Buffering technology supporting up to 256-QAM provides highest data rates and lowest latency in any TVWS system. Means robust delivery of broadband services.

Dynamic Access

Wide-band frequency agile radios and patented Agile Sensing technology provide unlicensed access to underutilized TV White Space spectrum. Allows dynamic selection of best channels and optimal network planning.

Interference Free

Patented Clean Radio Emission technology is spectrum environment conscious. Produces the cleanest out-of-band emission in the industry. Provides interference free coexistence with TV broadcast systems and TVWS networks.

Ultra Rugged

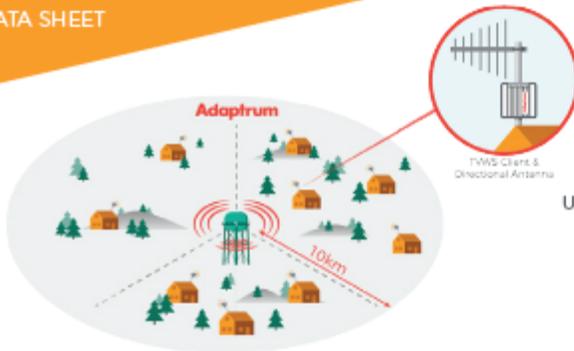
Sealed and ruggedized aluminum shell construction allows the ACRS2.0 to withstand the harshest environmental conditions and achieve extended outdoor life anywhere around the world.

Manage with Ease

Status and configuration of every device are instantly accessible remotely via the Adaptrum network manager system. Intuitive controls and rich data collection & analysis makes managing and monitoring whole networks easy.

Simple Deployment

Weighing less than 4 pounds, the ACRS2.0 can be wall or pole-mounted with the simple, provided bracket. Allows easy installations and flexible deployments with existing infrastructure in any location.



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 basestation site typically comprised of 3 sectorized TVWS basestation radios.

Supporting non-line-of-sight links, clients can be deployed out to a distance of 6mi (10km) and in any direction from the basestation 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	6MHz Ch.		8MHz Ch.		Modulation
(dB)	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°, 11 dBi					
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.

2. RuralConnect Generation TVWS Radio G3



BROADBAND SOLUTIONS TO SERVE NON-LINE-OF-SIGHT CUSTOMERS

Gen3 RuralConnect® TV White Space System

- Great NLOS throughput & low latency for video streaming/ gaming & VoIP
- Much lower CAPEX than 900 MHz or Fixed LTE networks
- Large & ubiquitous NLOS coverage areas
- Unlicensed & uncongested spectrum in rural markets



Since the 1990's, Carlson Wireless has provided wireless equipment to ISPs and telecom carriers that deliver high-quality broadband and telephony to rural and remote areas throughout the world. CWT's leading-edge TV White Space products have been deployed in over 30 countries since entering the market in 2011.

ITU Region 1 EURO Version

BREAKTHROUGH: GREATER NLOS PERFORMANCE AND LOWER BUILD-OUT COST

Broadband solutions to serve non-line-of-sight customers and rural areas

- Low-band signal penetrates through trees, foliage, walls, and weaves around hills
- 900 MHz and fixed LTE systems cannot deliver as robust NLOS or provide large & ubiquitous coverage area
- “Clean” TV White Space spectrum avoids 900 MHz overcrowding and scarcity/costs of 3.5 GHz licenses

Single base station serves hundreds of subscribers

- Aggregate throughput of 96 Mbps per base station
- 32 Mbps combined DL/UL per subscriber
- Very low latency (25 to 35 ms round trip) for video streaming, VoIP, and gaming
- Delivers sustained rate of 10/1 Mbps for up to 30 subscribers
- Optional second radio module per CPE doubles the subscriber's throughput using proprietary link aggregation.
- OTA data rates as high as 24.0 Mbps using 64 QAM 5/6
- OTA data rate as high as 14.4 Mbps using 16 QAM 3/4

Leverages Reliability and Capability of IEEE 802.11af standard

- Leading edge standard with multiple enhanced features, including auto-negotiation/modulation
- IEEE 802.11af developed from 20 years of “know how” based on WLAN IEEE 802.11

In a NLOS environment, much lower deployment costs than the alternatives, including fixed LTE, 900 MHz, or LOS networks

