

**ESTUDIO DE COBERTURA DE LA TECNOLOGIA TVWS PARA ZONAS RURALES DEL MUNICIPIO
DE NUNCHIA**

autor

DIEGO EDICSON DAZA CAMARGO

Director

EDWIN MAURICIO SEQUEDA ARENAS

Ingeniero Electrónico

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES (DIEEST)
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, septiembre de 2018**

DEDICATORIA

A mi señora madre que, desde mi nacer, ha estado en cada momento de mi vida.

A mi hijo y esposa por brindarme el apoyo necesario para continuar en cada momento.

A mi señor padre que, descansa y me cuida desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS

En esta página quisiera mostrar mi agradecimiento a todas aquellas personas que me han acompañado durante toda la carrera. Son muchas, y no quisiera dejarme a ninguna atrás, por lo que prefiero no hacer una lista. Simplemente doy las gracias a todos los que han estado ahí.

Si quisiera resaltar a una persona que me ha apoyado y aconsejado en la realización de este trabajo de fin de carrera. Gracias Ingeniero Edwin Mauricio Sequeda Arenas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCION.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1. CAPITULO I. MARCO TEORICO	19
1.1. DEFINICIÓN DE ESPACIO EN BLANCO	19
1.2. NECESIDAD DE LA TECNOLOGÍA TVWS	20
1.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE TVWS	21
1.4. DISPOSITIVOS TVWS Y ARQUITECTURA TVWS BASADA EN LA TÉCNICA DE BASE DE DATOS DE GEOLOCALIZACIÓN	23
1.4.1. Dispositivos TVWS (TVWSD)	23
1.4.2. Base de datos TVWS (TVWSDB)	24
1.4.3. Arquitectura típica de la tecnología TVWS	24
1.5. ESTÁNDARES PARA EL USO DE ESPACIOS BLANCOS DE BANDA DE TV	26
1.6. ESCENARIOS DE DESPLIEGUE DE TV WHITE SPACE.....	27
1.6.1. Banda Ancha Rural	28
1.7. MARCO CONCEPTUAL	28
1.7.1. Espectro Radioeléctrico y su Gestión.....	29
1.7.2. Definición y Características ERE	29
1.7.3. Importancia del ERE	31
1.8. USO DEL ERE EN COLOMBIA	31
1.8.1. Cuadro Nacional de Atribución de bandas de Frecuencias	32
1.8.2. Espacios en blanco de Televisión en Colombia.....	33
1.9. MODELOS DE PROPAGACIÓN BÁSICOS.....	33
1.9.1. Pérdidas de trayectoria por el espacio libre	33
1.9.2. Pérdidas por Trayecto	34
1.9.3. Modelo de Tierra Plana.....	35
1.9.4. Modelo Longley - Rice.....	36
1.9.5. Recomendación UIT-R P.526.....	36
1.10. MODULACIONES DIGITALES USADAS EN TVWS.....	37

1.10.1.	Bi-Phase Shift Keying (BPSK)	38
1.10.2.	Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)	38
1.10.3.	Quadrature Amplitude Modulation (QAM)	38
1.11.	MARCO REFERENCIAL	39
1.11.1.	NICT: IEEE 802.11af.....	39
1.11.2.	NICT: Hitachi Kokusai e ISB Corporation: IEEE 802.22	41
1.11.3.	Ofcom Pilotos TVWS	42
1.11.4.	Pruebas de Espacio en Blanco de TV en North Queens.....	44
1.12.	MARCO LEGAL: REGLAMENTACION DE COLOMBIA FRENTE A LA UTILIZACION DE LOS ESPACIOS EN BLANCO.....	53
1.12.1.	Despliegue.....	55
1.12.2.	Aspectos Regulatorios en Colombia Referente a Espacios en Blanco	56
1.13.	DYNAMIC SPECTRUM ALLIANCE	58
1.13.1.	Normas y reglamentación técnica sugerida para el uso de Espacios Blancos de televisión. 58	
2.	CAPITULO II. METODOLOGIA	60
2.1.	ESTUDIO DE COBERTURA.....	62
2.2.	DISEÑO	65
2.2.1.	PROPUESTA N° 1 – UBICACIÓN DE LA ESTACION BASE EN CERRO VENADOS	67
2.2.2.	PROPUESTA N° 2 – UBICACIÓN DE LA ESTACION BASE EN CERRO LA PALMITA.....	68
2.3.	CALCULOS MATEMATICOS.....	69
2.3.1.	Perdidas Propuesta N° 1 - Cerro Venados	70
2.3.2.	Perdidas Propuesta N°2 - Cerro la Palmita	72
2.3.3.	CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCION (Rx Level)	74
2.4.	SIMULACIONES.....	78
2.4.1.	SIMULACIONES EN RADIO MOBILE	78
2.4.2.	SIMULACIONES EN XIRIO-ONLINE.....	90
2.5.	ANALISIS DE RESULTADOS	105
2.5.1.	Etapa 1: Propuesta N°1/Cálculos – Simulaciones	105
2.5.2.	Etapa 2: Propuesta N°2/Cálculos – Simulaciones	107
2.5.3.	Etapa 3: Elección de la Mejor Propuesta	108
3.	CAPITULO III: ANALISIS TECNICO	110
3.1.	ESTACION BASE (BTS).....	113
3.2.	ESTACION CLIENTE (CPE).....	115

4.	CAPITULO IV: ANALISIS TECNOLOGICO	118
4.1.	REDLINE COMMUNICATIONS.....	118
4.1.1.	Radio para Estación Base: REDLINE RDL – 3000 XP ELLIPSE	118
4.1.2.	Radio para Estación Cliente: REDLINE RDL – 3000 XP ENTERPRISE	119
4.2.	6HARMONICS	121
4.2.1.	Radio para Estación Base y Estación Cliente – GWS 4000 SERIES	121
4.3.	ANTENAS.....	123
4.4.	ESPECTRO DE TELEVISION, FRECUENCIAS EN USO Y DISPONIBLES EN NUNCHIA CASANARE 124	
5.	ANALISIS ECONOMICO	126
6.	CONCLUSIONES.....	129
	REFERENCIAS.....	131
	ANEXO 1. RECOMENDACIONES	134
	Red Principal	134
	Red Secundaria	135
	Proyecto Nacional de Fibra Óptica – PNFO.....	135
	ANEXO 2. CONDICIONES TÉCNICAS Y OPERATIVAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ESPACIOS EN BLANCO EN LA BANDA 470 – 698 MHz.....	138
	DEFINICIONES.....	138
	CONDICIONES GENERALES.....	140
	MECANISMOS PARA EVITAR INTERFERENCIAS.....	142
	MECANISMOS ADICIONALES PARA EVITAR INTERFERENCIAS.....	144
	DISPOSICIONES ADICIONALES.....	144

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. El Crecimiento mundial de la Banda ancha móvil</i>	20
<i>Figura 2. Implementación típica de la tecnología TVWS basada en la Base de Datos de Geolocalización</i> ..	25
<i>Figura 3. Diagrama de instalación básica de RuralConnect® Gen3</i>	26
<i>Figura 4. Representación típica del intercambio de parámetros operacionales entre TVWSDB y TVWSD.</i> .	26
<i>Figura 5. Implementación típica de banda ancha Rural usando tecnología TVWS</i>	28
<i>Figura 6. Espectro Electromagnético</i>	30
<i>Figura 7. Elementos de un Enlace Inalámbrico</i>	35
<i>Figura 8. Situación Física para las pérdidas por Tierra Plana</i>	35
<i>Figura 9. Ubicación de pilotos CR con TVWS</i>	39
<i>Figura 10. Sistema montado para pruebas con el prototipo de IEEE 802.11af</i>	40
<i>Figura 11. Prototipo de IEEE 802.11af</i>	40
<i>Figura 12. Prototipo de USB-stick IEEE 802.11af</i>	41
<i>Figura 13. Esquema de red multisalto implementada con estándares IEEE</i>	42
<i>Figura 14. 8dBi Antenna Gain TVWS 497Mhz</i>	45
<i>Figura 15. 15 dBi Antenna Gain TVWS 497Mhz</i>	45
<i>Figura 16. 15 dBi Antenna Gain 900Mhz</i>	46
<i>Figura 17. 25 dBi Antenna Gain 3.65Ghz</i>	46
<i>Figura 18. Enlace de radio desde Pretty Mary Lake hasta Hillsborough Rd</i>	47
<i>Figura 19. Datos del enlace de radio simulado en Radio Mobile</i>	47
<i>Figura 20. Resultados medidos de la página de estado de la estación base.</i>	48
<i>Figura 21. Resultados medidos de la página Estado de CPE móvil.</i>	48
<i>Figura 22. Enlace de Radio Pretty Mary Lake casa a Northfield Rd.</i>	48
<i>Figura 23. Datos del enlace de radio simulado en Radio Mobile.</i>	49
<i>Figura 24. Resultados medidos de la página Estado de CPE móvil</i>	49
<i>Figura 25. Resultados medidos de la página de estado de la estación base.</i>	50
<i>Figura 26 Prueba piloto Aguadas Caldas</i>	51
<i>Figura 27. Prueba piloto Dibulla La Guajira</i>	51
<i>Figura 28. Prueba Piloto Pamplonita Norte de Santander.</i>	52
<i>Figura 29. Pruebas de laboratorio</i>	53
<i>Figura 30. Canales análogos visualizados en Colombia, según el Municipio</i>	54
<i>Figura 31. Grado de ocupación de las frecuencias de TV en Colombia.</i>	54
<i>Figura 32. Metodología.</i>	60
<i>Figura 33. Propiedades del mapa.</i>	62
<i>Figura 34. Propiedades de Imagen</i>	62
<i>Figura 35. Simulación de Cobertura en Radio Mobile.</i>	63
<i>Figura 36. Guardar imagen de cobertura .png</i>	64
<i>Figura 37. Iniciando en Google Earth.</i>	64
<i>Figura 38. Carga de archivo ‘cobertura.kml’.</i>	64
<i>Figura 39. Cobertura vista en Google Earth.</i>	65
<i>Figura 40. Diseño de la Red.</i>	66
<i>Figura 41. Ejemplo de topologías de red de espacio en blanco de TV</i>	66
<i>Figura 42. Cerro Venados - Ubicación de Estación base para la Propuesta N°1</i>	67
<i>Figura 43. Red de la Propuesta N° 1 vista en Google Earth</i>	67
<i>Figura 44. Cerro la Palmita - Ubicación de Estación base para la Propuesta N°2</i>	68
<i>Figura 45. Red de la Propuesta N° 2 vista en Google Earth</i>	68
<i>Figura 46. Creación de las unidades en Radio Mobile</i>	79
<i>Figura 47. Ubicación de las unidades en Radio Mobile</i>	79

Figura 48. Configuración de parámetros de las redes	80
Figura 49. Asignación del Sistema de unidades en el Software Radio Mobile	81
Figura 50. Configuración del tipo de Topología	81
Figura 51. Configuración de los Sistemas	82
Figura 52. Radioenlace Venados – Salvador Camacho [RL-VEN-TVWS]	83
Figura 53. Radioenlace Venados – Salvador Camacho [RL-VEN-TVWS] en Google Earth	83
Figura 54. Radioenlace Venados – Mercedes [RL-VEN-TVWS]	84
Figura 55. Radioenlace Venados – Pretexto [RL-VEN-TVWS]	84
Figura 56. Radioenlace Venados – Salvador Camacho [6H-VEN-TVWS]	85
Figura 57. Radioenlace Venados – Mercedes [6H-VEN-TVWS]	85
Figura 58. Radioenlace Venados – Pretexto [6H-VEN-TVWS]	86
Figura 59. Radioenlace Palmita – Salvador Camacho [RL-PAL-TVWS]	86
Figura 60. Radioenlace Palmita – Salvador Camacho [RL-PAL-TVWS] en Google Earth	87
Figura 61. Radioenlace Palmita – Mercedes [RL-PAL-TVWS]	88
Figura 62. Radioenlace Palmita – Pretexto [RL-PAL-TVWS]	88
Figura 63. Palmita – Salvador Camacho [6H-PAL-TVWS]	89
Figura 64. Radioenlace Palmita – Mercedes [6H-PAL-TVWS]	89
Figura 65. Radioenlace Palmita – Pretexto [6H-PAL-TVWS]	90
Figura 66. Creación de Puntos de Interés	91
Figura 67. Creación de un Nuevo Estudio en Xirio-Online	91
Figura 68. Configuración de las Propiedades de la banda de frecuencias	92
Figura 69. Configuración de las Propiedades de la Antena del Transmisor	92
Figura 70. Configuración de las propiedades del transmisor	93
Figura 71. Configuración de las Propiedades de la Antena del Receptor	94
Figura 72. Configuración de las Propiedades del Receptor	94
Figura 73. Especificaciones, Propiedades del estudio de Enlace	95
Figura 74. Radioenlace Venados - Salvador Camacho	95
Figura 75. Radioenlaces Propuesta N°1	96
Figura 76. Grafica de enlace RL - Venados - Salvador Camacho	97
Figura 77. Informe de enlace RL - Venados - Salvador Camacho	97
Figura 78. Grafica de enlace RL - Venados - Mercedes	97
Figura 79. Grafica de enlace RL - Venados - Pretexto	98
Figura 80. Grafica de enlace 6H - Venados - Salvador Camacho	98
Figura 81. Informe de enlace 6H - Venados - Salvador Camacho	99
Figura 82. Grafica de enlace 6H - Venados - Mercedes	99
Figura 83. Grafica de enlace 6H - Venados - Pretexto	99
Figura 84. Radioenlaces Propuesta N°2	100
Figura 85. Grafica de enlace RL – Palmita – Salvador Camacho	101
Figura 86. Informe de enlace RL – Palmita – Salvador Camacho	101
Figura 87. Grafica de enlace RL – Palmita – Mercedes	102
Figura 88. Grafica de enlace RL – Palmita – Pretexto	102
Figura 89. Grafica de enlace 6H – Palmita – Salvador Camacho	103
Figura 90. Informe de enlace 6H – Palmita – Salvador Camacho	103
Figura 91. Grafica de enlace 6H – Palmita – Mercedes	104
Figura 92. Grafica de enlace 6H – Palmita – Pretexto	104
Figura 93. Gráfico Comparativo de los datos obtenidos para potencia de recepción (Rx Level) en la Propuesta N°1	106
Figura 94. Gráfico Comparativo de los datos obtenidos para potencia de recepción (Rx Level) en la Propuesta N°2	108

Figura 95. Ejemplo de unión de picas con el cable mediante fusión luminotécnica.	111
Figura 96. Ejemplo de Cimentación de la base de una torre.	111
Figura 97. Ejemplo del montaje de los tramos de una torre de comunicaciones.	112
Figura 98. Ejemplo de Instalación de antenas en una torre de comunicaciones de TVWS.	112
Figura 99. Diagrama de Bloques Estacion Base (BTS).	113
Figura 100. Diagrama Instalación Estación Base (BTS).	113
Figura 101. Representación Gráfica de la Estación Base (BTS).	114
Figura 102. Diagrama de Bloques Estación Cliente	115
Figura 103. Diagrama Instalación Estación Cliente (CPE)	116
Figura 104. Representación Gráfica de la Estación Base.	116
Figura 105. Ejemplo de Topología de Red TVWS	117
Figura 106. Especificaciones del Radio Ellipse RDL-3000 XP	119
Figura 107. Especificaciones del Suscriptor Remoto Inalámbrico RDL – 3000 XP ENTERPRISE	120
Figura 108. Embalaje del suscriptor Remoto Inalámbrico Enterprise RF 470 - 698 MHz.	120
Figura 109. Especificaciones Radio GSW 4000 series de 6Harmonics.	122
Figura 110. Antena para la estación base: SL12948B 12dBi Sectorial de 6Harmonics.	123
Figura 111. Antena para las estaciones cliente: SL14174A 8dBi Direccional	124
Figura 112. PTTV post apagón/reordenación	124
Figura 113. Simulación enlace de la red Principal. Radio Mobile.	134
Figura 114. Enlace red Principal en Google Earth.	135
Figura 115. Nunchía incluido en el mapa del PNFO.	136
Figura 116. Prototipo de Control de Acceso a Espacios en Blanco de TV.	139

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones – Propuesta N° 1	67
Tabla 2. Coordenadas de las estaciones – Propuesta N° 2	68
Tabla 3. Potencia de Recepción (dBm) – Rx Level medida en Radio Mobile	69
Tabla 4. Distancias entre las estaciones base y clientes	70
Tabla 5. Propuesta N°1 - Datos calculados de las perdidas	72
Tabla 6. Distancias entre las estaciones base y clientes	72
Tabla 7. Propuesta N°2 - Datos calculados de las perdidas	74
Tabla 8. Potencia de Recepción (dBm) – Rx Level medida en Radio Mobile	74
Tabla 9. Distancias en metros entre las estaciones base y clientes	75
Tabla 10. Potencia de Recepción Calculada para los sitios en la Propuesta N°1	76
Tabla 11. Distancias en metros entre las estaciones base y clientes	76
Tabla 12. Potencia de Recepción Calculada para los sitios en la Propuesta N°2	77
Tabla 13. Datos obtenidos en las Simulaciones usando Radio Mobile	82
Tabla 14. Datos obtenidos en las Simulaciones usando Radio Mobile	86
Tabla 15. Nivel de potencia de Recepción – Propuesta N°1	96
Tabla 16. Nivel de potencia de Recepción – Propuesta N°2	100
Tabla 17. Tabla Comparativa de los resultados de potencia de Recepción con diferentes métodos y dispositivos	105
Tabla 18. Tabla Comparativa de los resultados de potencia de Recepción con diferentes métodos y dispositivos.	107
Tabla 19. Valoración de las propuestas, comparativo de los resultados de las propuestas y dispositivos.	109
Tabla 20. Frecuencias en uso por la TV Analógica en Nunchía Casanare.	125
Tabla 21. Frecuencias en disponibles en Nunchía Casanare.	125
Tabla 22. Cotización de dispositivos de Redline Communications.	126
Tabla 23. Cotización de dispositivos 6Harmonics.	127
Tabla 24. Cotización de alquiler de espacio en torre. PROPUESTA N°1:	128
Tabla 25. Cotización de Construcción de Torre Nueva. PROPUESTA N°2:	128

LISTA DE FORMULAS

<i>Fórmula 1. Pérdidas de trayectoria en el espacio libre.....</i>	<i>34</i>
<i>Fórmula 2. Fórmula para calcular la potencia de Recepción en W.</i>	<i>34</i>
<i>Fórmula 3. Pérdidas por Trayecto</i>	<i>35</i>
<i>Fórmula 4. Pérdidas por Tierra Plana.....</i>	<i>36</i>
<i>Fórmula 5. Longitud de onda.....</i>	<i>69</i>
<i>Fórmula 6. Parámetro de Fresnel.</i>	<i>69</i>
<i>Fórmula 7. Pérdidas por filo de Navaja.....</i>	<i>69</i>
<i>Fórmula 8. Potencia de recepción.</i>	<i>74</i>
<i>Fórmula 9. Conversión de $Pr(w) \rightarrow Pr(dBw)$.....</i>	<i>74</i>
<i>Fórmula 10. Conversión $Pr(dBw) \rightarrow Pr(dBm)$.....</i>	<i>75</i>
<i>Fórmula 11. Fórmula para calcular la DEPIRE de espacios en Blanco.....</i>	<i>141</i>

RESUMEN

En Colombia las investigaciones sobre los Espacios en Blanco de Televisión TVWS¹ son casi que inexistentes, y no se ha arribado a resultados concluyentes en cuanto a su futura utilización. Por lo tanto, este trabajo de fin de grado se centrará en primer lugar en brindar una visión general de la tecnología en la actualidad y sus principales tendencias. En segundo lugar, se harán estudios de cobertura en Nunchía Casanare para la aplicación de dispositivos de espacios en blanco, elaborando un estudio técnico económico para la posible implementación a futuro de Estaciones base y clientes para llevar internet de banda ancha a instituciones educativas rurales de dicho municipio.