- Fewer backhaul links, fewer towers, lower operational and maintenance costs
- Lower CPE and base station prices than any TV White Space manufacturer
- Single outdoor base station unit in rugged enclosure simplifies time & expense of installation and setup

Large coverage areas: 10 to 15 km radius from a single base station

- Reach distances as far as 25 km LOS. 5 to 10 km NLOS with obstructions



Base Station



CPE Unit

RURALCONNECT® THE BEST NLOS SOLUTION

	RuralConnect (TVWS)	900 MHz	Fixed LTE
Great speed/low latency	Yes	Yes	Yes
Affordable CAPEX	Yes	Yes	No
Heavy NLOS Performance	Yes	No	No
Large amount of available free spectrum	Yes	No	No



3rd Generation RuralConnect® TV White Space Radio

Uses TV White Space technology for signals strong enough to penetrate through hills, trees, and foliage to provide broadband services to communities in rural remote locations.

USE CASES

- Rural Broadband Internet Access and VoIP for Homes and Businesses
- WLAN Hotspot Backhaul
- Schools & Libraries Broadband Access
- Internet of Things Monitoring
- Point to Point Backhaul
- Public Safety & Border Patrol
- Video Surveillance and Security
- M2M SCADA Communications
- Smart Grid & Metering
- Positive Train Control
- Oil & Gas Well and Pipeline

GEN 3 RURALCONNECT® SPECIFICATIONS

Below are examples of different distances and modulation settings to show throughputs and link margin in a single 8 MHz channel. With an additional radio module in the client station, use of two 8 MHz channels would deliver end-user throughputs ~twice that of the 8 MHz channel. Note that the OTA data rate has to be divided between uplink and downlink, e.g., if 80/20, then 36 Mbps = 29 DL and 7 UL. To understand how many CPE's can be used with a Base station, divide the base station capacity by the number of CPE's multiplied by the contention ratio (typically 6). For example, Base cap = 32 x 3 = 96Mbps. 48 CPEs x 6 = 96/288 = 3Mbps for 48 active CPE's.

Modulation and Coding	OTA Data Rate In Mbps	Range In km*	Base Ant Gain In dBi	CPE Ant Gain In dBi	Frequency In MHz	Base EIRP In dBm	Free Space Loss In dB	RX Signal In dBm	CPE Sens In dBm	Link Margin In dB**	Rayleigh Fading %
QPSK 3/4	7.2	33	7.8	10.3	569	28.5	118.0	-79.7	-95.2	15.5	98.21
16 QAM 3/4	14.4	16	7.8	10.3	545	28.5	111.3	-73.0	-88.2	15.1	98.07
64QAM 5/6	24	5.0	7.8	10.3	521	28.5	100.8	-62.5	-77.9	15.3	98.15
256QAM5/6	32	2.5	7.8	10.3	473	28.5	94.0	-55.7	-71.0	15.3	98.14

*The distance is optimized for 98% availability

** if the path is unobstructed

GENERAL SYSTEM SPECIFICATIONS

System Architecture	3 Independent IEEE 802.11af Base Station Radios
Aggregate Data Capacity	96 Mbps
Frequency Bands	UHF 470-790 MHz (ETSI)
Channel Spacing	8 MHz (ETSI)
	2-channel aggregation selectable
Round Trip Ping Latency	5-35 ms, depending on user load
Data Rate Control	Adaptive or fixed
ACP and Spectrum Mask	Meets FCC and ETSI specifications
Standardization	IEEE 802.11af Fully Compliant

BASE STATION

RF Transmit Power	+21dBm within +/- 1dB
Antenna Connector	3 F-type female 75 Ohms
POWER - OUTDOOR TOWER MOUNT	
Voltage	100-240 VAC, 50-60 Hz or 24-48 VDC
Power	Idle: 6W; Rx: 10W, Tx: 25W
Connector	RJ 45 POE

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Unit Dimensions	7.5" x 3.25" x 9"
Enclosure Material	Painted anodized aluminum
Weight	6 lbs. 4 oz.
Mounting	1" to 2" vertical mast

NETWORK SPECIFICATIONS

RX Blocking Resistance	-48 dB TV transmission on chan N+2 -20 dBm cellular station transmissions
Operating Mode	CSMA (TDMA optional)
User Ports	10/100 baseT Ethernet
Management	Web-based, SNMP (NMS & Billing opt)