El presente trabajo también da a conocer una visión general de normatividad, estándares y tecnologías de los dispositivos de espacios en blanco, a través de consultas sobre el aprovechamiento del espectro radioeléctrico en Colombia y el mundo a través de espacios en blanco de televisión. Tradicionalmente, el servicio de televisión radiodifundida se ha realizado de manera analógica en bandas de frecuencias UHF².

En 2017, Aránzazu [1] dijo que uno de los requisitos fundamentales para el correcto funcionamiento de este servicio, consiste en reservar porciones del espectro radioeléctrico con el fin de evitar interferencias entre canales adyacentes de televisión. Con la llegada de la televisión digital, esta situación ya no se presenta, por lo que quedarían frecuencias en desuso en algunas bandas del espectro, como las UHF". Es así como el objetivo general de este trabajo consiste en laborar un estudio de cobertura, para la implementación de la tecnología TVWS en zona rural (instituciones educativas) del municipio de Nunchía, Departamento de Casanare, mediante un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en bandas UHF contempladas entre los 470 a los 698 Mega Hertz (MHz).

La investigación documental de este trabajo se realizó a través de: páginas web de organismos nacionales e internacionales, artículos académicos y trabajos de grado, los cuales permitieron con la normatividad colombiana relacionada con los espacios en blanco de televisión y encontrar puntos convergentes entre los diferentes organismos o entidades consultadas.

Palabras clave: Espacios en blanco, banda ancha, espectro radioeléctrico, televisión análoga, televisión digital.

¹ TV White Spaces por sus siglas en ingles

² Ultra High Frequency

INTRODUCCION

El auge de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), que está acompañado por la evolución tecnológica y el crecimiento en la demanda de acceso a la amplia gama de servicios y aplicaciones que tienen como base las radiocomunicaciones, trae consigo importantes desafíos en materia política, social y económica, tanto a nivel nacional como internacional.

Las radiocomunicaciones son parte esencial de las TIC y el espectro radioeléctrico es el recurso natural fundamental para su desarrollo. En la actualidad, gracias al uso del espectro, es posible comunicarse a distancia además de tener a disposición de los ciudadanos y de las entidades privadas o del estado servicios tan diversos como la radio, la televisión, los teléfonos móviles, el acceso a Internet, las comunicaciones con fines militares, médicos y educativos, las comunicaciones náuticas y aeronáuticas, entre otras. Como producto de las nuevas necesidades en materia de radiocomunicaciones se requieren soluciones más universales, más robustas y más complejas.

Según Aránzazu (2017), una de las características principales del espectro, es que es un recurso muy escaso y altamente valioso debido al número de servicios que hacen uso de éste. Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas son los marcos regulatorios. Éstos se encargan, entre otros, de definir las bases de funcionamiento e implementación, en este caso de tecnologías, al interior de un país. Con el fin de hacer más eficiente el uso del espectro radioeléctrico colombiano, esos factores normativos podrían garantizar la implementación de nuevas tecnologías, como los espacios en blanco de televisión (TVWS). Aránzazu también recalca que: “uno de los aspectos más llamativos de los TVWS, es el aprovechamiento de canales de frecuencias que se han usado tradicionalmente en sistemas de transmisión de televisión analógica, en las cuales, se debía dejar una porción de espectro reservado para evitar interferencias entre los distintos canales de televisión. Esta situación se transformó con la llegada de la televisión digital, en la cual, ya no son necesarias esas reservas de espectro, por lo que tecnologías como los TVWS podrían optimizar aquellas frecuencias en desuso para proveer de acceso a internet a zonas rurales”.

Ofrecer acceso a Internet a zonas rurales no es tarea fácil. Muchas residencias y negocios en pueblos pequeños y zonas rurales de todo el mundo carecen del tipo de acceso rápido a Internet que zonas densamente pobladas disfrutan, a menudo con más de un proveedor de servicios de Internet (ISP) entre los que elegir. Las zonas rurales a menudo están demasiado lejos de una estación base celular o una infraestructura de líneas fijas para obtener una velocidad de datos de banda ancha decente. Junto con mayores distancias, la falta de población crítica para justificar una inversión suficiente en infraestructura es la razón principal para que las zonas rurales sean desatendidas. En este trabajo se refiere al tipo de instalaciones del cliente como “CPE”, Según el DANE [2] en 2012 solo el 9.4% de los hogares rurales tienen conexión a internet, por lo tanto, la llamada “brecha digital” entre las poblaciones urbanas y rurales es significativamente grande, clientes rurales a menudo viven a cierta distancia de la ciudad más cercana, los proveedores de

servicios de telefonía fija que operan en dichas zonas generalmente están a favor de una red de cable de fibra óptica. Ciertamente, la fibra puede ofrecer conexiones de alta velocidad, pero a un precio. El costo para conectar pocos clientes rurales en una amplia zona con un sistema de fibra óptica de alta capacidad puede valer demasiado por cada conexión. Por el contrario, los sistemas inalámbricos de banda ancha ofrecen una mejor alternativa para estas aplicaciones y en muchos casos, se pueden utilizar eficientemente y a un menor costo de capital por cliente en comparación con la fibra. Estos sistemas inalámbricos utilizan típicamente frecuencias sin licencia tales como 900 MHz o 5 GHz. Las conexiones entre una estación base y un terminal remoto en las instalaciones del cliente a menudo se logran a través de la transmisión de línea de visión (LOS³).

Hay casos, sin embargo, donde la transmisión de LOS no es posible debido al terreno accidentado o montañoso y la cobertura de follaje denso. En tales circunstancias, un sistema de banda ancha inalámbrica que opera en el espacio en blanco de televisión (TVWS) frecuencias en la banda UHF (470-698 MHz) puede facilitar sin línea de visión directa (NLOS⁴) de transmisión para conectar esos clientes difíciles de alcanzar. Teniendo en cuenta que el espectro de 900 MHz tradicionalmente ha funcionado bien para aplicaciones NLOS; sin embargo, 900 MHz se usa en exceso, y el ruido resultante de frecuencia de radio (RF) limita el alcance y la capacidad de los sistemas que operan en esta banda.

En este trabajo se realizan cálculos y simulaciones de sistemas TVWS usando las características técnicas de los dispositivos de Redline Communications y 6Harmonics de banda ancha inalámbrica de comunicaciones. Analizando también las cuestiones económicas para la planificación de la red, adquisición e instalación de la red de dispositivos TVWS, lo anterior buscando reducir la brecha digital en instituciones educativas rurales del municipio de Nunchía Casanare.

³ Con línea de visión

⁴ Sin línea de visión

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Microsoft [3] más de la mitad de la gente en la tierra no puede conectarse. Más de 4 mil millones de personas no están conectadas a Internet, ya sea porque no hay infraestructura o porque el acceso a Internet no es asequible. Hay una gran oportunidad que la tecnología como TV White Spaces (TVWS) puede ayudar a crear.

En la resolución 461 [4] se menciona que teniendo en cuenta las asignaciones del servicio de televisión radiodifundida en el país, actualmente en el 99% de los municipios usan menos de 10 canales de los 36 disponibles en UHF, por lo que hay una gran cantidad de espacios en blanco, lo que permite la utilización de esas frecuencias disponibles para otros servicios aprovechando sus ventajas de propagación.

Buscando reducir la brecha digital y contribuir con la política de espectro 2015 – 2018 de la ANE, la cual procura el uso óptimo del espectro de manera que se maximicen los beneficios para la sociedad colombiana, se propone realizar este estudio de cobertura, sentando las bases técnicas y de costo económico para determinar la viabilidad de la posible implementación a futuro de dispositivos TVWS en el Municipio de Nunchía Casanare, donde no hay conexión a internet en la gran mayoría de las escuelas rurales. Actualmente solo existe un kiosco Vive Digital en la Vereda la Capilla de este municipio.

JUSTIFICACIÓN

Esta propuesta se formula con el fin de generar un estudio de cobertura para promover el uso de nuevas tecnologías inalámbricas y técnicas de gestión que pueden reemplazar la escasez artificial de espectro con abundancia de espectro natural. Un ejemplo de ello es el DSA⁵, un término utilizado para describir un conjunto de tecnologías que permiten a los dispositivos de radiocomunicaciones transmitir de manera oportunista en el espectro de radio disponible. Según Microsoft [5] estas tecnologías aseguran que los consumidores y sus dispositivos tengan ancho de banda inalámbrico cuando y donde lo necesiten. La primera oportunidad para usar las tecnologías DSA son los espacios en blanco de la banda de TV, canales de TV VHF⁶ y UHF no utilizados que pueden usarse para brindar acceso de banda ancha en áreas más amplias de lo que es posible utilizando el espectro Wi-Fi actual.

De acuerdo al sitio web de Carlson Wireless Technologies [6] un gran motivo para el uso de esta tecnología, es la ventaja de TVWS frente a los radioenlaces, es que estos requieren línea de vista entre los puntos que se conectan. En áreas con terreno escabroso o boscoso, las torres altas necesarias para proporcionar esta conexión de línea de visión hacen que sea una solución cara e inviable. Por otro lado, la tecnología TV White Space proporciona una alternativa efectiva frente al microondas al utilizar señales de UHF de baja frecuencia que pueden penetrar obstáculos y cubrir terrenos irregulares sin requerir infraestructura adicional.

Es importante el uso de esta tecnología, debido a que en Colombia la brecha digital aún es muy grande, a pesar de la reducción considerable que ha hecho el MinTic con el plan Vive digital que abarca los proyectos: Proyecto Nacional de Fibra Óptica, Proyecto Nacional de Conectividad de Alta Velocidad, Proyecto Kioscos Vive Digital, Proyecto Puntos Vive Digital, Proyecto Conexiones Digitales, pero dichos proyectos se realizan en su gran mayoría zonas urbanas. Por otra parte, las zonas rurales apartadas siguen siendo lugares de difícil acceso para la implementación de las tecnologías de la información y las comunicaciones. La tecnología de los dispositivos TVWS ofrece una solución viable para este problema, permitiendo llevar la banda ancha a estos lugares donde jamás había existido, proveyendo de servicios y aplicaciones que beneficiaran a los usuarios en múltiples aspectos como: social, educativo, productivo, económico, en la salud, etc. En fin, acortaría la brecha digital y se consigue mejorar la calidad de vida de las personas.

De acuerdo al Banco mundial [7] Las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) están transformando las interacciones entre personas, gobiernos y empresas en todo el mundo. En los países en desarrollo, los agricultores reciben precios actualizados de los cultivos y los funcionarios de salud pública controlan los inventarios médicos mediante mensajes de texto. Las mujeres tienen el poder de tomar decisiones y acceder a nuevas oportunidades a través de la información en línea. Los empresarios obtienen licencias comerciales en una fracción del tiempo

⁵ Acceso Dinámico al Espectro

⁶ Very High Frequency

estándar solicitándolas a través de los sitios web del gobierno municipal. Y en una economía global cada vez más integrada, las TIC les permiten a las personas acceder y compartir conocimientos y servicios en todo el mundo. El primer informe, Información y Comunicaciones para el Desarrollo (IC4D) 2006: las tendencias y políticas mundiales, las lecciones analizadas sobre el desarrollo del acceso a las TIC, examinaron las funciones de los sectores público y privado en este proceso e identificaron los beneficios y desafíos de adoptar y expandir el uso de las TIC en las empresas. Este segundo informe, IC4D 2009: ampliando el alcance y aumentando el impacto, examina de cerca la conectividad móvil y de banda ancha. Analiza el impacto en el desarrollo del acceso a Internet de alta velocidad en los países en desarrollo y brinda opciones de política para desplegar redes de banda ancha y abordar las oportunidades y los desafíos de la convergencia entre las telecomunicaciones, los medios y la informática. El informe también presenta un marco de aplicaciones de gobierno electrónico y analiza diversas experiencias de los países con los arreglos institucionales y de políticas para el gobierno electrónico y para el desarrollo de las industrias de tecnología de la información local (TI) y servicios TI (ITES). El hilo conductor de estos temas es el impacto en el desarrollo de las TIC. Finalmente, el informe presenta tablas resumen sobre los indicadores del sector TIC en 150 economías e introduce nuevas medidas de desempeño en términos de acceso, asequibilidad y adopción de TIC en el gobierno y las empresas.

Los gobiernos de los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) son cada vez más conscientes de la necesidad de un desarrollo estratégico de la economía digital, de expandir sus beneficios y dar respuesta a retos clave, como la reducción del desempleo y de la desigualdad, así como la erradicación de la pobreza. Actualmente, las estrategias digitales nacionales cubren diversas materias, desde la creación de empresas y el aumento de la productividad hasta la administración pública, el empleo, la educación, la sanidad, el envejecimiento de la población, el medio ambiente y el desarrollo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un estudio de cobertura, para la implementación de la tecnología TVWS en zona rural (instituciones educativas) del municipio de Nunchía, Departamento de Casanare.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Consultar el estado del arte de la Tecnología TVWS en Colombia (normas, pruebas piloto, estudios, especificaciones).
- Establecer zonas de cobertura de acuerdo al alcance de los dispositivos, a través de cálculos y herramientas de simulación.
- Elaborar cuadro técnico y económico para la interconexión de la cabecera Municipal con las zonas rurales.

1. CAPITULO I. MARCO TEORICO

1.1. DEFINICIÓN DE ESPACIO EN BLANCO

En el Capítulo 2. Del documento ‘Broadband deployment through TV-White Space’ [8, p. 2] dice que: De acuerdo con la CEPT (Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones) Informe 24, 2008 “Consideraciones técnicas relativas a las opciones de armonización del dividendo digital: Una evaluación preliminar de la viabilidad de nuevas aplicaciones/futuros/servicios que encajan en el espectro no armonizado de lo digital dividendo (a saber, los llamados ‘espacios en blanco’ entre asignaciones)”:

‘Espacio en blanco’ es una etiqueta que indica una parte del espectro, que está disponible para una aplicación de radiocomunicación (servicio, sistema) en un momento dado en un área geográfica determinada sin interferencia / sin protección con respecto a otros servicios con una mayor prioridad a nivel nacional.

El espacio en blanco de televisión recibe su nombre del hecho de que se cae en el rango de espectro de 470 a 890 MHz (ITU-Región 3 Atribuciones de frecuencia) que es la banda atribuida principalmente para el servicio de radiodifusión como primaria.

Según el documento mencionado anteriormente; hay diferentes formas en que TVWS puede surgir en cualquier ubicación determinada. La cantidad de espectro disponible en forma de TVWS puede variar significativamente entre diferentes ubicaciones y dependerá de varios factores, que incluyen: características geográficas, el nivel de potencial de interferencia para el servicio de radiodifusión televisiva, los objetivos de cobertura de televisión y la planificación relacionada, y los canales de televisión utilizados. La disponibilidad de TVWS se puede categorizar principalmente como:

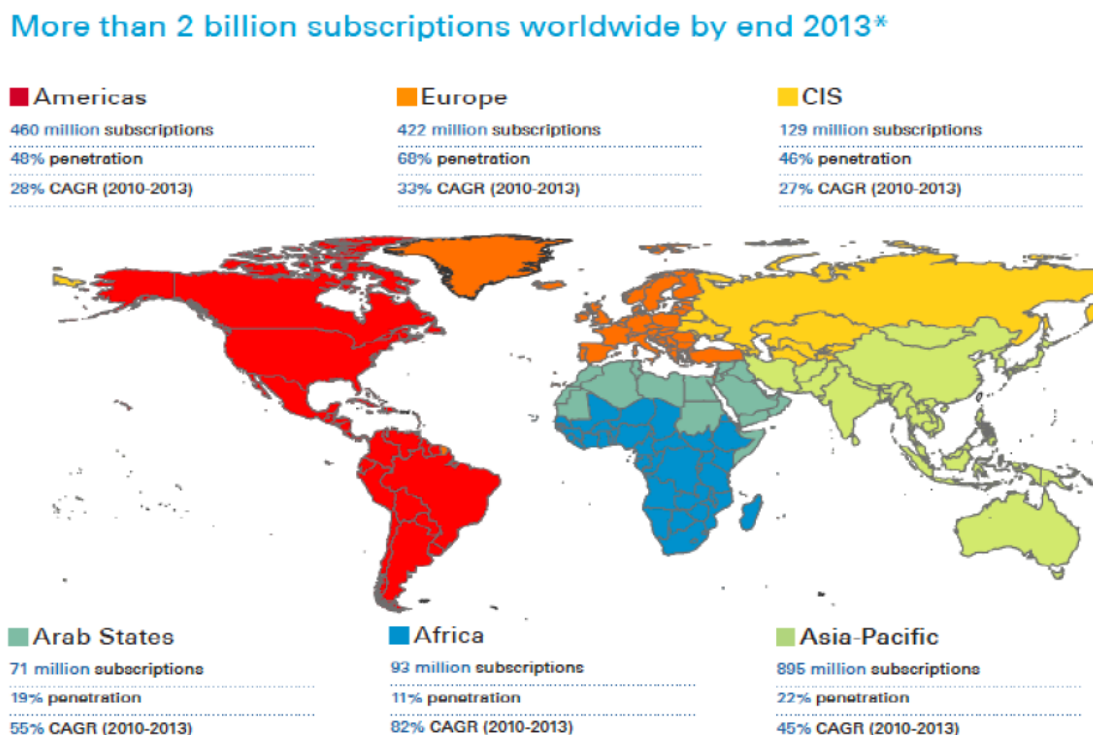
1. Frecuencia: canales inactivos de un plan de banda de TV en algunas áreas geográficas debido a técnicas de evitación de interferencia como el empleo de bandas de guarda.
2. Altura: define la disponibilidad de TVWS en un área determinada en términos de la altura del sitio de transmisión TVWS y su altura de antena, en relación con la recepción de cobertura de difusión de TV circundante.
3. Espacio: áreas geográficas que están fuera de la cobertura de TV actual y, por lo tanto, actualmente no hay señal de transmisión amplia. Además, esas áreas de separación geográfica (planificadas) entre ubicaciones que utilizan los mismos canales de televisión.
4. Dominio del tiempo: un TVWS podría estar disponible cuando una emisión de radiodifusión se encuentre fuera del aire; por lo tanto, el transmisor de radiodifusión con licencia no utiliza el canal de frecuencia asignado durante un período de tiempo específico, por lo que está disponible para su uso como TVWS sin interferencia.

1.2. NECESIDAD DE LA TECNOLOGÍA TVWS

En el documento 'Broadband deployment through TV-White Space' Cap. 3. [9, p. 3] se mencionan algunos de los puntos clave que han llevado a la necesidad de explorar formas alternativas y más eficientes de utilización del espectro como TVWS:

- La creciente adopción de aplicaciones de uso intensivo de datos y la rápida absorción por parte de los consumidores de productos móviles novedosos.

Figura 1. El Crecimiento mundial de la Banda ancha móvil.



Fuente: ITU World Telecommunications/ICT Indicators database

La Figura 1 muestra el rápido crecimiento del uso de banda ancha móvil en el mundo. En presencia de cuellos de botella de ancho de banda, posibles opciones reguladoras para abordar esa cuestión se esforzarían por lograr la máxima eficacia espectral explorando formas de acceso dinámico al espectro (es decir, radio cognitiva, agregación de espectro), alternativas sólidas para el intercambio de espectro y espectro prospectivo planificación y rearming⁷ para evitar la fragmentación del espectro.

Las bajas características de base de consumidores de las regiones rurales y remotas, junto con características geográficas potencialmente más desafiantes, han contribuido a la falta de conectividad en dichas áreas. Llegar a estas regiones por medio de una infraestructura de línea

⁷ La reutilización de las frecuencias, con otras tecnologías diferentes de las inicialmente previstas.

fija requiere mucho capital. Una alternativa inalámbrica es una opción más viable; especialmente aquellas alternativas que pueden lograr grandes áreas de cobertura con menos estaciones base. Aquí es donde la tecnología TVWS entra en juego y puede llegar a ser una mejor opción para la infraestructura de comunicación generalizada en áreas remotas y rurales.