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating Temperature	-30° to 55° C
Operating Humidity	Up to 95%, non-condensing
Shock and Vibration	MIL-STD-810
Security	WPA2 - PSK (156 AES)

CPE CLIENT STATION

RF Transmit Power	+21dBm within +/- 1dB
Antenna Connector	F type female 75 ohm
POWER	
Voltage	100-240 VAC, 50-60 Hz or 24-48 VDC
Power	Idle: 3.8W, Rx: 6.5W, Tx: 10.3W
Connector	RJ 45 POE

MECHANICAL SPECIFICATIONS ODU

Unit Dimensions	7.5" x 3.25" x 9"
Enclosure Material	Painted anodized aluminum
Weight	5 lbs. 8 oz.
Mounting	1" to 2" vertical mast

U.S. Patent No. 9,849,844 on RuralConnect® Gen 3



Carlson Wireless Technologies, Inc.
3134 Jacobs Ave, Suite C
Eureka, CA 95501 USA

T: +1 707.443.0100

E: info@carlsonwireless.com
www.carlsonwireless.com

Anexo E: Protocolo de simulaciones para Xirio Online

En este protocolo se presenta el diseño y el desarrollo de las simulaciones en la plataforma Xirio Profesional para evaluar los TVWS en los radioenlaces en las ZNI de la Guajira y Putumayo operadas por el IPSE.

1. Requerimientos Previos

Para la ejecución de las simulaciones en la plataforma Xirio Profesional, es necesario primero caracterizar las zonas en las cuales se van a realizar los radioenlaces y conocer todos y cada uno de los dispositivos y su configuraciones que intervienen en un radioenlace entre dos puntos con tecnología TVWS. En el capítulo 3 del documento se especifica las características de cada zona donde se implementa los radioenlaces y también los equipos correspondientes. Adicionalmente para poder llevar a cabo las simulaciones, fue necesario familiarizarse con las plataformas ArcGIS® y Xirio Online (en el anexo B se describe el manejo y configuración de la plataforma ArcGIS®).

2. Procedimiento.

Las simulaciones realizadas en la plataforma Xirio constan de siete etapas, la primera consiste en la configuración del estudio en la cual se determina el tipo de radioenlace a estudiar y el tipo de servicio.

La segunda etapa consiste en las propiedades del estudio de enlace, en la cual se dan algunos detalles generales del radioenlace.

La tercera etapa corresponde a la configuración de extremos, en el cual se consideran las cotas apropiadas para ubicar los sitios de emplazamiento acorde a los resultados de la caracterización de cada zona.

La cuarta etapa es la configuración de los parámetros de radio, en donde se eligen las antenas y parámetros de la misma tanto de transmisión como recepción.

La quinta etapa consiste en la configuración y propiedades de equipos. Para esta etapa se realizó el estudio de los equipos de TVWS propuestos en el capítulo 3 y se configuraron los parámetros en Xirio acorde a las especificaciones técnicas de los mismos.

La sexta etapa es la elección del método de cálculo y sus propiedades, para la cual se tuvo en cuenta modelos que se adaptaran a la zona respectiva y que se pudieran aplicar en la banda de frecuencia donde operan los TVWS.

Finalmente la séptima etapa consiste en la simulación de los radioenlaces por medio del software Xirio Profesional variando los parámetros de cada etapa para considerar un marco de análisis más completo.

Etapa 1: Configuración del estudio

Los pasos para el desarrollo de la primera etapa son:

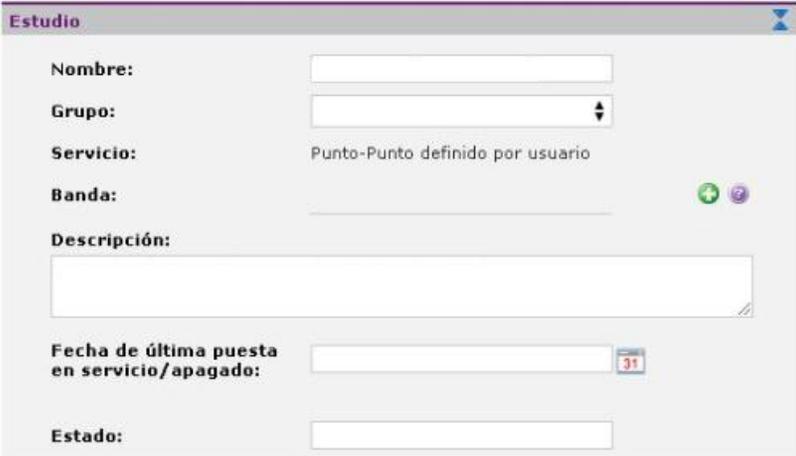
1. Crear un nuevo proyecto en la plataforma Xirio
2. Elegir el tipo de servicio que para este estudio es “fijo punto a punto” acorde a lo estipulado en la Resolución 181 de 2019.
3. Definir el rango de frecuencia para el enlace, que para TVWS en Colombia va desde los 470 MHz a los 698 MHz.