1.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE TVWS

En el Capítulo 4. del documento citado anteriormente [10, p. 4] se describe como se han llevado a cabo varios estudios en la Unión Europea y el ETSI y como varios países también han investigado sobre las tecnologías que se utilizarán en el despliegue eficiente de la tecnología TVWS. En esta sección, se describe de una de las tecnologías emergentes relacionadas con TVWS:

1.3.1. Tecnología de Radio Cognitiva

El sistema de comunicación basado en la tecnología TVWS se basa principalmente en la arquitectura basada en la radio cognitiva. La UIT define el sistema de radio cognitivo (CRS) como un sistema de radio que emplea tecnología que le permite al sistema obtener conocimiento de su entorno operativo y geográfico, las políticas establecidas y su estado interno; ajustar dinámicamente y de manera autónoma sus parámetros y protocolos operativos de acuerdo con los conocimientos obtenidos para alcanzar objetivos predefinidos; y aprender de los resultados obtenidos. En las secciones siguientes, se proporciona una breve descripción de un sistema de radio cognitivo.

Las principales tecnologías habilitantes para los sistemas de radio cognitivos son:

- Geolocalización/Base de datos
- Detección del espectro
- Combinación de detección de espectro y geolocalización / base de datos

1.3.1.1. Geolocalización/Base de datos

En este enfoque, los dispositivos cognitivos miden su ubicación y consultan una base de datos de 'geolocalización' para determinar qué frecuencias pueden usar en su ubicación (ubicación que han indicado a la base de datos). Los parámetros como la precisión de la ubicación y la frecuencia de la consulta de la base de datos son importantes. Los dispositivos no pueden transmitir hasta que hayan determinado con éxito desde la base de datos qué canales, si hay alguno, están disponibles en su ubicación. Esto requiere que el acceso inicial a la base de datos se realice utilizando un canal reservado para este fin o por otros medios. La geolocalización es una parte importante del enfoque de acceso a la base de datos ya que es necesario conocer la ubicación del nodo CRS para recuperar la información correcta de la base de datos para la ubicación específica. Hay varias formas de implementar la ubicación geográfica. Los dispositivos de CRS corregidos, como los puntos de acceso, pueden instalarse profesionalmente y su ubicación luego

programarse en el dispositivo. Las computadoras personales y otros dispositivos portátiles pueden usar tecnologías de geolocalización, como chips de GPS. También triangulación utilizando torres de radio o cualquier otro método de determinación de ubicación, siempre que esos métodos proporcionen la precisión suficiente para determinar la ubicación de los dispositivos en un momento y momento determinados. Una vez que el dispositivo determina su ubicación, o está determinado por el punto de acceso que actúa como un dispositivo maestro, puede ser comunicado a la base de datos para determinar las frecuencias disponibles para su uso en su área.

1.3.1.2. Detección del espectro

Con la detección de espectro, los dispositivos intentan detectar la presencia de servicios protegidos en cada uno de los canales potencialmente disponibles. La detección del espectro implica esencialmente realizar una medición dentro de un canal candidato, para determinar si hay algún servicio protegido presente. Cuando se determina que un canal está vacante, la detección se puede aplicar a los canales adyacentes para determinar qué restricciones puede haber en la potencia de transmisión, si corresponde. Una ventaja significativa de la detección de espectro (independiente) sería que no depende de ninguna infraestructura local existente, como la conexión a una base de datos o una baliza. Esto podría ser importante en áreas remotas y rurales. Sin embargo, si los umbrales de detección deben establecerse muy bajos para proteger los servicios existentes, esto aumentará el costo y la complejidad del dispositivo, así como un número reducido de canales disponibles.

Actualmente, se consideran diferentes métodos de detección de espectro para CRS. Estos métodos incluyen detección de energía, filtrado adaptado, detección de características de ciclosetárica y detección basada en forma de onda, etc. Estos métodos de detección existentes difieren en sus capacidades de detección, requisitos de información a priori y también sus complejidades computacionales. La elección de un método de detección particular puede realizarse según los requisitos de detección, los recursos disponibles, tales como la potencia, el recurso informático y la aplicación/señal a detectar.

1.3.1.3. Detección de espectro combinado y Geolocalización/Base de datos

Es posible usar la detección en paralelo con el acceso a la base de datos. Si se adoptara este enfoque combinado, se podría aplicar el siguiente proceso;

- Identificación de la ubicación del dispositivo (información que debe proporcionar el dispositivo a la base de datos centralizada).
- Identificación de las frecuencias utilizables y la potencia radiada isotrópica efectiva (EIRP) (información que debe proporcionar la base de datos al dispositivo).
- Verificación cruzada de la disponibilidad de frecuencias utilizables (detección de espectro realizada por el dispositivo).
- Habilitar la transmisión (el dispositivo está transmitiendo). La transmisión debe permitirse solo después de la confirmación de la base de datos de geolocalización y detección.

El enfoque combinado de detección y geolocalización, cuando corresponda, puede tener la ventaja de reducir el riesgo de interferencia en comparación con la detección o la geolocalización solamente.

1.4. DISPOSITIVOS TVWS Y ARQUITECTURA TVWS BASADA EN LA TÉCNICA DE BASE DE DATOS DE GEOLOCALIZACIÓN

El Capítulo 4.2 del documento [11, p. 6] habla sobre la técnica de Base de Datos de Geolocalización para el acceso oportunista al espectro. Esta ha sido considerada como la opción viable para los sistemas de comunicación basados en la tecnología TVWS tanto por la industria como por las administraciones. La precisión que se requiere para que la técnica de detección de espectro garantice la operación sin interferencia sigue evolucionando hacia el ecosistema del dispositivo. Por lo tanto, desde el punto de vista del despliegue, la técnica de la base de datos de geolocalización es la opción en el escenario actual. ETSI ha publicado EN 301 598, dispositivos de espacio en blanco, sistemas de acceso inalámbrico que operan en la banda 470-790 MHz, en el que se detallan los requisitos técnicos de un dispositivo TV White Space (TVWSD). Las secciones siguientes brindan una breve descripción de los TVWSD según lo estipulado en la ETSI EN 301 598.

1.4.1. Dispositivos TVWS (TVWSD)

Según ETSI EN 301 598, TVWSD es un dispositivo controlado por un TVWSDB (TV White Space Database) y que funciona en espacios en blanco de TV. ETSI EN define dos tipos de TVWSD, que son los que se describen a continuación:

Equipo tipo A: Un TVWSD de tipo A es un dispositivo diseñado solo para uso fijo. Este tipo de equipo puede tener antenas integrales, dedicadas o externas.

Equipo tipo B: Un TVWSD de tipo B es un dispositivo que no está diseñado para uso fijo y que tiene una antena integral o una antena dedicada.

Además de lo anterior, desde el punto de vista de la operación, la EN también establece la siguiente categoría de dispositivos:

- Maestro TVWSD que tiene capacidad de geolocalización y se comunica con una base de datos TVWS para operar en el espacio en blanco de TV.
- Esclavo TVWSD que no tiene esencialmente capacidad de geolocalización y se comunica con el TVWSD maestro y otros esclavos TVWSD mientras está en funcionamiento

El estándar también define un conjunto de parámetros del dispositivo que el dispositivo maestro y/o esclavo, directa o indirectamente (en el caso del dispositivo esclavo) comunica a la base de

datos TVWS para operar en el espacio de TV Blanco. Estos parámetros incluyen principalmente: Ubicación de la antena, incertidumbre de la ubicación de la antena, Tipo de dispositivo: tipo A o tipo B, categoría del dispositivo: maestro o esclavo, identificador único del dispositivo, identificador tecnológico, clase de emisión del dispositivo, mejora de la máscara espectral, mejora de la atenuación por intermodulación inversa, etc.

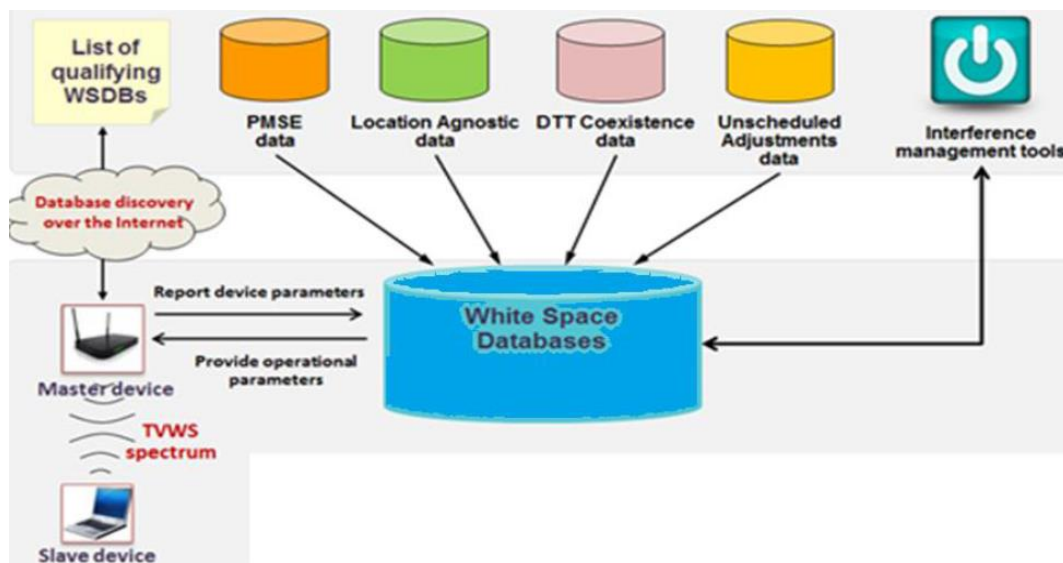
1.4.2. Base de datos TVWS (TVWSDB)

Según ETSI EN 301 598, TVWSDB es el sistema de base de datos aprobado por la autoridad reguladora nacional pertinente que puede comunicarse con TVWSDs y proporcionar información sobre disponibilidad de espacio en blanco de TV. El TVWSDB formula un conjunto de parámetros de funcionamiento como listas de TDT (Televisión Digital Terrestre) pares de frecuencias borde del canal, máxima en-bloque EIRP RF, máxima en-bloque RF EIRP para cada par de frecuencias borde canal de TDT, ancho de banda de canal máxima nominal, total máxima ancho de banda, tiempo de inicio de validez, validez y tiempo, Ubicación de validez, canal de restricción de potencia el funcionamiento simultáneo, actualización de temporizador, etc., que se comunica a la TVWSD maestro (que posteriormente pasa estos parámetros a sus esclavos TVWSDs) antes de que pueda comenzar a operar en la frecuencia TVWS y configurarse de acuerdo con estos parámetros para evitar cualquier tipo de interferencia a los operadores del servicio primario. Los parámetros operacionales también incluyen un conjunto de parámetros de uso del canal que describe los recursos de radio que el TVWSD intenta usar. Los parámetros operacionales se actualizan de acuerdo con la geografía del entorno en el que el TVWSD pretende operar y, en general, se requiere que los TVWSD verifiquen al menos una vez al día estos parámetros para que conozcan los canales libres actuales para operar en el TVWS, evitando así cualquier interferencia con los servicios titulares.

1.4.3. Arquitectura típica de la tecnología TVWS

Esta sección describe una de las implementaciones de operación de TVWSD y TVWSDB. Esta implementación ha sido adoptada por Ofcom, Reino Unido, para el despliegue de redes basadas en tecnología TVWS en el país. La Figura 2 representa la arquitectura que está siguiendo Ofcom.

Figura 2. Implementación típica de la tecnología TVWS basada en la Base de Datos de Geolocalización.

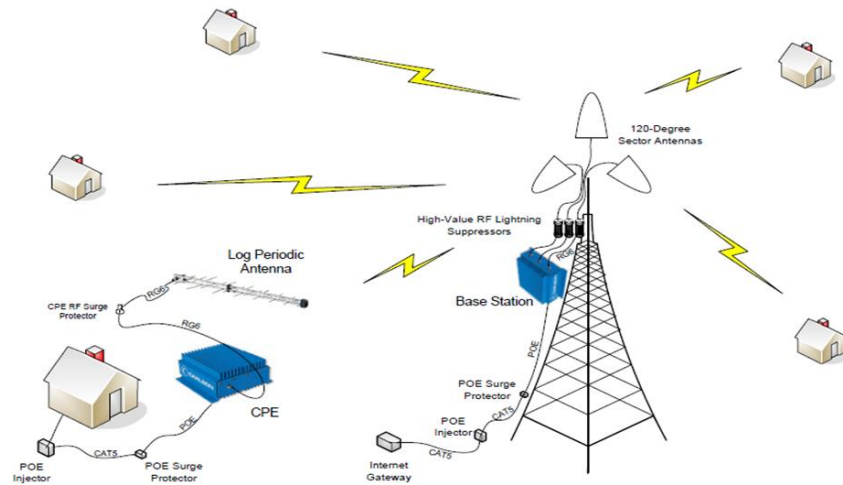


Fuente: Broadband deployment through TV-White

Esta es una implementación típica, como se muestra en la Figura, el TVWSD tiene que comunicarse con un repositorio de datos para obtener la lista de los TVWSDB certificados. En este caso, el TVWSD utiliza una lista web alojada en un servidor para obtener información sobre los TVWSDB y también sobre cómo comunicarse con ellos. El TVWSD almacena información relativa a las frecuencias terrestres en un área geográfica, herramientas de gestión de interferencias, etc. En una implementación típica, estos conjuntos de información/parámetros pueden gestionarse en diferentes bases de datos que a su vez pueden estar vinculados a un TVWSDB principal.

A continuación, en la figura 3 se observa el diagrama básico de instalación de RuralConnect dispositivos TVWS de la compañía Carlson Wireless Technologies.

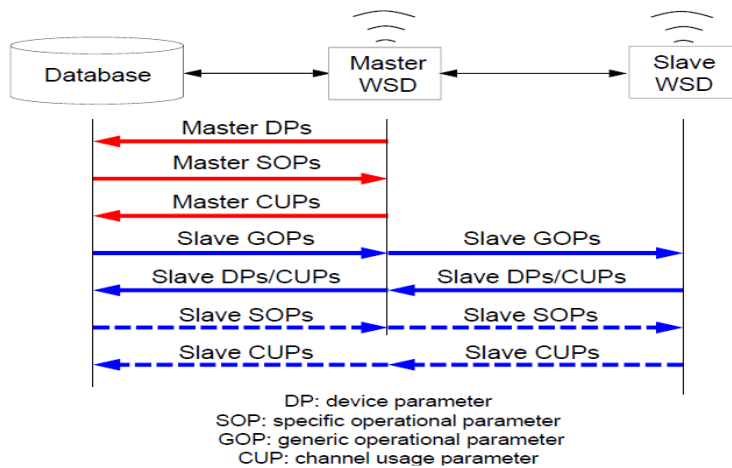
Figura 3. Diagrama de instalación básica de RuralConnect® Gen3.



Fuente: Carlson Wireless Technologies

Antes de irradiar en la banda TVWS, los TVWSD se comunican con el TVWSDB y declaran sus parámetros de localización al TVWSDB, de acuerdo con los cuales el TVWSDB asigna un cierto conjunto de parámetros operacionales al TVWSD para comenzar la operación. Los dispositivos esclavos, dado que no pueden comunicarse directamente con el TVWSDB, obtienen sus parámetros operativos a través del dispositivo maestro. En la figura 4 se muestra un caso típico de cómo fluye el mensaje entre el TVWSDB y el TVWSD maestro/esclavo.

Figura 4. Representación típica del intercambio de parámetros operacionales entre TVWSDB y TVWSD.



Fuente: Broadband deployment through TV-White

1.5. ESTÁNDARES PARA EL USO DE ESPACIOS BLANCOS DE BANDA DE TV

De acuerdo al Capítulo 4.3 del documento [12, p. 8] muchas organizaciones internacionales de desarrollo de estándares están trabajando en la creación de una amplia variedad de estándares y especificaciones interoperables para el uso de espacios en blanco de en la banda de TV. Algunos de ellos se describen a continuación:

- El Comité de Normas LAN MAN del Instituto de Electrónica e Ingeniería Eléctrica (IEEE) 802 es un organismo líder en normas industriales basado en consenso y produce estándares para dispositivos de red inalámbricos, incluidas redes de área local inalámbricas ("WLAN") y redes de área personal inalámbricas ("WPAN"), redes de área metropolitana inalámbricas ("MAN inalámbricas") y redes inalámbricas de área regional ("WRAN"). La actividad de desarrollo de normas IEEE 802 incluye énfasis en la coexistencia, que es el foco del grupo de trabajo de Coexistencia Inalámbrica.
- Algunos de los estándares IEEE 802 que son relevantes para las Bandas de transmisión de TV incluyen IEEE 802.11 AF (WLAN), IEEE 802.15.4m (WPAN), IEEE Std. 802.22-2011 (WRAN) e IEEE 802.19.1 (Coexistencia). Puede encontrar más información sobre estos estándares para Espacios Blancos de Banda de Televisión y Compartir Espectro en www.ieee802.org/22.
- WhiteSpace Alliance ha creado pruebas de interoperabilidad y procedimientos de certificación para los sistemas IEEE 802.22 que se llama Wi-FAR™. Wi-Fi Alliance ha otorgado a los sistemas IEEE 802.11 interoperables el nombre comercial de Wi-Fi®.
- El Grupo de Trabajo de Protocolo de Acceso a Espacios Blancos (PAWS) de Internet Engineering Task Force (IETF) está trabajando en la creación de un estándar para interfaces y acceso a la Base de Datos White Space por un dispositivo White Space que opera en la Banda de Transmisión de Televisión.
- WhiteSpace Alliance también ha creado pruebas de interoperabilidad y procedimientos de certificación para el protocolo IETF PAWS que se llama especificación WSACoconnect™

1.6. ESCENARIOS DE DESPLIEGUE DE TV WHITE SPACE

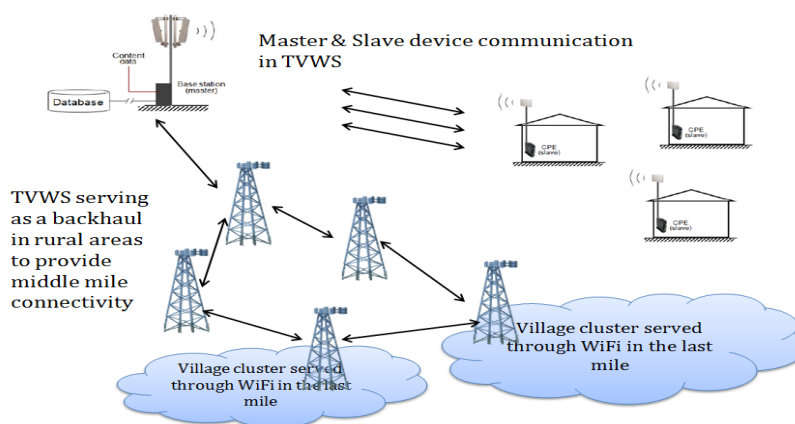
En el documento citado anteriormente Cap. 5 [13, p. 9], se menciona una serie de escenarios de implementación para sistemas de comunicación basados en TVWS. La industria ya ha realizado muchos proyectos piloto y pruebas de conceptos para mostrar la efectividad de los sistemas de comunicación basados en TVWS en estos escenarios de implementación, algunos se describen en el marco referencial de este documento. La estandarización de diferentes tecnologías pertenecientes a TVWS también se está llevando a cabo teniendo en cuenta los escenarios de implementación específicos. El controlador principal para el uso de la banda TVWS son las características de las ondas de radio en la banda de TV UHF, y su capacidad para penetrar en el interior de los edificios. De los posibles escenarios de implementación en este documento solo se describe el siguiente:

1.6.1. Banda Ancha Rural

Uno de los escenarios de implementación significativos de los sistemas de comunicación basados en TVWS son las áreas rurales o remotas. Estas áreas pueden beneficiarse en gran medida mediante el despliegue de TVWS debido a la naturaleza pura de las ondas de la banda de TV que tienen características de propagación para llegar a decenas de kilómetros. Estos sistemas podrían tener una implementación rápida con un número mínimo de repetidores.