Etapa 2: Propiedades del estudio del enlace

Los pasos en esta etapa son:

4. Se le da un nombre al radioenlace
5. Se da una pequeña descripción del radioenlace a estudiar como se muestra en la Figura 34.

Propiedades del estudio de Enlace



Estudio

Nombre:

Grupo:

Servicio: Punto-Punto definido por usuario

Banda:  

Descripción:

Fecha de última puesta en servicio/apagado: 

Estado:

Figura 34: Propiedades del estudio

Fuente: Elaboración propia

Etapa 3: Configuración de extremos

Los pasos a seguir en esta etapa son:

1. Se le da un nombre al sitio de ubicación tanto de transmisión como recepción.
2. Selección del sitio de emplazamiento de la antena de transmisión y de recepción dando ya sea la ubicación manual con el cursor en el sitio respectivo o dando las coordenadas (longitud y latitud) de dicha ubicación como lo muestra la Figura 35.

Propiedades del extremo 1

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:  

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Figura 35: Propiedades de extremos

Fuente: Elaboración propia

Etapa 4: configuración de los parámetros de radio

Los pasos para el desarrollo de esta etapa son:

1. Se elige la antena de transmisión y recepción y sus propiedades como polaridad, peso y dimensiones, datos del alimentador como longitud, pérdidas, pérdidas de los elementos pasivos y el MTTR, tal como lo muestra la Figura 36.

Propiedades de la Antena

Antena

Nombre:

Polaridad: Simple Doble

Peso: Kg

Dimensión mayor: m

Frecuencias de transmisión +

Frecuencias	Polarización	
686.000 MHz	Vertical	+

Feeder: + ?

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB L

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Figura 36: Propiedades de la antena

Fuente: Elaboración propia

Para este estudio se eligieron 2 antenas cada una con una ganancia diferente, ambas con polaridad simple. Se eligieron 3 valores de frecuencia distintas para analizar el comportamiento del radioenlace en el ancho de banda respectivo, estos valores fueron: 494 MHz, 596 MHz y 686 MHz: Los parámetros se configuran acorde a las especificaciones técnicas de los equipos y a la normatividad de la ANE.

2. Se elige el diagrama de radiación de cada antena donde se definen parámetros como tipo de diagrama, polarización, ganancia, frecuencia inicial y final de operación tal cual se observa en la Figura 37. En el proyecto se elige polarización vertical para ambas antenas en ambos departamentos debido a que presenta un muy buen comportamiento en cuanto a propagación y es ideal para librar obstáculos.

Propiedades del Diagrama de Radiación

Propiedades	
Tipo de diagrama:	<input checked="" type="radio"/> Copolar <input type="radio"/> Xpolar
Polarización:	<input type="text" value=""/>
Ganancia:	<input type="text" value=""/> dBi
Frecuencia inicial:	<input type="text" value=""/> MHz ▾
Frecuencia final:	<input type="text" value=""/> MHz ▾
XPD 90:	<input type="text" value="0"/> dB
Ancho de haz:	<input type="text" value="360"/> °
Rel. delante/atrás:	<input type="text" value="0"/> dB

Figura 37: Propiedades del diagrama de radiación

Fuente: Elaboración propia

- Finalmente se proporcionan los últimos parámetros de radio como altura de las antenas, orientación e inclinación de las mismas y la referencia de la altura de las antenas tal cual se observa en la Figura 38. Se consideró dos aturas de antenas diferentes tanto para la Guajira como para el Putumayo. Estos datos se fueron elegidos acorde al perfil estudiado en cada zona: para la Guajira las alturas fueron 20 m y 30 m y para el Putumayo 40 m y 50 m.