La Figura 5 muestra cómo se puede implementar una red de comunicación basada en TVWS en las áreas rurales. Se muestran dos tipos principales de opciones de implementación. Uno representa el tipo de comunicación maestro-esclavo entre los WSD, principalmente un tipo de escenario de implementación punto a multipunto. El WSD esclavo puede emular Wi-Fi o cualquier otra tecnología de comunicación compatible con el Equipo del usuario. Si el equipo de usuario es compatible, los estándares de comunicación TVWS como 802.11af también pueden ser compatibles con el esclavo TVWSD. El otro escenario en la figura muestra la banda de TV que se utiliza para proporcionar conectividad de milla media a las estaciones base y los repetidores para llegar a las zonas rurales remotas, que luego reciben Wi-Fi en la última milla. Puede haber otros escenarios de implementación pertinentes para las áreas rurales dependiendo de los requisitos.

Figura 5. Implementación típica de banda ancha Rural usando tecnología TVWS



Fuente: *Broadband deployment through TV-White*

1.7. MARCO CONCEPTUAL

Esta sección se basa en la recopilación de información realizada por Patricia Hernández y Gonzalo Caro, estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad de la República, en la realización de su trabajo de grado llamado 'Uso del Espectro Radioeléctrico en Uruguay y Oportunidades para el Uso de Radio Cognitiva'.

1.7.1. Espectro Radioeléctrico y su Gestión

El espectro radioeléctrico es el medio físico por el cual se transmiten las ondas electromagnéticas (OEM) que hacen posibles las radiocomunicaciones, por lo tanto, es un concepto fundamental en materia de comunicaciones inalámbricas. Las frecuencias que componen este espectro soportan una amplia gama de aplicaciones para negocios, usos personales, industriales, científicos, médicos y culturales, tanto pública como privada. Estas aplicaciones tienen una importancia creciente para el desarrollo económico y social de los países. El desarrollo tecnológico que actualmente nos rodea crece en base a este recurso que se puede calificar de finito, compartido y escaso.

1.7.2. Definición y Características ERE

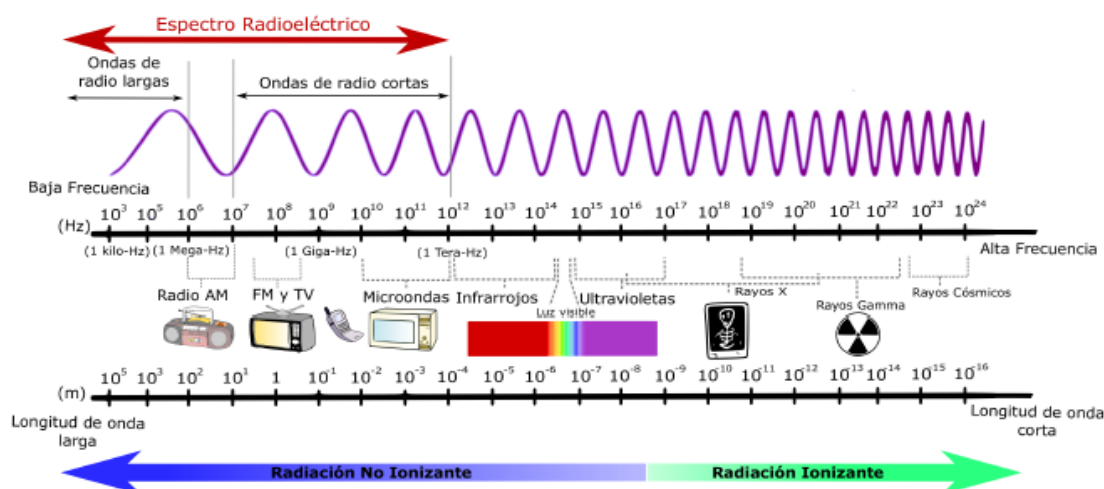
La definición de ERE, tal y como lo ha definido la UIT⁸ es: “Las frecuencias del espectro electromagnético usadas para los servicios de difusión y servicios móviles, de policía, bomberos, radioastronomía, meteorología y fijos”. Este concepto no es un concepto estático, pues a medida que avanza la tecnología los rangos de frecuencia utilizados en comunicaciones se van ampliando. Como no todas las ondas electromagnéticas (OEM) tienen el mismo comportamiento, el espectro electromagnético se divide convencionalmente en segmentos o bandas de frecuencia. Existen una amplia variedad de aspectos a considerar para establecer las diferentes bandas del espectro electromagnético y para utilizar las diferentes frecuencias para distintas aplicaciones. Entre los elementos a tener en cuenta se encuentran:

- Atenuación con la frecuencia: a menos frecuencia generalmente se tiene menor atenuación de la señal y por lo tanto mayor alcance.
- Factores climatológicos: las diferentes frecuencias son afectadas de forma distinta por factores como la lluvia, niebla, calor, etc.
- Comportamiento frente a obstáculos: factor que involucra los llamados mecanismos de propagación.
- Comportamiento frente a las capas de la atmósfera: las distintas frecuencias no se comportan igual en la ionosfera o en la troposfera e incluso hay ondas que se propagan por la superficie terrestre.

En la Figura 6 se muestran las distintas regiones del espectro electromagnético donde se identifica la parte que corresponde al ERE.

⁸ Unión Internacional de Telecomunicaciones

Figura 6. Espectro Electromagnético.



Fuente: Uso del Espectro Radioel6ctrico en Uruguay y Oportunidades para el Uso de Radio Cognitiva

El medio de transmisi6n influye en la propagaci6n de las ondas electromagn6ticas⁹ mediante fen6menos f6sicos como reflexi6n, refracci6n, difracci6n, dispersi6n o absorpci6n, entre otros. Sus efectos dependen del medio (tipo de terreno, condiciones y capas de la atm6sfera) as6 como de la frecuencia de la onda, entre otros factores. Por ejemplo, a partir de ciertas frecuencias altas las ondas pueden atravesar las capas de la atm6sfera dando lugar a comunicaciones con el espacio exterior empleando sat6lites espaciales para comunicaciones.

Formalmente y seg6n la UIT el rango de frecuencias que comprende el espectro radioel6ctrico es de 0 Hz a 3000 GHz. El Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT establece las llamadas bandas de frecuencia⁵. El rango te6rico de frecuencias est6 limitado en la pr6ctica. Inferiormente por 9 kHz, estas frecuencias tienen baja capacidad para transportar informaci6n y en ellas se producen interferencias considerables, por lo que no se suelen emplear. Por otra parte, las frecuencias m6s altas del espectro est6n "poco exploradas", esto es, la tecnolog6a comercial disponible en la actualidad no es capaz de utilizar de forma efectiva dichas frecuencias. Por tanto, en la pr6ctica, el espectro radioel6ctrico se reduce a un recurso que comprende las frecuencias desde 9 kHz hasta 275 GHz. Existen frecuencias fuera de este rango regulado por UIT (por ejemplo, en infrarrojos y en luz visible, en frecuencias del orden de centenas de THz) que se emplean tambi6n para telecomunicaciones.

Son muchas las consideraciones a tener en cuenta a la hora de determinar el conjunto de frecuencias aptas para determinado servicio de radiocomunicaci6n. En la Figura 6 se muestra como varan la atenuaci6n, la capacidad, la cobertura (alcance) y el coste de equipos con las diferentes bandas de frecuencia.

⁹ <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/presentaciones/rdpr3.pdf>

1.7.3. Importancia del ERE

Desde hace ya unos años se ha estudiado la incidencia de las TIC en el desarrollo socio-económico de los países. Para poder tomar decisiones en materia de política que sean eficaces y realistas se dispone de indicadores comparables y de parámetros mensurables. Dos de estos indicadores son el índice de Desarrollo de las TIC (IDT) y el indicador de disposición de red, en inglés *Networked Readiness Index* (NRI).

El IDT constituye una herramienta para comparar la sociedad de la información que resulta útil a gobiernos, proveedores de servicio y analistas del mercado. El IDT es un índice compuesto que combina 11 indicadores¹⁰.

Según G. Hernández y Caro [14, p. 23], el grado de penetración de las TIC en un país o región contribuye positivamente en el impulso de su desarrollo social y económico. En el Reporte Global de las Tecnologías de la Información 2015 del Foro Económico Mundial¹¹ se publica anualmente el NRI, este índice evalúa desde el año 2001 los factores, políticas e instituciones que permiten a un país aprovechar los beneficios de las TIC. El último informe¹² publicado en abril del año 2015 confirma la elevada correlación entre la adopción de las TIC por parte de los gobiernos y la capacidad para generar un impacto económico y social favorable.

Thierry Geiger, economista principal del Foro Económico Mundial y coautor del informe opina que *"Aunque los teléfonos móviles se utilizan en todas partes del mundo, la revolución de las TIC no se llevará a cabo por voz o SMS. Sin un mejor acceso a Internet a precios accesibles, una gran parte de la población mundial seguirá viviendo en la pobreza digital y se perderá las enormes ventajas sociales y económicas que ofrecen las TIC"*.

En el desarrollo de las TIC juega un importante papel el ERE por ser el recurso natural sobre el cual se implementan muchos de los servicios de telecomunicaciones que se brindan en la actualidad. El crecimiento exponencial que han experimentado las TIC en los últimos años y el constante avance de los servicios móviles, no solo en materia de telefonía celular, sino también para ser aplicados en educación [15], seguridad, cultura, medicina y negocios entre otros, ha llevado a que la demanda sobre el espectro radioeléctrico crezca de manera vertiginosa. Para el 2020 se estima que el 90% de los accesos móviles en América Latina serán por tecnologías 3G o 4G [16]. Para más información revisar el documento citado anteriormente, allí también se detalla la gestión del ERE tanto en el ámbito internacional como nacional.

1.8. USO DEL ERE EN COLOMBIA

¹⁰ <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2015/MISR2015-ES-S.pdf>.

¹¹ Institución internacional dedicada a mejorar el estado del mundo a través de la cooperación entre los sectores público y privado en un espíritu de ciudadanía mundial. Esta institución

¹² http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_IT_Report_2015.pdf

En Colombia el ERE es propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inenajenable e imprescriptible, cuya gestión, administración, vigilancia y control corresponden a la Agencia Nacional del Espectro (ANE) de conformidad con las leyes y decretos vigentes. En concordancia con la ANE, el espectro radioeléctrico es un recurso natural conformado por el conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial. A continuación, se hace una descripción del cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias (CNABF).

1.8.1. Cuadro Nacional de Atribución de bandas de Frecuencias

Según François Rancy¹³: Las facultades de gestión y administración del espectro radioeléctrico, comprenden entre otras, las actividades de planeación, coordinación y establecimiento del cuadro de atribución de frecuencias, este último, permite que los diferentes servicios de radiocomunicación del país, operen en bandas de frecuencias definidas previamente para cada uno de ellos, con el fin de asegurar su operatividad, minimizar la probabilidad de interferencias objetables y permitir la coexistencia de servicios de telecomunicaciones dentro de una misma banda de frecuencias, cuando sea del caso. Por lo tanto, la asignación siempre debe coincidir con la atribución de este cuadro.

Producto de las crecientes necesidades en comunicaciones de las personas, y de las entidades privadas o estatales, cada vez se requieren soluciones más universales, más robustas más complejas. El avance de las TIC se ha hecho vertiginoso y el despliegue de soluciones convergentes es cada vez mayor. Por esto, es necesario actualizar permanentemente la reglamentación nacional e internacional sobre el uso del espectro radioeléctrico; para ello, los países del mundo, reunidos durante las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), revisan periódicamente el Reglamento de Radiocomunicaciones, en el cual se define, entre otros elementos, la atribución del espectro radioeléctrico en todo el planeta.

Esta atribución del espectro es producto de estudios técnicos, económicos y sociales, y del consenso entre los estados miembros de la UIT, para el mejoramiento y el empleo racional del espectro radioeléctrico, con el fin de evitar interferencias perjudiciales entre las estaciones de radiocomunicación de los distintos países. Estas actividades incluyen permanentes esfuerzos encaminados a la armonización global del uso de las diferentes bandas de frecuencias; por ejemplo, los trabajos actuales en busca de la armonización de las bandas atribuidas al servicio móvil, a escala regional (incluyendo Latinoamérica), y preferiblemente a nivel mundial, contribuyendo así a una significativa reducción de los costos de servicios y terminales móviles de banda ancha (3G, 4G, etc.).

¹³ Director de la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La Agencia Nacional del Espectro (ANE) ha desarrollado el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias; un cuadro armonizado y actualizado con las últimas disposiciones internacionales en la materia y que le permitirá al país continuar en la senda del desarrollo constante. Su consulta por parte de los interesados debe ser permanente, así como deben ser los valiosos aportes a su actualización, construyendo una guía efectiva para el uso correcto del espectro radioeléctrico.

1.8.2. Espacios en blanco de Televisión en Colombia

La Agencia Nacional del Espectro (ANE) publicó la resolución que establece las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco de TV ver [17], convirtiéndose en el primer país de la región en emitir este tipo de normativa. De acuerdo con la resolución de ANE, el espectro libre atribuido para el servicio de TV entre 470 MHz y 698 MHz puede ser utilizado para brindar conectividad en zonas rurales. La normativa establece los parámetros técnicos y operativos para el uso de dichos espacios para evitar interferencias con otros servicios.

En la resolución 461 se señala que “actualmente en el 99% de los municipios se usan menos de 10 canales de los 36 disponibles en la banda de frecuencias ultra altas (UHF) lo que permite la utilización de esas frecuencias disponibles para otros servicios aprovechando sus ventajas de propagación”.

La resolución se emitió luego de un proceso de consulta pública que se llevó a cabo entre el 23 de diciembre de 2016 y el 30 de enero de 2017. Tras la aprobación de la normativa, en la actualidad, la ANE realiza una convocatoria para instituciones de educación superior para el desarrollo de la plataforma de software en línea para el uso de los espacios en blanco que permita analizar y responder a las solicitudes de disponibilidad de frecuencias realizadas por los dispositivos de espacios en blanco.

1.9. MODELOS DE PROPAGACIÓN BÁSICOS

1.9.1. Pérdidas de trayectoria por el espacio libre

La pérdida de trayectoria en espacio libre usualmente se define como la pérdida a la que es sometida una onda electromagnética cuando esta se irradia en línea recta por el espacio libre, esta no sufre de algún otro fenómeno como la reflexión o absorción. Esta es una mala definición, está en realidad es la cantidad técnica artificial que se obtiene mediante la manipulación de diferentes ecuaciones en enlaces de comunicaciones, teniendo muy en cuenta la ganancia de la antena transmisora. Ver [18].

Las pérdidas en la trayectoria en espacio libre dependen de la frecuencia, y aumentan con la distancia. La ecuación característica es la siguiente:

$$L_f = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi f D}{c}\right)^2$$

Siendo:

L_f = pérdida en trayectoria por el espacio libre (adimensional)

D = distancia (kilómetros)

f = frecuencia (Hertz)

λ = Longitud de onda (metros)

c = velocidad de la luz en el espacio libre (3×10^8 metros por segundo)

Al convertir a dB las pérdidas, se obtiene:

$$L_f(\text{dB}) = 20 \log\left(\frac{4\pi}{c}\right) + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{km})$$

Finalmente:

Fórmula 1. Pérdidas de trayectoria en el espacio libre

$$L_f = 32,4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{km})$$

1.9.2. Pérdidas por Trayecto

Se define como la relación entre la potencia transmitida y la potencia recibida, generalmente expresada en decibelios. Incluye todos los posibles elementos de pérdida asociados con las interacciones entre la onda de propagación y cualquier objeto entre las antenas de transmisión y de recepción. En el caso de canales con grandes cantidades de desvanecimiento rápido, como los canales móviles, la pérdida de trayecto se aplica a la potencia promediada durante varios ciclos de desvanecimiento. Esta ruta es difícil de medir ya que también se deben tener en cuenta varias pérdidas y ganancias en el sistema de radio. La mejor manera de justificar esto es construir un presupuesto de enlace. Para definir la pérdida de ruta correctamente, las pérdidas y ganancias en el sistema deben ser consideradas.

La potencia que aparece en los terminales de entrada del receptor, P_R , se puede expresar como:

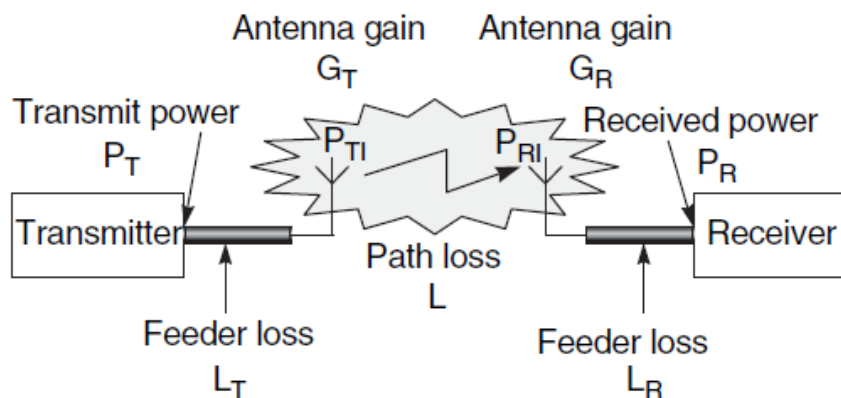
Fórmula 2. Fórmula para calcular la potencia de Recepción en W.

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_T L_{TR}}$$

Donde los parámetros están definidos en la Figura 7 con todas las ganancias G y pérdidas L expresadas como razones de potencias y potencias expresadas en vatios. Las ganancias de la antena se expresan

con referencia a una antena isotrópica, que irradia la potencia suministrada por igual en todas las direcciones.

Figura 7. Elementos de un Enlace Inalámbrico



Fuente: Antenas y radio propagación Simón R. Saunders and Zavala 2007

Finalmente, las pérdidas por trayecto se expresan de la siguiente manera:

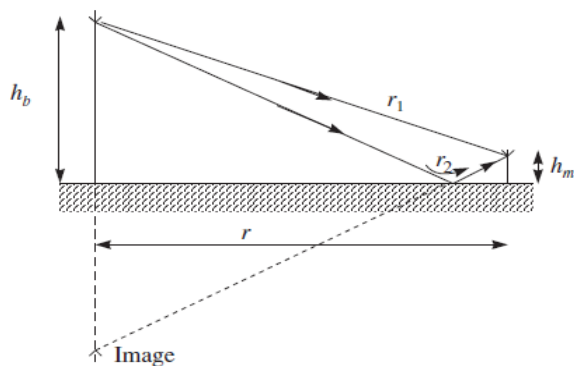
Fórmula 3. Pérdidas por Trayecto

$$L = P_{T(dBW)} + G_{T(dBi)} + G_{R(dBi)} - P_{R(dBW)} - L_{T(dB)} - L_{R(dB)}$$

1.9.3. Modelo de Tierra Plana

Según Saunders y Savala (19, p. 115) Otra situación de propagación fundamental en la propagación como la que se ilustra en la figura 8.

Figura 8. Situación Física para las pérdidas por Tierra Plana.



Fuente: Antenas y radio propagación Simón R. Saunders and Zavala 2007

Aquí las antenas base y de estación móvil están situadas por encima de un terreno reflectante plano (plano tierra), a alturas h_b y h_m , respectivamente, de modo que la propagación tiene lugar a través de una trayectoria directa entre las antenas y un reflejo desde el suelo. Estos dos caminos se suman en el receptor con una diferencia de fase relacionada con la diferencia de longitud entre las dos rutas.

La ecuación de las pérdidas por tierra plana expresada en dB.

Fórmula 4. Pérdidas por Tierra Plana.

$$L_{PEL} = 40 \log r - 20 \log h_m - 20 \log h_b$$

1.9.4. Modelo Longley - Rice

El modelo Longley-Rice [20], también llamado de ITM (Irregular Terrain Model), fue creado en 1968 para el estudio de propagación de señales de TV, modela obstáculos lejanos como filo de cuchillo y los cercanos como cilindros.

El modelo de Longley-Rice, basado en un algoritmo numérico, se aplica a sistemas punto a punto y a esquemas de comunicación en el rango de frecuencias desde VHF hasta EHF, es decir desde los 40 MHz hasta los 100 GHz, sobre diferentes tipos de terrenos, considera la geometría del perfil del terreno y la refractividad de la troposfera.

Características:

- Tiene en cuenta: Rugosidad del terreno.
- Altura de antenas de 0.5 a 3000 m.
- Distancia de separación entre ellas de 1 a 2000 Km.
- Es muy útil para sistemas de radiocomunicaciones móviles y de difusión.
- Lo único que lo hace poco accesible por cualquier usuario es que requiere de fuentes confiables de información de mapas digitalizados con aceptable resolución

También es un modelo estadístico, pero toma en cuenta muchos más parámetros para el cálculo de las pérdidas: Frecuencia de transmisión, longitud del trayecto, polarización, alturas de las antenas, refractividad de la superficie, radio efectivo de la tierra, conductividad del suelo, constante dieléctrica del suelo y condiciones climáticas.

La pérdida media de propagación es obtenida utilizando información sobre la geometría del terreno entre el receptor y transmisor, y las características refractivas de la troposfera. Las pérdidas adicionales están basadas en medidas tomadas en varias situaciones.

1.9.5. Recomendación UIT-R P.526

Según el sitio web de Xirio-Online [21], la Recomendación UIT-R P.526 presenta varios modelos que evalúan el efecto de la difracción en la intensidad de campo recibida. Los modelos se aplican a diferentes tipos de obstáculos y a diversas geometrías de trayecto.

Dependiendo del tamaño de las irregularidades del terreno, pueden distinguirse tres tipos de terreno:

- a) Terreno liso: La superficie de la Tierra puede considerarse lisa si las irregularidades del terreno son del orden de $0,1R$ o inferiores a ese valor, donde R corresponde al máximo valor del radio de la primera zona de Fresnel en el trayecto de propagación. En este caso, el modelo de predicción se basa en la difracción sobre Tierra esférica.
- b) Obstáculos aislados: El perfil del terreno del trayecto de propagación está compuesto de uno o más obstáculos aislados. En este caso, dependiendo del número de obstáculos y de la idealización utilizada para caracterizar los mismos, deben utilizarse los modelos de predicción descritos en las Secciones 4-7.
- c) Terreno ondulante: El perfil está compuesto de varias colinas pequeñas, ninguna de las cuales representa un obstáculo mayor. En esta gama de frecuencias, la Rec. UIT R P.1546 es la más adecuada para predecir la intensidad de campo pero no sirve como método de propagación por difracción

El modelo se describe brevemente en la siguiente sección. Los cálculos no se describen en detalle debido a su complejidad y a la amplia disponibilidad de las recomendaciones de la UIT para consulta directa. En este caso, los procedimientos de cálculo detallados pueden encontrarse en [22].

1.10. MODULACIONES DIGITALES USADAS EN TVWS

La portadora y la señal modulada son analógicas como las señales AM y FM. La modulación digital se divide dos clases:

- PSK (Phase shift keying) Codificación por cambio de fase.
- QAM (Quadrature amplitude modulation) En este caso se cambia la amplitud y fase de la portadora según la modulación/señal digital que representa los datos.

La función de la modulación digital es convertir los bits que enviamos en señales que nos ayuden a transmitir la información con el menor número de errores. Estas señales serán agrupaciones de los bits que enviamos (grupos de k bits) y las llamaremos símbolos. Todos los posibles símbolos que vayamos a generar con los bits de información los tendremos ya definidos en un alfabeto de símbolos. Si tenemos 4 símbolos en nuestro alfabeto, toda la información que nos llegue la transformaremos en uno de esos cuatro símbolos y no en ningún otro.

1.10.1. Bi-Phase Shift Keying (BPSK)

Es la modulación más sencilla es la modulación BPSK o 2PSK en el que son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. En este tipo de modulación, si el bit a transmitir es un 0, se transmite la portadora tal cual. Si el bit a transmitir es un 1, se invierte la fase de la portadora. El receptor sabe qué bit le ha llegado midiendo la fase de la portadora que llega. La fase de la señal portadora puede tomar entonces dos valores: 0 y π . Cada uno de los símbolos codifica 1 bit.

1.10.2. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Es una modulación que se caracteriza porque la fase de la onda portadora varía en forma directamente proporcional de acuerdo con la señal modulante. La modulación de fase no suele ser muy utilizada porque se requieren equipos de recepción más complejos que los de frecuencia modulada. Además, puede presentar problemas de ambigüedad para determinar si una señal tiene una fase de 0° o 180° .

La modulación en fase más utilizada es la modulación QPSK. Su uso es muy extendido, sobre todo en sistemas que incluyen CDMA¹⁴ en servicios móviles, bucles locales inalámbricos (Wireless), DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite), etc. La sigla 'Q' indica que el número de estados (o símbolos) cada símbolo codifica 2 bits, es decir, un sistema QPSK puede usar una señal de banda base de la misma frecuencia, por lo tanto, su eficiencia de ancho de banda es (idealmente) mayor en un factor de dos. Esta modulación digital es representada en el diagrama de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas. Con cuatro fases, QPSK puede codificar dos bits por cada símbolo. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray, que consiste en que, entre dos símbolos adyacentes, los símbolos solo se diferencian en 1 bit, con lo que se logra minimizar la tasa de bits erróneos.

Respecto a un ancho de banda predeterminado, la ventaja de QPSK sobre BPSK está que con el primero se transmite el doble de la velocidad de datos en un ancho de banda determinado en comparación con BPSK, usando la misma tasa de error. Como contraparte, los transmisores y receptores QPSK son más complicados que los de BPSK, aunque con las modernas tecnologías electrónicas, el costo es muy moderado. Como ocurre con BPSK, hay problemas de ambigüedad de fase en el extremo receptor, y a menudo se utiliza QPSK codificado en forma diferencial en la práctica. [23].

1.10.3. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

La modulación QAM consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90° . La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. La

¹⁴ Acceso por Múltiple por División de Código

modulación QAM se utiliza en aplicaciones que incluyen radio digital con microondas, DVB-C (Digital Video Broadcasting-Cable) y módems. Actualmente, los canales transmitidos por la Televisión Digital Terrestre emplean una modulación 64QAM.

El límite de las modulaciones QAM actualmente se encuentra en 256QAM, aunque se está trabajando para poder aumentar este límite hasta 512QAM o incluso 1024QAM. Con el límite actual, es posible transmitir 8 bits/símbolo, lo que es muy eficiente en términos espectrales. Estos límites existen ya que el uso de muchos símbolos provoca que estén muy juntos, lo que conlleva que se puedan producir más errores al detectar el símbolo debido al ruido y a la distorsión y que cada error provoque una pérdida de 8 bits. [24].

1.11. MARCO REFERENCIAL

Según el documento [25, p. 89] con el desarrollo de diferentes estándares de CR distintas organizaciones y empresas comenzaron a realizar prototipos de equipos de CR y con ellos los primeros pilotos y pruebas de campo. La Dynamic Spectrum Alliance¹⁵ presenta en su sitio web una recopilación de pilotos a lo largo del planeta, la mayoría de los cuales son implementaciones de CRS en las bandas de TVWS. En la Figura 9 se muestran las ubicaciones de estos pilotos. En la presente sección se comentan algunas de las experiencias realizadas en el mundo y en Colombia.

Figura 9. Ubicación de pilotos CR con TVWS.



Fuente: Dynamic Spectrum Alliance.

1.11.1. NICT: IEEE 802.11af

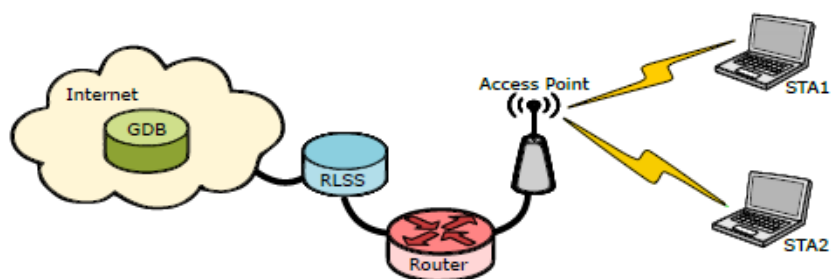
Según el documento citado anteriormente, el 17 de octubre de 2012 el NICT¹⁶ publica el primer prototipo de equipo que implementa las especiaciones PHY y MAC del borrador que existía en

¹⁵ Organización formada por empresas relacionadas con las telecomunicaciones, sitio web: <http://dynamicspectrumalliance.org/>

¹⁶ *National Institute of Information and Communications Technology (Japon)*

ese entonces del estándar IEEE 802.11af. Para poder realizar las pruebas con el prototipo, el NICT desarrollo una base de datos GDB y un servidor RLSS¹⁷, de acuerdo al estándar [26]. La Figura 10 muestra la topología utilizada en el piloto.

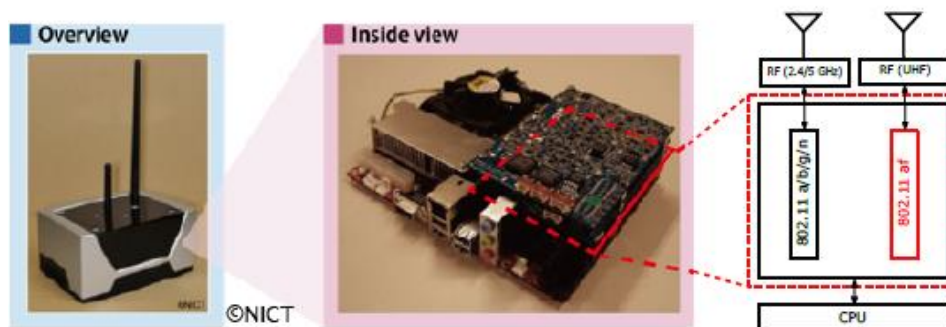
Figura 10. Sistema montado para pruebas con el prototipo de IEEE 802.11af



Fuente: NICT. World's First TV White Space Wi-Fi Prototype Based on IEEE 802.11af Draft Standard Developed.

Además de la interfaz inalámbrica IEEE 802.11af, el dispositivo soporta además interfaces USB, LTE y WiMAX. La Figura 11 se muestra el aspecto del prototipo.

Figura 11. Prototipo de IEEE 802.11af



Fuente: NICT. World's First TV White Space Wi-Fi Prototype Based on IEEE 802.11af Draft Standard Developed.

Según dicho artículo, el 16 de diciembre de 2015, el NICT publica el desarrollo del primer circuito integrado en banda base basado en el estándar IEEE 802.11af. Con el avance del circuito integrado se favorece el desarrollo de dispositivos de comunicación de pequeño porte y bajo consumo de energía, o incluir el circuito integrado en otros dispositivos de comunicación. Además del integrado, el NICT desarrollo un prototipo de tarjeta en formato USB-stick de pequeñas dimensiones y bajo costo, como el que muestra la Figura 12. [27].

¹⁷ Registered Location Secure Server

Figura 12. Prototipo USB-stick IEEE 802.11af



Fuente: NICT. World's First IEEE 802.11af-compatible Baseband IC for TV White-space Wireless LAN Systems.

Entre los logros alcanzados con el circuito integrado de destacan:

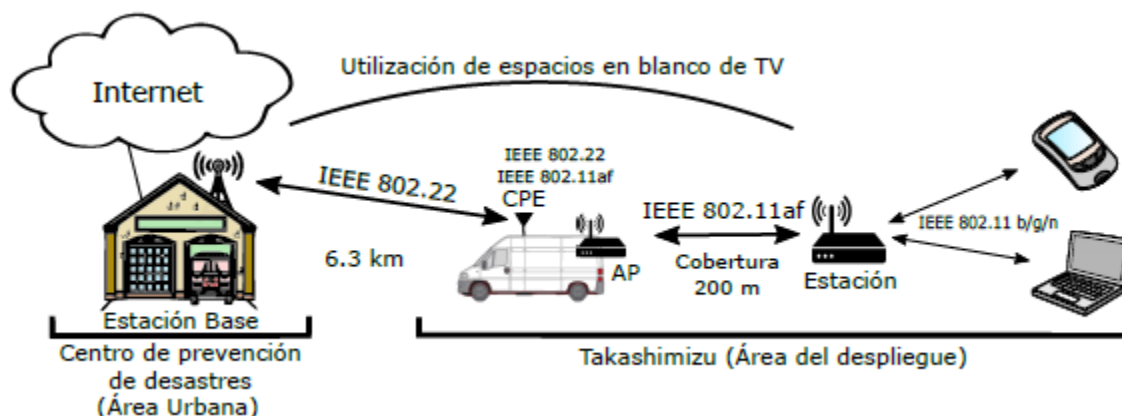
- Respecto a los dispositivos desarrollados hasta el momento, se logra una reducción de tamaño de 1/40, reducción del peso de 1/30 y reducción de costo a menos de 1/10.
- El dispositivo fabricado, cuenta con interfaz Universal Serial Bus (USB) y puede ser alimentado vía USB.
- El dispositivo implementa de forma simple todo el sistema, incluyendo la antena.
- El dispositivo puede ser operado como AP o como una estación de usuario. Esto Facilita notoriamente el despliegue de una red en TVWS.

1.11.2. NICT: Hitachi Kokusai e ISB Corporation: IEEE 802.22

Según el artículo citado en varias ocasiones de este apartado, el primer prototipo de red basada en el estándar IEEE 802.22 fue desarrollado en conjunto por el NICT, Hitachi Kokusai Electric Inc. e ISB Corporation, presentado el 23 de enero de 2013. El diseño consta de una radiobase (RB) y equipos cliente (CPE) capaces de crear una WRAN cumpliendo el estándar IEEE 802.22-2011.

Según el apartado del documento [28], el NICT junto a Hitachi Kokusai Electric Inc. se encargaron de la implementación de lo referente a las capas MAC y PHY, de forma tal de permitir a los dispositivos usar canales de TV vacantes en la banda de 470-710 MHz de acuerdo al estándar. La metodología de acceso al medio se basó en una red punto-multipunto con soporte para diferentes tipos de calidad de servicio, capacidades cognitivas de estimación de la interferencia y acceso a una base de datos (base de datos de espacios en blanco, en inglés White Space Database (WSDB) provista por la corporación ISB que permite evitar la interferencia con operadores de TV licenciados.

Figura 13. Esquema de red multi-salto implementada con estándares IEEE



Fuente: World's First Breakthrough Achieved for Long-Range Broadband Communications in TV White Space

La experiencia fue calificada por el NICT como exitosa, destacándose los siguientes logros:

- Se implementó un sistema basado en IEEE 802.22 capaz de comunicarse a 12.7 km entre la BS y el CPE.
- Se lograron velocidades de bajada de 5.2 Mbps y de subida de 4.5 Mbps.
- Se utilizó una red multi-salto (ver Figura 13), utilizando el estándar IEEE 802.22 como backbone para un repetidor que combina un CPE de IEEE 802.22 y un enrutador inalámbrico IEEE 802.11af. Con el enrutador IEEE 802.11af se logra ampliar el alcance del servicio dado a un radio de 200 m del CPE, también mediante el uso de bandas de TV y radio cognitiva. Luego la señal finalmente repetida por otro enrutador IEEE 802.11b/g/n, al que dispositivos estándar de usuario (celulares, tabletas, etc.) se conectan probando que es posible la navegación web y las video llamadas telefónicas con el sistema WRAN. Se desarrolló una función original basada en IEEE 802.22 que permite operar en dos canales de TV no consecutivos logrando velocidades de bajada de 15.5 Mbps y de subida de 9.0 Mbps.
- Se desarrolló una función original basada en IEEE 802.22 que permite operar en dos canales de TV no consecutivos logrando velocidades de bajada de 15.5 Mbps y de subida de 9.0 Mbps.

1.11.3. Ofcom Pilotos TVWS

La Ofcom ha impulsado las tecnologías de TVWS durante los últimos años como forma de propiciar el acceso universal a la banda ancha pero también con vistas a la nueva tendencia de

las comunicaciones maquina a máquina, en ingles machine to machine communications (M2M), y también llamado el Internet de las cosas (IoT). Resulta interesante repasar el camino recorrido por la Ofcom para llegar a su situación actual en lo que refiere al uso de los TVWS de forma no licenciada. Los procedimientos que esta puso en práctica bien podrían ser replicados por otras administraciones que deseen regular este tipo de tecnologías, en particular por la de Colombia.

El 22 de noviembre de 2012, Ofcom propone una regulación para el uso de dispositivos TVWS y el 26 de abril de 2013 se realiza un llamado a interesados en participar en pilotos para el uso innovador de los TVWS. Esta sería una de las primeras y más importantes iniciativas en cuanto a Radio Cognitiva en Europa. Para el 2 de octubre de ese mismo año ya habían sido adjudicadas tanto las empresas que llevarían adelante tanto los sistemas pilotos, como las bases de datos de los TVWS necesarias en el Reino Unido para la implementación de la tecnología¹⁸. Al 10 de octubre de 2014 había siete pilotos implementados en el Reino Unido, con otros pilotos a realizarse en los meses siguientes involucrando organizaciones públicas y privadas para probar diferentes aplicaciones innovadoras en el uso del ERE. Luego de varios pilotos calificados como exitosos y consultas con los actores involucrados, el 12 de febrero de 2015 se da la autorización para que la industria de las telecomunicaciones pueda aprovechar los TVWS en forma compartida sin necesidad de licencias. Finalmente, Ofcom lanza el 18 de diciembre de 2015 un estatuto que regula el uso de los TVWS y se autoriza a cuatro empresas a mantener bases de datos de dispositivos TVWS.

A continuación, se describen los mencionados pilotos de CR en el Reino Unido.

- Streaming de video en vivo: Google y el ZSL London Zoo¹⁹, utilizando equipos Mediatek y 6Harmonics, lanzaron un trial que usa una red de TVWS para difundir video en vivo de diferentes animales que viven en el zoológico de Londres. El video fue difundido a través del portal de videos YouTube, propiedad de Google. Este piloto utilizó la base de datos de ERE provista por Google y sirvió de prueba para el ZSL London Zoo para un sistema de monitoreo y protección de animales salvajes en peligro.
- Defensa contra inundaciones: Las empresas Love Hz y Nominet trabajaron con la Oxford Flood Network en una red construida por sensores inalámbricos que provee alertas tempranas a la comunidad acerca de inundaciones. Los niveles de agua son monitoreados en tiempo real y enviados a través de los TVWS mediante dispositivos Adaptrum.
- Siguiendo generación Wi-Fi/ciudad inteligente: La Universidad de Strathclyde junto con Microsoft, 6Harmonics, MediaTek, Spectrum Bridge y Sky, con el apoyo del gobierno escocés, llevan a cabo un piloto para expandir el acceso a la banda ancha en la ciudad de Glasgow²⁰ así como también utilizar los TVWS para desplegar sensores para crear una “ciudad inteligente”.

¹⁸ Entre los asignatarios figuran multinacionales de las telecomunicaciones como Google y Microsoft.

¹⁹ <https://www.zsl.org/conservation-initiatives/conservation-technology/whitespaces-for-wildlife>

²⁰ La ciudad de Glasgow según estudios es la de menor penetración de servicios de banda ancha en el Reino Unido.