The screenshot shows a software window titled "Parámetros de radio" (Radio Parameters). It contains the following fields and controls:

- Antena principal:** A text box containing "DBV-T 16.14 dBi 60°".
- Altura antena:** An empty text box followed by "m".
- Orientación:** An empty text box followed by "°".
- Inclinación mecánica:** An empty text box followed by "°".
- Antena auxiliar:** An empty text box.
- Altura antena auxiliar:** A text box containing "0" followed by "m".
- Referencia de alturas de antenas:** A section header.
- Alturas respecto a:** A dropdown menu with "Nivel del terreno" selected.
- Usar altura de edificio:** A dropdown menu with "Capa de elevación (MDE)" selected.
- Altura edificio:** A text box containing "0" followed by "m".

Figura 38: Parámetros de radio

Fuente: Elaboración propia

Etapa 5. Configuración y propiedades de equipos

Los pasos para la etapa 5 son:

1. Se da un nombre a los equipos de transmisión y recepción: Los equipos o dispositivos de espacios en blanco seleccionados fueron: el RuralConnect Generation TVWS Radio 3G de la marca Carlson y el Adaptrum ACRS2.0 para ambas ZNI. Ambos cumplen con la norma tanto nacional como internacional.
2. Se proporciona una pequeña descripción del equipo respectivo
3. Se asigna algunos parámetros de los equipos como tipo de tecnología, ancho de banda, MTBF y frecuencia inicial y final de operación, tal cual se observa en la Figura 39.

Propiedades del equipo MW

Equipo MW

Nombre:

Descripción:

Tecnología:

Servicio: Punto-Punto definido por usuario

Subcategoría: Banda definida por usuario

Ancho de banda: MHz

Potencia de saturación: mW

Denominación de emisión:

MTBF: h

Frecuencia inicial: MHz

Frecuencia final: MHz

Figura 39: Propiedades del equipo MW

Fuente: Elaboración propia

4. Se configura las propiedades de modulación o las modulaciones en las cuales trabaja el equipo MW tanto de transmisión como Recepción definiendo los parámetros de modulación, velocidad, potencia, umbral de recepción y el cociente C/I, como lo muestra la Figura 40. Se consideraron la modulación QPSK en las cual trabajan ambos equipos y con una potencia de 11 dBm y 12,6 dBm.

Nombre	Modulación	Velocidad	Potencia	Umbral	C/I	
Modulación 2						
Modulación 1						

Figura 40: Modulaciones

Fuente: Elaboración propia

Etapa 6: elección del método de cálculo y sus propiedades

Los pasos para configurar en la sexta etapa son:

1. Se da un nombre al método de cálculo

2. Se define el método de propagación acorde a la zona, tipo de aplicación y frecuencia: Los métodos de propagación considerados fueron el UIT-R P.530-17 y el Línea de vista, ambos ideales para ambientes rurales
3. Se define la resolución en la cual se va a realizar la simulación del radioenlace en Xirio, teniendo en cuenta que esta plataforma en la versión Profesional (licenciada) se trabaja a una resolución de 100 m/pixel.
4. Se dan algunos parámetros básicos del método como el factor K y el margen de desvanecimiento, como se muestra en la Figura 41.

Propiedades del Método de Cálculo

Método de cálculo

Nombre:

Método de propagación:

Método de cálculo determinístico válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Incorpora el análisis de viabilidad de radioenlaces digitales del servicio fijo.

Resolución: m/pixel

Parámetros básicos

Cálculo automático de factor K

Factor K:

Margen de desvanecimiento: dB

Figura 41: Propiedades del método de cálculo

Fuente: Elaboración propia

5. Finalmente se proporciona algunos datos relacionados con la atenuación por reflexiones de acuerdo al tipo de suelo como los mostrados en la Figura 42.

Atenuación por reflexiones

Tipo de Terreno en reflexión:

Forzar tipo de terreno en reflexión:

Factor de rugosidad máximo:

Figura 42: Datos de atenuación

Fuente: Elaboración propia

Etapa 7. Simulación de los radioenlaces

Los pasos para el desarrollo de la última etapa son:

1. Verificación de cada parámetro seleccionado en cada simulación
2. Verificar y orientar las antenas
3. Verificar que se simulará con los dos tipos de modulación
4. Ejecutar la simulación en la plataforma Xirio Online
5. Guardar los resultados: gráfica del perfil topográfico, niveles de potencia y vano en cada simulación
6. Registrar los resultados obtenidos en la Tabla 18.