- Internet en barcos y botes: CloudNet IT Solutions, Fairspectrum y Carlson Wireless Technologies utilizan TVWS para brindar acceso a Internet y comunicaciones a transbordadores (en inglés *ferry*) que viajan en las islas Orkney. Estos *ferries* no contaban con acceso de banda ancha. independientemente en otro proyecto Microsoft, Neul y 6Harmonics trabajan con la operadora Click4Internet en la Isle of Wight para probar como esta tecnología puede funcionar con botes en el mar.

1.11.4. Pruebas de Espacio en Blanco de TV en North Queens

1.11.4.1. Cobertura

En el sitio web [29], se encuentra información de un proyecto realizado con la financiación de la CIRA²¹, allí se realizaron ensayos por parte del North Queens Business Hub de Caledonia En North Queensland o Región Northern Estado Australiano de Queensland Nueva Escocia, para estudiar el alcance y la eficacia del hardware TVWS.

La prueba está en dos etapas.

- 1) Pruebas de propagación en varios follajes y terrenos.
- 2) Pruebas a más largo plazo para estudiar las variaciones en el piso de ruido, la variación estacional y la relación señal/ruido (SNR) mínima requerida para un servicio confiable.

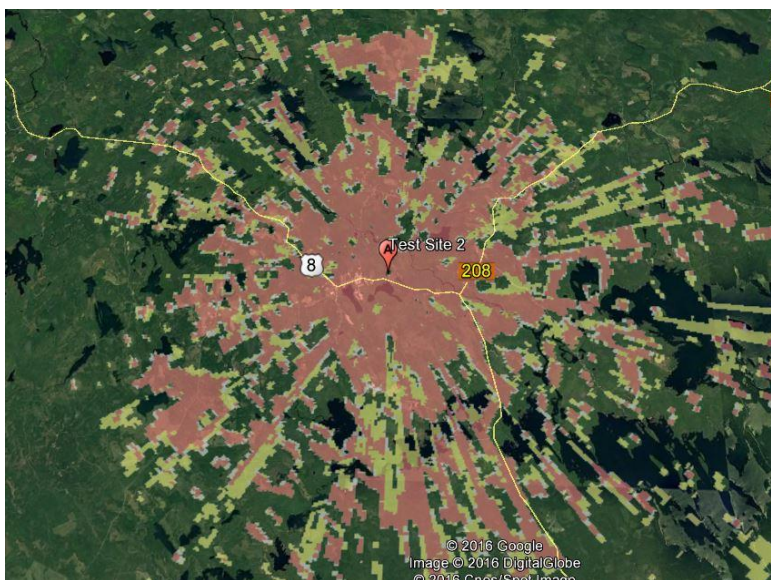
En las pruebas de propagación, utilizan varias bandas sin licencia o ligeramente reguladas y diferentes ganancias de antena, se muestran mapas con la cobertura esperada, desde un segundo sitio de prueba, pero asumiendo que tienen antenas de estación base a una altura de 30 m (el máximo legal) en lugar de 14 m empleadas en las pruebas. Las antenas del suscriptor están a una altura de 9 m y una altura máxima del árbol de 25 m.

Según la descripción en las imágenes de los mapas, el área en rojo tiene un nivel de señal grande de -80dBm y el área en amarillo es mayor de -85 dBm. Allí observan el aumento en la cobertura disponible en el área y junto con el considerable espectro disponible tienen un gran potencial para aliviar los problemas de acceso a Internet en el área de North Queens donde están realizando los ensayos. También incluyen archivos KMZ para ver con gran detalle en Google Earth las pruebas de propagación.

Allí explican la forma de descargar el archivo KMZ para observar Google Earth la cobertura con diferentes bandas y antenas (ver Figuras 14, 15, 16 y 17), para más información visitar: queenstvws.com

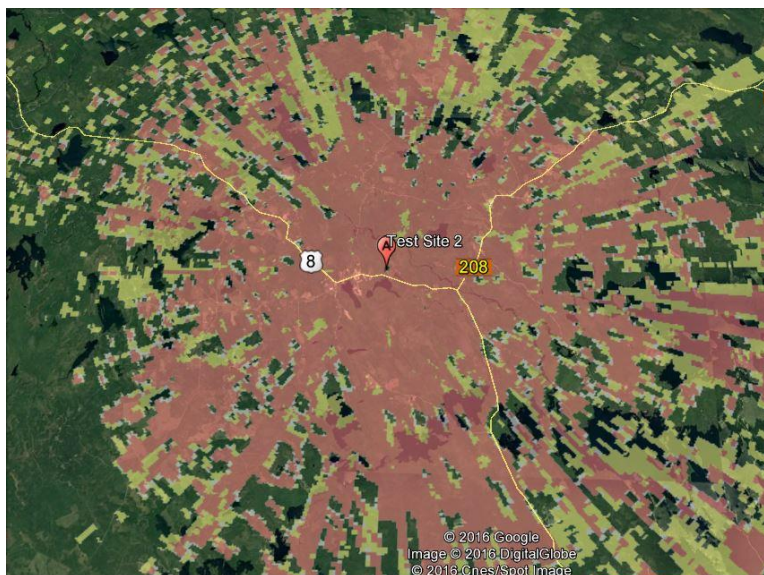
²¹ Autoridad Canadiense de Registro de Internet.

Figura 14. Ganancia de Antena 8 dBi TVWS 497Mhz



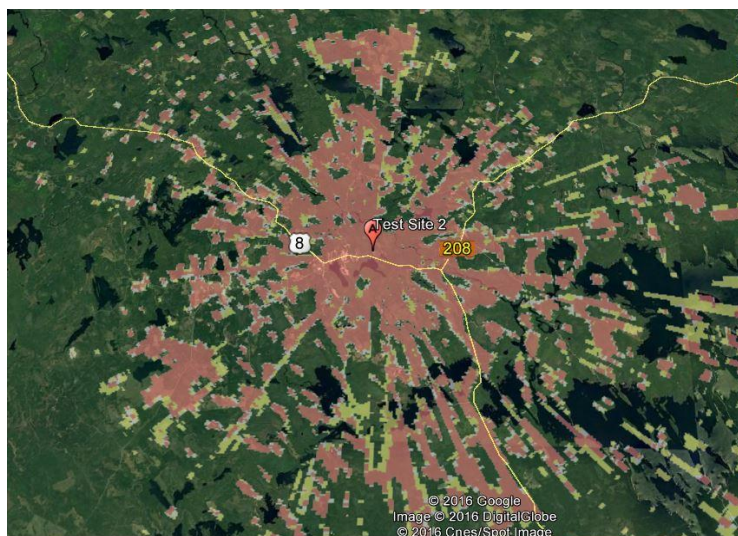
Fuente: <http://queenstvws.com/TVWS%20Coverage%20New.htm>

Figura 15. Ganancia de Antena 15 dBi TVWS 497Mhz



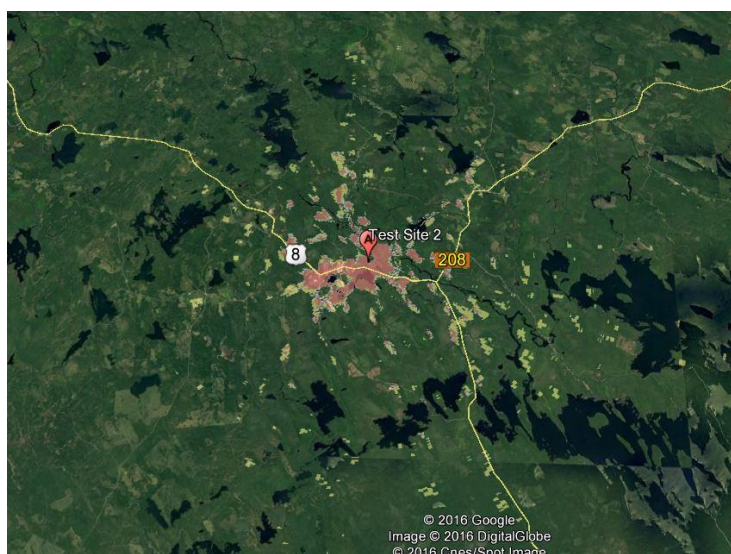
Fuente: <http://queenstvws.com/TVWS%20Coverage%20New.htm>

Figura 16. Ganancia de Antena 15 dBi 900Mhz.



Fuente: <http://queenstvws.com/TVWS%20Coverage%20New.htm>

Figura 17. Ganancia de Antena 25 dBi 3.65Ghz.



Fuente: <http://queenstvws.com/TVWS%20Coverage%20New.htm>

En el mapa de la Figura 17 se muestra la dificultad de obtener una cobertura útil utilizando bandas sin licencia de mayor frecuencia donde la cobertura se limita a apenas más de la línea de visión. Debido a los árboles, la cobertura útil está restringida a un área pequeña alrededor de la torre. Para la construcción de estos mapas utilizaron datos exhaustivos de sus propios ensayos TVWS para corregir los supuestos de entrada y tener un alto nivel de confianza con los resultados.

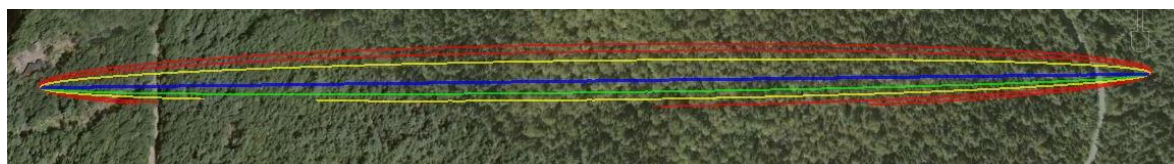
En estos casos asumieron que la potencia de transmisión se ha ajustado para proporcionar la máxima potencia legal (36dBm) con una antena particular, por lo que la cobertura está limitada por la capacidad de los módulos de suscriptor de escuchar la estación base. A continuación, se muestra un enlace de radio con dispositivos TVWS realizado entre sitios de las zonas de cobertura mostradas anteriormente:

1.11.4.2. Prueba 1: Prueba de Enlace de Radio desde Pretty Mary Lake hasta Hillsborough Rd

- Base: 44.46684N -65.15308W antena Altura 14 m, 8dBm Yagi, altura del árbol 60 pies
- Móvil: 44.4678N 65.1425W, altura de la antena 8 m, altura del árbol Yagi de 8dBm 60 pies

Aunque es una prueba muy desafiante, la ruta de la señal se compone casi completamente de pino denso, el tipo que es imposible de recorrer y difícil de ver. Además, las antenas están muy por debajo de las copas de los árboles y cerca de ellas, lo que dificulta que las antenas funcionen según lo previsto.

Figura 18. Enlace de radio desde Pretty Mary Lake hasta Hillsborough Rd



Fuente: <http://queenstvws.com>

El enlace de acuerdo con la distancia del enlace de Google Earth 0.855 kilómetros de elevación y follaje a continuación. El archivo KML que se abre en Google Earth está disponible para aquellos que deseen observar detalladamente el terreno y la vegetación.

Figura 19. Datos del enlace de radio simulado en Radio Mobile

Azimuth=262.75°	Elev. angle=-0.481°	Clearance at 0.74km	Worst Fresnel=0.5F1	Distance=0.855km
Free Space=84.9 dB	Obstruction=2.5 dB TR	Urban=0.0 dB	Forest=19.9 dB	Statistics=4.2 dB
Path Loss=111.5dB (4)	E field=55.7dBμV/m	Rx level=68.5dBm	Rx level=84.40μV	Rx Relative=31.5dB
44°28'00.6"N 065°09'11.1"W				

Transmitter 44°28'04.1"N 065°08'33.0"W	Receiver 44°28'00.6"N 065°09'11.1"W
600M 10m mobile	600M 15m Base
Role: Slave	Role: Master
Tx system name: 600 Yagi mobile	Rx system name: 600 Yagi mobile
Tx power: 0.7943 W	Required E Field: 24.14 dBμV/m
Line loss: 1 dB	Antenna gain: 8 dBi
Antenna gain: 8 dBi	Line loss: 1 dB
Radiated power: EIRP=3.98 W	Rx sensitivity: 2.2387μV
Antenna height (m): 14	Antenna height (m): 8
Net: 600M net	Frequency (MHz): Minimum 494, Maximum 500

Fuente: <http://queenstvws.com>

Figura 20. Resultados medidos de la página de estado de la estación base.

Channel	CH 18 (497 MHz)	Config
Tx State / Tx Power	GWS_Ready / 29 dBm	Config
Temperature	39.00 C	
Channel Bandwidth	6	
System Up Time	14:40	
Free Memory	MemFree: 37412 kB	

Connection Status

IP/MAC	RSSI / Noise Floor / SNR	Tx Rate / Modulation / Tx Packets	Rx Rate / Modulation /
192.168.10.201	-81 dBm / -103 dBm / SNR 22 80 ms ago	10.0 MBit/s, MCS 4, short GI 9809 Pkts.	7.0 MBit/s, MCS 3, short

Fuente: <http://queenstvws.com>

Figura 21. Resultados medidos de la página Estado de CPE móvil.

Channel	CH 18 (497 MHz)	Config
Tx State / Tx Power	GWS_Ready / 29 dBm	Config
Temperature	39.00 C	
Channel Bandwidth	6	
System Up Time	47 min	
Free Memory	MemFree: 37364 kB	

Connection Status

IP/MAC	RSSI / Noise Floor / SNR	Tx Rate / Modulation / Tx Packets	Rx Rate / Modulation /
ac:ee:3b:02:18:8b	-78 dBm / -103 dBm / SNR 25 950 ms ago	10.0 MBit/s, MCS 4, short GI 9102 Pkts.	10.0 MBit/s, MCS 4, sho

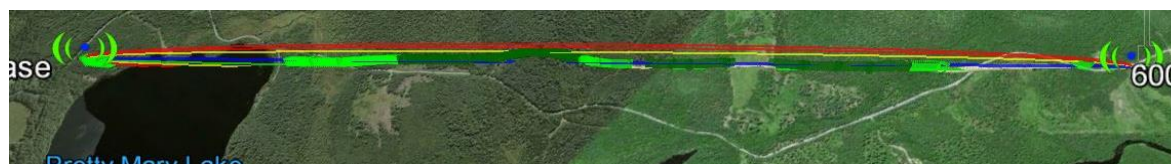
Fuente: <http://queenstvws.com>

1.11.4.3. Prueba 3: Pretty Mary Lake casa a Northfield Rd

- Base: 44.4669N -65.153W, Antena Altura 14 m, altura del árbol 20 m.
- Móvil: 44.4452N -65.1914W, Antena altura 9 m, altura del árbol 10 m.

Este enlace es interesante porque ilustra cómo es posible un enlace a pesar de que hay una pequeña colina en la ruta de la señal, es una de las principales ventajas de las características de propagación ofrecidas por las frecuencias más bajas que emplea TVWS. El enlace de acuerdo con la distancia de enlace de Google Earth 3.88 km de elevación y follaje a continuación.

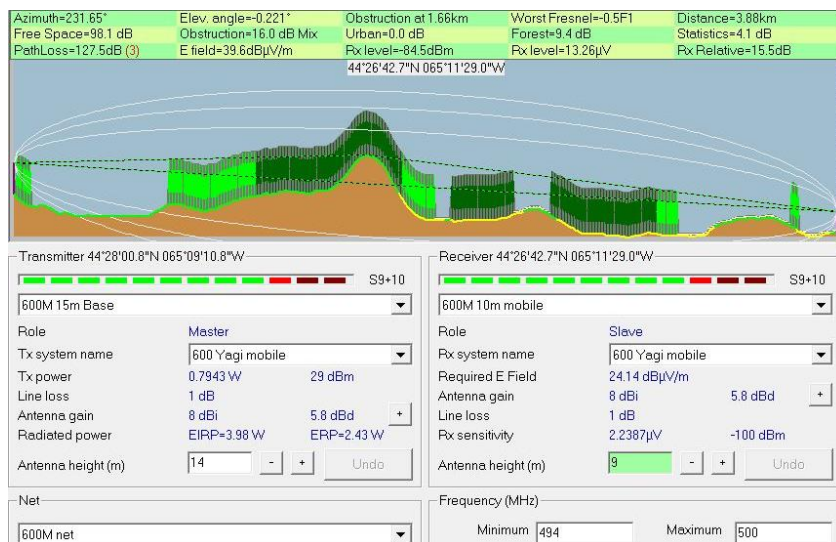
Figura 22. Enlace de Radio Pretty Mary Lake casa a Northfield Rd.



Fuente: <http://queenstvws.com>

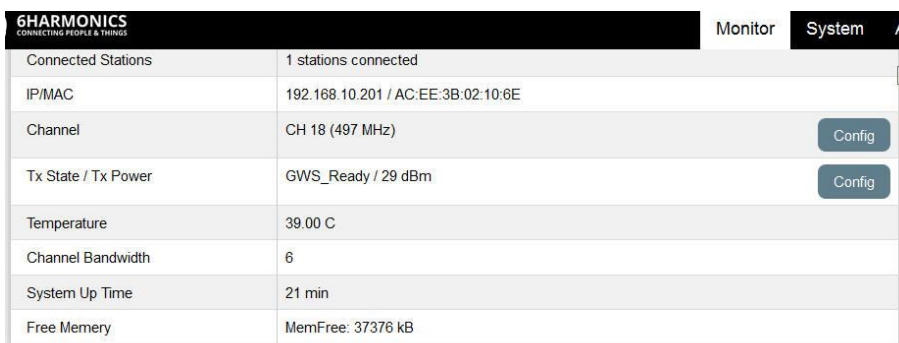
En este ensayo la trayectoria de la línea de visión directa (línea azul) está 12.6 m por debajo de la superficie de la colina que está cubierta con 20m de árboles, según la descripción se asegura que no hay forma de que un enlace como este funcione con equipos multi Giga Hertz.

Figura 23. Datos del enlace de radio simulado en Radio Mobile.



Fuente: <http://queenstvws.com>

Figura 24. Resultados medidos de la página Estado de CPE móvil



Connection Status

RSSI / Noise Floor / SNR	Tx Rate / Modulation / Tx Packets	Rx Rate / Modulation / Rx Packets
-83 dBm / -103 dBm / SNR 20 30 ms ago	7.0 MBit/s, MCS 3, short GI 11028 Pkts.	7.0 MBit/s, MCS 3, short GI 25532 Pkts.

Fuente: <http://queenstvws.com>

Figura 25. Resultados medidos de la página de estado de la estación base.

6HARMONICS CONNECTING PEOPLE & THINGS		Monitor	System
Channel	CH 18 (497 MHz)		Config
Tx State / Tx Power	GWS_Ready / 29 dBm		Config
Temperature	38.00 C		
Channel Bandwidth	6		
System Up Time	19:00		
Free Memory	MemFree: 37400 kB		

Connection Status		
RSSI / Noise Floor / SNR	Tx Rate / Modulation / Tx Packets	Rx Rate / Modulation / Rx Packets
-84 dBm / -103 dBm / SNR 19 80 ms ago	7.0 MBit/s, MCS 3, short GI 18698 Pkts.	6.0 MBit/s, MCS 3 13952 Pkts.

Fuente: <http://queenstvws.com>

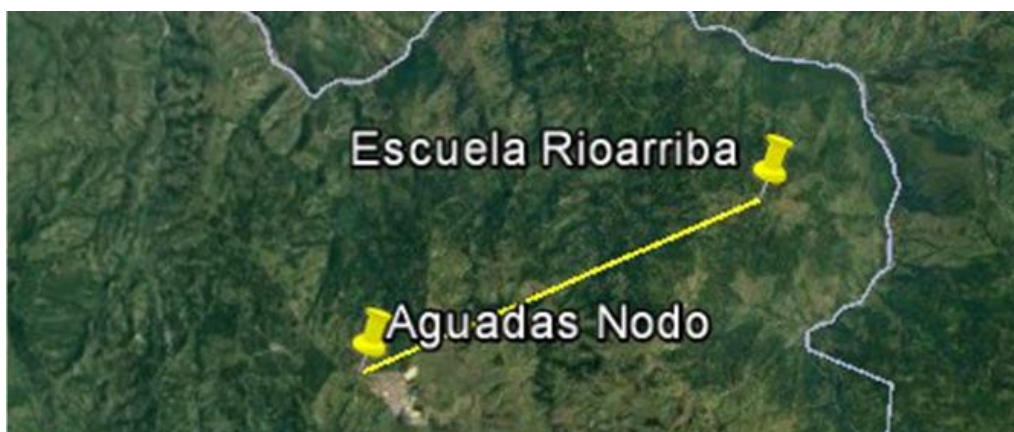
En el sitio web citado en este apartado se encuentra información más completa y detallada de las pruebas realizadas en North Queens, así como imágenes fotográficas tomadas en los sitios de pruebas y los archivos .kmz para ver en detalles los resultados de las simulaciones en Google Earth.

1.11.5. Pilotos TVWS en Colombia

Pilotos comerciales y ensayos: Durante más de 5 años, Microsoft ha estado trabajando con socios de la industria y del gobierno en todo el mundo para demostrar la viabilidad y el potencial de Dynamic Spectrum y TVWS. La viabilidad de la tecnología se ha comprobado en más de una docena de ensayos y despliegues comerciales en todo el mundo, desde pueblos remotos de África hasta los densos centros urbanos de Asia [30].

En las montañas de Colombia, Adaptrum & Microsoft ha lanzado un proyecto TVWS para llevar Internet a las partes más remotas del país. Mucho más allá de donde la fibra puede ser desplegada económicamente, el proyecto inicialmente proporciona conectividad a escuelas remotas en el pueblo de Río Arriba en el municipio de Aguadas, Caldas. Para los 135 estudiantes allí, la solución TVWS permite el acceso a nuevos contenidos y la capacidad de conectarse con otros estudiantes; para los maestros, les permite aprovechar las nuevas herramientas e ideas en línea. Apodada "internet de bambú" después de la pértiga de bambú de seis metros de altura donde se montan las antenas, la nueva conexión a Internet de White Space TV ya está ayudando a mejorar las experiencias en el aula en Colombia. "¡Esto revolucionará la educación en Colombia! Este es el país que queremos construir, en paz, con equidad y mejor educado ", dijo Juan Manuel Santos, presidente de Colombia. [31].

Figura 26 Prueba piloto Aguadas Caldas



Fuente: Espacios en Blanco en Colombia, Ing. Carolina Daza Tache. ANE.

La geografía colombiana plantea una serie de retos a la hora de llevar soluciones de conectividad por cable a las instituciones educativas ubicadas en zonas rurales; así es como, dentro del proyecto Go Big se establece un componente de conectividad asequible mediante tecnologías TV White Spaces, entendida como las frecuencias en las bandas de radiodifusión UHF de televisión que no han sido asignadas o que no están siendo utilizadas por los operadores existentes [32].

Así mismo se realizaron pruebas piloto en los siguientes municipios:

- **Dibulla – La Guajira**

Escuela conectada: Institución Educativa Punta de los Remedios

Dispositivos: Adaptrum

Cantidad de estudiantes: 56

Distancia de enlace: 5.5km

Figura 27. Prueba piloto Dibulla La Guajira



Fuente: Espacios en Blanco en Colombia, Ing. Carolina Daza Tache. ANE.

- **Pamplonita – Norte de Santander**

Escuela conectada: Centro Educativo sede El Páramo (Vereda El Páramo)

Dispositivos: 6Harmonics
 Cantidad de estudiantes: 64
 Distancia de enlace: 4km

Figura 28. Prueba Piloto Pamplonita Norte de Santander.



Fuente: Espacios en Blanco en Colombia, Ing. Carolina Daza Tache. ANE.

1.11.5.1. Pruebas de Laboratorio

Fue necesario determinar las interferencias causadas por los dispositivos de espacios en blanco a los sistemas de televisión. Debido a que los sistemas de televisión varían entre países, dichas interferencias serán diferentes en cada país.

Para determinar las interferencias fue necesario realizar mediciones en entornos controlados con varios televisores y varios dispositivos de espacios en blanco.

El resultado de estas mediciones fue un insumo para que la base de datos de espacios en blanco determine los canales disponibles para los dispositivos.

Objetivos de las pruebas:

1. Medir los márgenes de protección para todos los posibles escenarios. Las variables que determinan los escenarios son:
 - Sistema de televisión (DVB-T2 y NTSC-M en Colombia)
 - Parámetros de cada sistema de televisión (Modulación, FEC)
 - Separación en frecuencia entre TV y TVWS (0, ± 6 , ± 12 y ± 18 MHz)
 - Potencia de la señal de televisión (alta, media, baja)

2. Medir los márgenes de protección para diferentes televisores y diferentes dispositivos de espacios en blanco, ya que el desempeño de cada marca de televisor y de dispositivo influye en los márgenes de protección.

Figura 29. Pruebas de laboratorio.



Fuente: Espacios en Blanco en Colombia, Ing. Carolina Daza Tache. ANE

Lecciones aprendidas:

- La interferencia al servicio de televisión generada por un dispositivo de espacios en blanco es muy similar a la generada entre estaciones de televisión.
- La sensibilidad de los televisores a interferencias varía de forma considerable entre marcas y modelos. La ANE empleará los márgenes de protección para proteger al televisor más sensible.
- Se detectó posibilidad de interferencias en el segundo y tercer canal adyacente. La ANE considerará esto para garantizar la protección contra interferencias a la TV.

1.12. MARCO LEGAL: REGLAMENTACION DE COLOMBIA FRENTE A LA UTILIZACION DE LOS ESPACIOS EN BLANCO

Esta sección se basa de un fragmento extraído de la tesis de Maestría en Telecomunicaciones de Julián Aránzazu ‘Cap. 2. Reglamentación, Programas e Iniciativas del estado Colombiano frente a la utilización de Espacios en Blanco’ [33].

De acuerdo con Martha Suárez, directora de la ANE, “los espacios en blanco de Televisión (TV) son canales no usados por la TV en algunas zonas geográficas, que se pueden emplear para otras aplicaciones, sin causar interferencia ni reclamar protección con respecto a la TV”, dicha funcionaria durante la presentación del Congreso Internacional de TIC²² 2016 (ANDICOM), dijo

²² Realizado en Cartagena de Indias, Colombia 2016

que en Colombia un televisor ubicado en cualquier municipio puede visualizar los canales²³ que se muestran en la siguiente imagen:

Figura 30. Canales análogos visualizados en Colombia, según el Municipio.

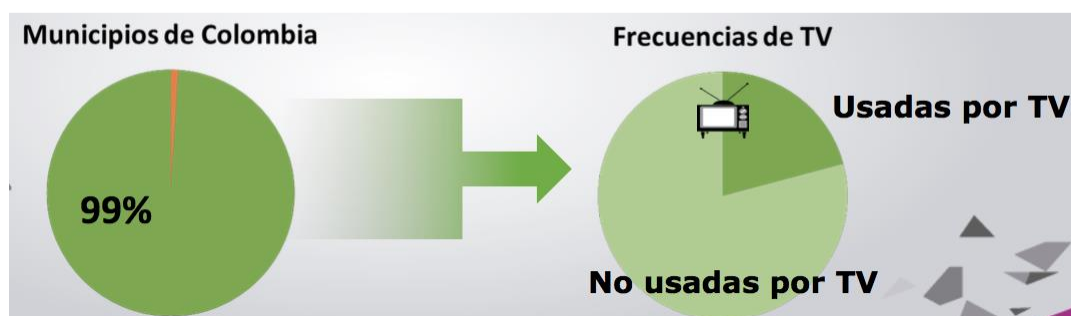


Fuente: ANDICOM, 2016.

Como se aprecia en la Figura 30, en este municipio se visualizarían correctamente los canales 30, 31, 34, 35, 36 y 39; sin embargo, los canales 29, 32, 33, 38 y 40 no. Lo anterior debido que estos últimos son los denominados “Espacios en Blanco”, utilizados preponderantemente en frecuencias VHF y/o UHF.

Como se ha dicho anteriormente, el 99% de los municipios de Colombia la TV utiliza solo 10 de los 36 canales disponibles, por lo que hay una gran cantidad de Espacios en Blanco. A continuación, se presenta de manera gráfica la ocupación de las frecuencias de televisión usadas en el territorio colombiano:

Figura 31. Grado de ocupación de las frecuencias de TV en Colombia.



Fuente: ANDICOM, 2016.

Las investigaciones y desarrollos al respecto, como los liderados por entidades como la Universidad Rice de Houston (EE.UU), la Universidad de Wisconsin- Madison (EE.UU) o empresas

²³ Dependiendo de la localización del municipio y de las características geográficas de la región, los canales visualizados pueden variar.

como Microsoft, han demostrado como los espacios en blanco ubicados en las frecuencias de UHF pueden ser utilizadas para la transmisión de datos sin generar interferencias en las frecuencias utilizadas por los servicios mencionados. Asimismo, se ha demostrado que los dispositivos de baja potencia pueden operar dentro de las frecuencias de estos espacios.

1.12.1. Despliegue

La disponibilidad y la aplicación de los TVWS dependen de varios factores clave, Gómez (2014) indica que la disponibilidad está influenciada por:

- La frecuencia: canales libres diseñados a propósito en las bandas de TV, que varían según las regiones.
- El despliegue: la altura y ubicación de la antena de transmisión del TVWS y sus sitios de instalación en áreas fuera de la actual cobertura televisiva prevista, incluidas las actuales señales de radiodifusión.
- El tiempo: disponibilidad de los emisores de radiodifusión autorizada durante periodos de tiempo, sujetos a cambios por parte del organismo de radiodifusión televisiva.

Como se ha expuesto hasta el momento, las tecnologías de televisión analógica, han requerido de porciones valiosas del espectro para su correcto funcionamiento, y que, en la actualidad se están aprovechando gracias a las investigaciones en la materia y en la transición de la TV analógica a la digital. En la última década, Colombia inició un proceso de migración a la televisión digital, el cual es conocido como “apagón analógico”. Dicho proceso consiste en dejar de emitir la televisión analógica colombiana y optar por medios o señales digitales, aprovechando las condiciones técnicas que posee la televisión digital terrestre, como mayor calidad, interactividad, desarrollo de nuevos servicios y uso más eficiente del espectro radioeléctrico.

Para llevar a cabo lo anterior, la Comisión Nacional de Televisión (CNTV) ahora llamada Autoridad Nacional de Televisión (ANTV), a través del Acuerdo 022²⁴ del 2012 en uno de sus considerandos propuso “llevar a cabo el plan de reordenamiento del espectro de televisión y la planificación y asignación de frecuencias” procurando, entre otros, los siguientes criterios:

- Uso de la banda de frecuencias de 470 MHz a 512 MHz, correspondiente a los canales 14 a 20, preferiblemente para el servicio de televisión abierta radiodifundida en tecnología digital (TDT) de los canales nacionales y regionales, en lo posible, en todo el territorio nacional.
- Uso de la misma frecuencia para un determinado operador, en la mayor cantidad posible de municipios del país, en la banda de frecuencias de 470 MHz a 512 MHz,

²⁴ Del 4 de abril de 2012 “por medio del cual se establece y reglamenta la presentación del servicio público de televisión abierta radiodifundida digital terrestre -TDT-”

correspondiente a los canales 14 al 20, sin que sea necesario su funcionamiento como red de frecuencia única.

- Reordenar el espectro en las bandas de frecuencias 512 MHz a 698 MHz, correspondiente a los canales 21 al 51 y ajustar el plan de frecuencias, con el fin de facilitar la entrada del servicio de TDT.
- Liberar las frecuencias de la banda 698 MHz a 806 MHz, correspondiente a los canales 52 a 69, en la banda V de UHF, de acuerdo con el plan de migración establecido por el MinTic, con el fin de participar en la obtención del Dividendo Digital, como propósito nacional.
- Optimizar el uso del espectro en las bandas UHF para permitir la puesta en servicio de la TDT de operadoras locales sin ánimo de lucro, utilizando canales de 6 MHz, configurados en múltiplex digitales para la operación en grupos de cinco (5) licenciamientos por cada múltiplex.

Así las cosas, resulta conveniente resaltar los diferentes actores, en materia normativa y regulatoria de Colombia, como el MinTic, la ANE o la ANTV en torno a los temas como TVWS, TDT, brecha digital, y el Plan Vive Digital²⁵. Por lo anterior, en el siguiente apartado se realizará una descripción de aspectos regulatorios de espacios en blanco en Colombia, liderados por agencias gubernamentales competentes para tal fin.

1.12.2. Aspectos Regulatorios en Colombia Referente a Espacios en Blanco

Según el artículo 75 de la Constitución Política de Colombia, “el espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley”.

Para el caso del territorio colombiano, acorde con la Ley 1341 de 2009²⁶, el encargado de administrar el espectro radioeléctrico es el MinTic, el cual es asesorado por la ANE. Ésta, a su vez, realiza las funciones de ‘diseñar y formular políticas, planes y programas relacionados con la vigilancia y control del Espectro, en concordancia con las políticas nacionales y sectoriales y las propuestas por los organismos internacionales competentes, cuando sea del caso’.

Según Aránzazu (2017), dicha entidad, mediante la resolución 711 de 2016 estableció “las bandas de frecuencia de libre utilización dentro del territorio nacional”. Sin embargo, esta resolución no refirió los parámetros técnicos, los modos de operación, las aplicaciones, las bandas restringidas, los límites generales para radiadores intencionales ni las excepciones a estos de las frecuencias ubicadas en los espacios en blanco de televisión.

²⁵ El cuál es el Plan de Tecnologías de la información y las comunicaciones del gobierno para el periodo 2010 - 2018

²⁶ ‘Por el cual se definen los principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones -TIC- , se crea la Agencia Nacional del Espectro y se dictan otras disposiciones’

En virtud de lo anterior la ANE expidió la Resolución 461 del 1 de agosto de 2017 'Por la cual se modifica la Resolución 711 de 2016 mediante la adopción de las condiciones de uso de dispositivos de espacios en blanco', con lo cual pretende hacer un uso más eficiente del espectro e impulsar la conectividad en zonas rurales del país a través de la inclusión en el anexo de las bandas de frecuencias de uso libre en las bandas atribuidas al servicio de radiodifusión por televisión.

La Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017, por la cual se modifica la Resolución 711 de 2016, se sometió a los comentarios de diferentes actores del sector de las comunicaciones. Cabe aclarar que, la fecha límite de recepción de los aportes, sugerencias y demás comentarios fueron recibidos hasta el 31 de enero de 2017.

En la resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017 la ANE indica:

- Que la planeación y asignación del espectro radioeléctrico se realiza con base en las necesidades del país, el interés general y el desarrollo de la industria, con el fin de reducir la brecha digital, facilitar la inclusión social y darle soporte a los programas del Gobierno Nacional basados en el acceso a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, para lo cual el espectro radioeléctrico es un recurso fundamental, de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 4169 de 2011.
- Que en la actualidad muchos países están poniendo a prueba el uso de dispositivos que operan en los espacios en blanco, sin que ello requiera el otorgamiento de una licencia para el uso del espectro, sino mediante la exigencia de registrarse en una base de datos.²⁷
- Que, de acuerdo con el registro de frecuencias de televisión, el cual recopila todas las asignaciones del servicio de televisión radiodifundida en Colombia, actualmente en el 99% de los municipios se usan menos de 10 canales de los 36 disponibles en la banda UHF, lo que permite la utilización de esas frecuencias disponibles para otras tecnologías aprovechando sus ventajas de propagación.
- Que estas porciones de espectro radioeléctrico pueden ser utilizadas en forma libre por otros usuarios, siempre y cuando no interfieran el servicio de radiodifusión de televisión en las frecuencias que se hayan asignado o se asignen en el futuro.

En este sentido es importante aclarar que, el uso de TVWS puede abordarse mediante dos enfoques. El primero es por medio de la regulación que se emplee para la administración o gestión del recurso y el segundo a partir de la tecnología desarrollada por la industria.

²⁷ Cfr. OCDE. Perspectivas de la OCDE sobre la economía digital 2015. Pag. 225.

Desde el punto de vista de la gestión del recurso, la Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017 de la ANE incluye el siguiente anexo, a través de las “condiciones técnicas y operativas para la utilización de los dispositivos de espacios en blanco en la banda 470 – 698 MHz.”

1.13. DYNAMIC SPECTRUM ALLIANCE

La Alianza Dinámica del Espectro²⁸ (DSA por sus siglas en inglés) [28, p. 69] es una organización global que aboga por leyes y regulaciones que conduzcan a una utilización del espectro más eficiente y eficaz. Está conformada por multinacionales, empresas pequeñas y medianas y organizaciones académicas, de investigación y otras entidades a nivel mundial, las cuales trabajan para crear soluciones innovadoras que aumenten la cantidad de espectro disponible en beneficio de empresas y del público en general.

Entre las metas propuestas por la DSA, se encuentran: i) Cerrar la brecha digital, y ii) Habilitar el Internet de las Cosas, siendo éstos últimos de gran valor para el proceso transicional en el que se encuentra Colombia a través del Plan Vive Digital 2014-2018 liderado por el MINTIC, dado que las recomendaciones generadas por la entidad serán de libre adopción, según el criterio de cada país.

Así las cosas, resulta conveniente resaltar aquellas de las principales recomendaciones normativas propuestas por la DSA relacionadas con las TVWS, como las Normas y reglamentación técnica sugerida para el uso de Espacios Blancos de televisión.

1.13.1. Normas y reglamentación técnica sugerida para el uso de Espacios Blancos de televisión.

Para empezar a comentar algunas de las principales sugerencias aportadas por este modelo, resulta conveniente señalar elementos del espectro exento de licencia y algunos datos de su historia.

Para el caso del Estado colombiano, el espectro radioeléctrico se encuentra dividido en porciones diferentes del mismo que varían dependiendo del tipo de frecuencias en el que se esté emitiendo, como las UHF, es decir, aquellas contenidas entre los 300 MHz y los 3000 MHz. En este rango, se encuentran diferentes tipos de servicios (televisión, radio, comunicación móvil, entre otros), los cuales deben ser debidamente licenciados por las entidades o personas que deseen hacer uso de los mismos debiendo pagar montos que variarán dependiendo de la frecuencia y del servicio que deseen emplear. Sin embargo, existen porciones del espectro denominados ‘exentos de licencia’ de ‘uso libre’ o para ‘aficionados’, los cuales, para el caso del

²⁸ En su portal web: www.dynamicspectrumalliance.org

territorio colombiano, serán servicios de radiocomunicación que tendrán por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos efectuados por aficionados, siendo éstas, personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.

De acuerdo con la DSA, en el pasado, las licencias para las bandas de frecuencias y propósitos específicos dominaban la política gubernamental del espectro, en otras palabras, la mayoría de los servicios operantes en distintas bandas de frecuencias debían ser adquiridos monetariamente por los interesados. No obstante, en la última década, distintos gobiernos alrededor del mundo, incluido Colombia, han realizado labores tendientes a tomar el concepto de 'exento de licencia' (también conocido como espectro de uso libre). Un claro ejemplo de lo anterior, podrían ser las tecnologías WI-Fi operantes en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, muy populares en empresas, escuelas y hogares. En este caso, los reguladores no asignan licencias exclusivas, sino que propenden por proteger de interferencias a los demás servicios operantes en bandas similares, los cuales probablemente cuenten con licencias exclusivas de funcionamiento.