Tabla 18: Modelo de tabla de resultados

Xirio Nazareth - Puerto Estrella													Valor teórico	
Dispositivo TVWS - QPSK	Antena (dBi)	Altura (m)	Potencia (dBm)	Frecuencia (MHz.)	Pot. en Rx (dBm)	MD RuralC (dB)	MD Adaptru (dB)	Indisp. RuralC	Indisp. Adapt	SESR RC (%)	SESR Ada (%)	Eb/N0 (dB)	Pot. en Rx (dBm)	
RuralConnect Sens=-95,2 dBm	11	20	12,6	494										
				596										
				686										
			11	494										
				596										
				686										
		30	12,6	494										
				596										
				686										
			11	494										
				596										
				686										
	16.14	20	12,6	494										
				596										
				686										
			11	494										
				596										
				686										
		30	12,6	494										
				596										
				686										
			11	494										
				596										
				686										
Adaptrum Sens=-98 dBm	16.14	20	12,6	494										
				596										
				686										
			11	494										
				596										
				686										
30		12,6	494											
			596											
			686											
		11	494											
			596											
			686											

En la Tabla 19 se muestra un resumen de los parámetros de simulación que se configuraron para cada uno de los modelos de propagación en el radioenlace de la Guajira.

Tabla 19: Parámetros de configuración de la simulación en La Guajira

Modelo de propagación	Frecuencia (MHz.)	Ganancia Antena (dBi)	Altura Antena (m)	Polarización	Potencia de Tx (dBm)	Modulación
UIT-R P.530-17 Línea de Vista	494 596 686	11 16.14	20 30	V	11 12.6	QPSK

Teniendo en cuenta la secuencia anterior, la Figura 43 muestra el árbol de las variaciones de simulación que se desarrollaron. En el primer nivel, se relacionan los diferentes equipos o dispositivos TVWS considerados para las simulaciones, el siguiente nivel corresponde a los modelos de propagación que depende del ambiente donde se realizaron los radioenlaces, a continuación está la variación de las alturas de las antenas. El cuarto nivel de variaciones son las ganancias de las antenas y por último se tiene las frecuencias elegidas para cada caso.

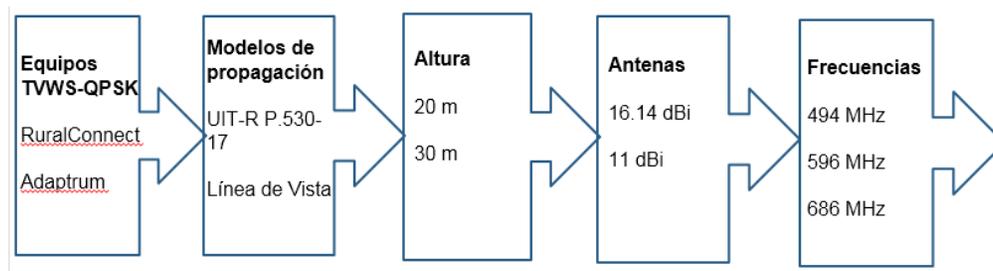


Figura 43: Árbol de simulaciones y parámetros a variar

Fuente: Elaboración propia

En total se tiene 2 dispositivos TVWS, 2 modelos de propagación, 2 alturas para antenas, 2 ganancias de antenas y 3 frecuencias, con lo cual resulta un total de 48 simulaciones para un radioenlace.

Anexo F: Correo de recibido de artículo



Tecnura Journal <centroi@udistrital.edu.co>

Sáb 01/05/2021 3:52

Para: YACIRO CABEZAS BURBANO

Si desea responder a este mensaje, use el botón de responder o escriba a:

[Agradecemos confirmar recibido de este mensaje a tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co]

Yaciro Cabezas Burbano:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Espacios en blanco de televisión en smart grids: estudio de caso en La Guajira " a Tecnura. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/authorDashboard/submission/17932>

Nombre de usuaria/o: yocsbo

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Tecnura Journal

Revista Tecnura

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad Tecnológica

Bogotá, Colombia