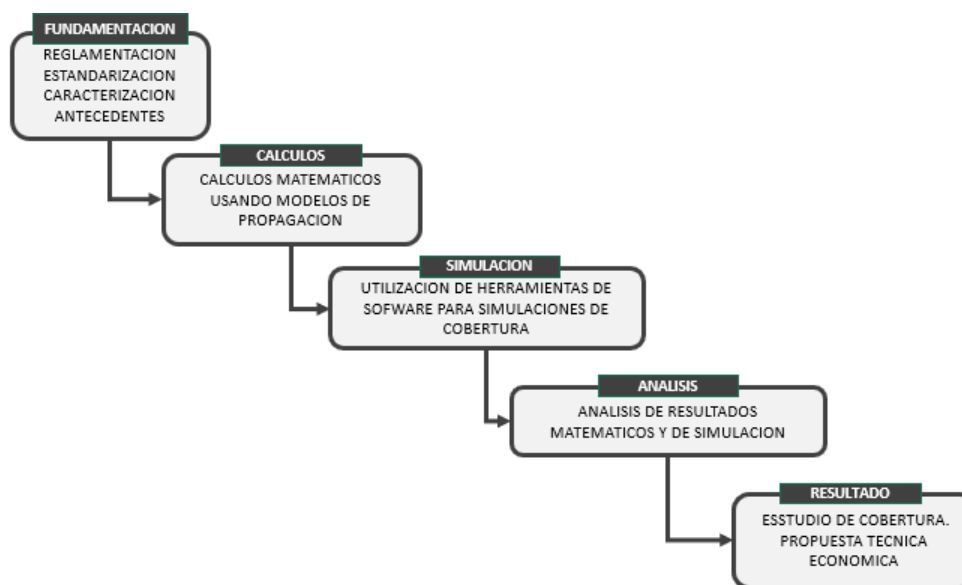
Ahora bien, para promover el uso de las porciones subutilizadas de los recursos en términos del espectro, la DSA propone, entre otros, el uso de los TVWS a través del uso no licenciado de estos, es decir, el no requerimiento de licencias exclusivas para operar en estas bandas de frecuencias provenientes de las tecnologías de difusión televisiva analógica.

En este sentido, la DSA ha realizado un documento²⁹, en el cual se describen ampliamente los elementos necesarios para la implementación de un modelo radioeléctrico que opere bajo los esquemas de los TVWS. Se hace necesario mencionar que, de acuerdo a Aránzazu (2017), se ha evidenciado que a través de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) en su propuesta regulatoria de TVWS, Colombia ha adoptado algunas de las recomendaciones sugeridas por el organismo internacional.

²⁹ http://dynamicspectrumalliance.org/wp-content/uploads/2016/07/Suggested-Technical-Rules-and-Regulations-for-the-use-of-TVWS_with-Annexes_SP.pdf

2. CAPITULO II. METODOLOGIA

Figura 32. Metodología.



Fuente: Elaboración Propia

Fundamentación: En primera instancia, este trabajo tiene su base en la lectura y revisión de diversas fuentes de información: artículos, publicaciones científicas, estándares internacionales, entre otras. Lo anterior para entrar en contexto en el tema, definir términos y características en el tema de los espacios en blanco de Televisión, conocer el estado del estado del arte, así como de los avances relacionados para el despliegue eficiente de dispositivos que trabajan según ese concepto, los enfoques sobre el tema en la actualidad y los actores más importantes para el desarrollo su tecnológico. La mayoría de las fuentes fueron consultadas a través de Internet.

Cálculos: En el proceso preliminar para la realización de los cálculos se realiza una simulación de cobertura de la banda UHF 470 – 698 MHz en un el sitio de prueba seleccionado para la ubicación de la estación base de cada propuesta para tener un estimado de los niveles de recepción en los diferentes territorios del municipio de Nunchía, la simulación fue realizada teniendo en cuenta el umbral de recepción de equipos TVWS disponibles en el mercado. Posteriormente los cálculos de las pérdidas por espacio libre, perdidas por trayecto y pérdidas por tierra plana.

Simulación: Se realiza diseño y simulaciones de la red de dispositivos TVWS que comprenden los estudios de cobertura en los sitios de pruebas seleccionados de acuerdo a los criterios que se especificaran en la sección de diseño. Se utilizaron las herramientas de simulación: Radio Mobile, Google Earth y Xirio-Online, para observar las zonas de cobertura, configurar los enlaces de radio y observar su comportamiento.

Análisis: En el apartado de análisis matemáticos y de simulación, se realiza la comparativa y validación de los resultados obtenidos por los dos métodos, se comparan los resultados

obtenidos de la potencia de recepción (Rx Level) para las dos propuestas. El análisis de resultados se divide en dos etapas, primero se comparan los resultados de la primera propuesta respecto a los cálculos, simulaciones en Radio Mobile y simulaciones en Xirio-online, para así obtener el análisis de la primera fase. En la segunda fase se hace de la misma forma que en la primera.

Resultado: De acuerdo al análisis de resultados, se realiza la elección de la propuesta más apropiada. Se realiza un análisis técnico de propuesta escogida, análisis tecnológico de los radios a utilizar, finalmente se presenta el análisis económico y conclusiones.

2.1. ESTUDIO DE COBERTURA

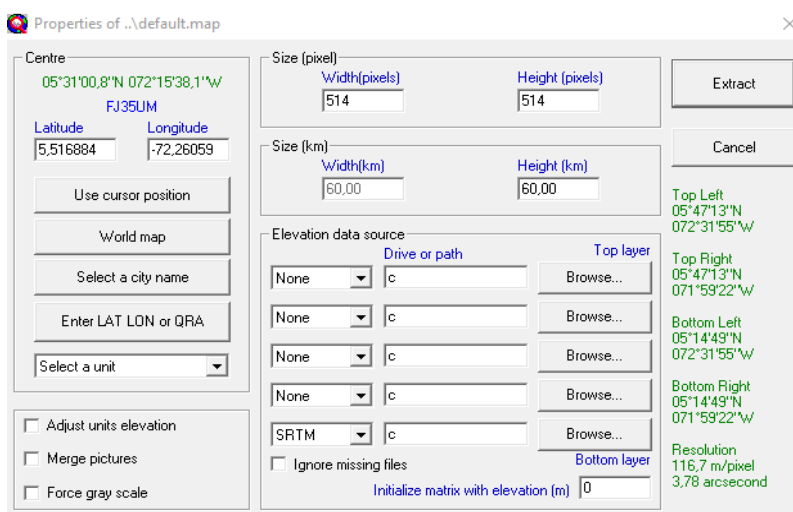
Se realizaron simulaciones de cobertura desde varios puntos para la ubicación de la estación base (BTS), para observar la propagación en varios terrenos. Finalmente se escogen puntos llamados ‘Cerro la Palmita’ y ‘Venados’ para la ubicación de la estación base de cada propuesta. De acuerdo a las zonas de donde se obtuvo huella de cobertura. Se escogen tres puntos para las estaciones cliente (CPE) ubicados en tres escuelas rurales de dicho municipio.

2.1.1. Importar Cobertura

Las imágenes que se guardan de Radio Mobile están preparadas para su uso en Google Earth. Esto se hace agregando un archivo a la imagen que contiene la información geo codificada de la imagen para su uso en Google Earth. La extensión para este archivo es KML. A continuación, se realiza una breve descripción de cómo crear un mapa de cobertura en Radio Mobile e importarlo para su análisis en Google Earth:

1. Crear un mapa de la zona de interés utilizando ‘Propiedades del mapa’ o el botón: 

Figura 33. Propiedades del mapa.



Fuente: Elaboración propia.


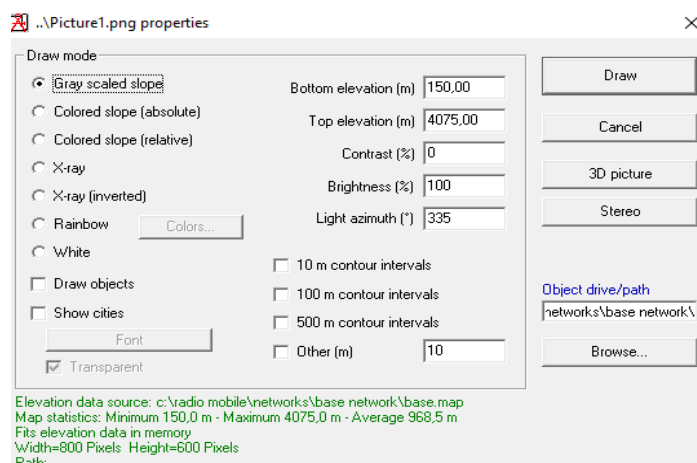
2. Ahora se tiene que volver a dibujar la ventana del mapa actual con configuraciones específicas para habilitar la transparencia en Google Earth. Google Earth trata el color blanco en un archivo PNG como transparente y no muestra este color ‘transparente’. Para crear una imagen que tenga un fondo de seguridad externo, el contraste y el brillo deben establecerse en los valores correctos. Se abre ‘Propiedades de imagen’ el botón:  se cambia los valores de Contraste a 0% y Brillo al 100%. Clic en dibujar.

Figura 34. Propiedades de Imagen.



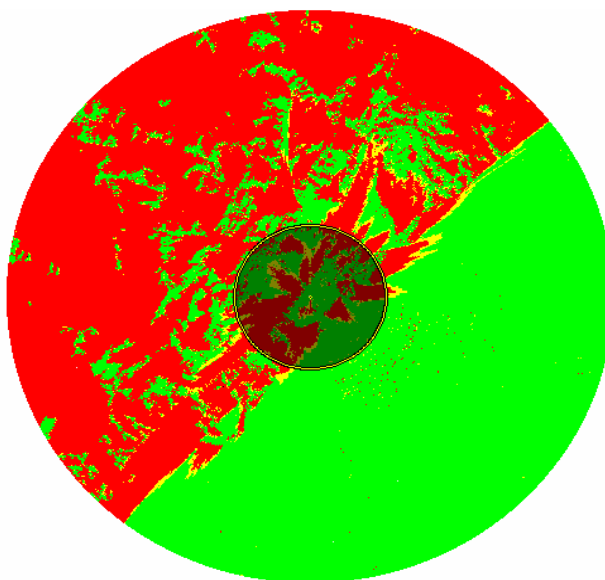
Fuente: Elaboración propia.

El resultado será un mapa con fondo blanco.

3. En el mapa blanco se crea el análisis según sea necesario. Esto puede ser cualquier análisis de radio móvil puede realizar: cobertura polar, Cobertura Cartesiana, la cobertura de interferencia, la cobertura visual, etc.

En este caso, se crea una cobertura polar y se muestra el área que cumple con los criterios mínimos de color verde.

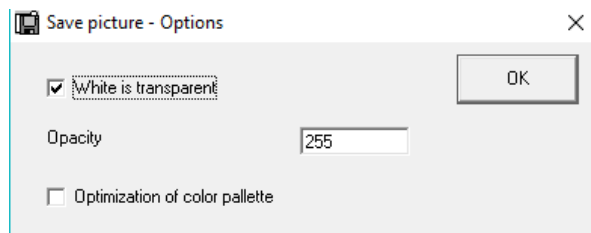
Figura 35. Simulación de Cobertura en Radio Mobile.



Fuente: Elaboración propia.

4. Se exporta el mapa como una imagen usando 'Archivo> Guardar imagen como' y se asigna un nombre apropiado. Al guardar la imagen, se debe establecer la transparencia como blanco.

Figura 36. Guardar imagen de cobertura .png



Fuente: Elaboración propia.

5. Iniciando Google Earth para cargar el estudio de cobertura.

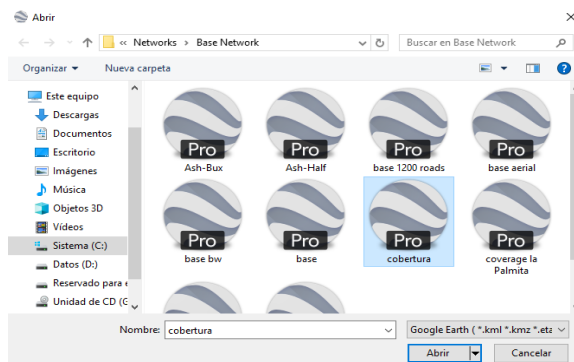
Figura 37. Iniciando en Google Earth.



Fuente: Elaboración propia.

6. Se ubica y carga el archivo KML que está asociado con la imagen guardada en el paso 4.

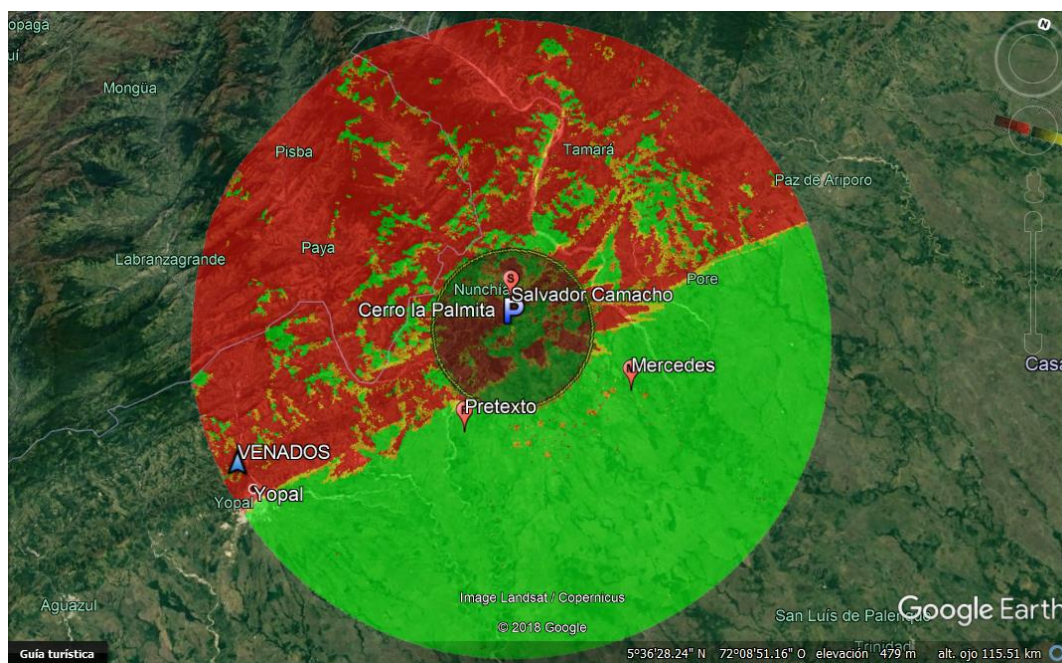
Figura 38. Carga de archivo 'cobertura.kml'.



Fuente: Elaboración propia.

7. Ahora la imagen con el análisis se cargará en Google Earth y la ventana principal se acercará al área que se exporta desde Radio Mobile.

Figura 39. Cobertura vista en Google Earth.



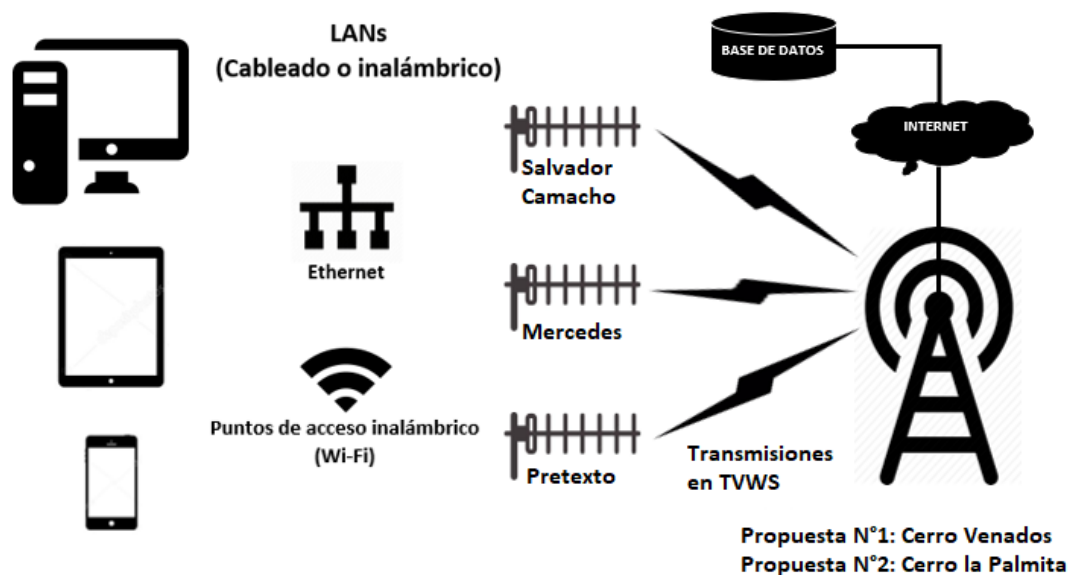
Fuente: Elaboración propia.

Lo bueno de Google Earth es que puede mirar al mundo en perspectiva. Esto ayuda mucho al analizar todas las áreas, incluso las desconocidas.

2.2. DISEÑO

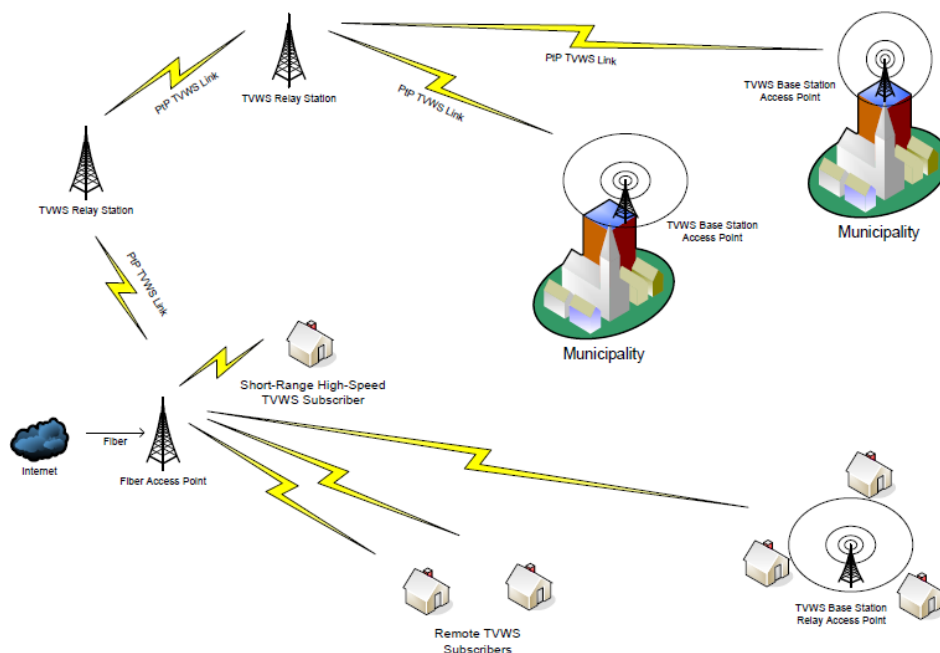
Para la conexión a internet de las instituciones educativas (Salvador Camacho, Mercedes y Pretexto) utilizando dispositivos TVWS, se realizara como se observa en el diseño de la Figura 27, para el sitio de ubicación de la estación base plantean dos propuestas (Propuesta N°1 y N°2) que se explicaran en los siguientes apartados de esta sección, también se propone la utilización de dispositivos TVWS de dos fabricantes (RedLine y 6Harmonics) que ofrecen diferentes características, principalmente en cuanto a la potencia de transmisión, las hojas de datos y características técnicas y tecnológicas se encuentran en el apartado 'Análisis Tecnológico'.

Figura 40. Diseño de la Red.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 41. Ejemplo de topologías de red de espacio en blanco de TV



Fuente: Carlson Wireless Technologies

2.2.1. PROPUESTA N° 1 – UBICACIÓN DE LA ESTACION BASE EN CERRO VENADOS

Este cerro se encuentra ubicado en el departamento de Casanare Municipio de Yopal, debido a su ubicación (Latitud: 5°21'12.42"N, Longitud: 72°25'14.68"O) y altura (904 m), tradicionalmente se ha utilizado para la instalación de antenas de comunicaciones, según el listado de los principales cubrimientos de cerros, presenta cubrimiento en los municipios de: Aguazul, Nunchía, Pore, San Luis de Palenque y Yopal, por tal motivo hago la escogencia de dicho cerro para la ubicación de la estación base, en la imagen se observa el terreno circundante característico de cerro Venados.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones – Propuesta N° 1

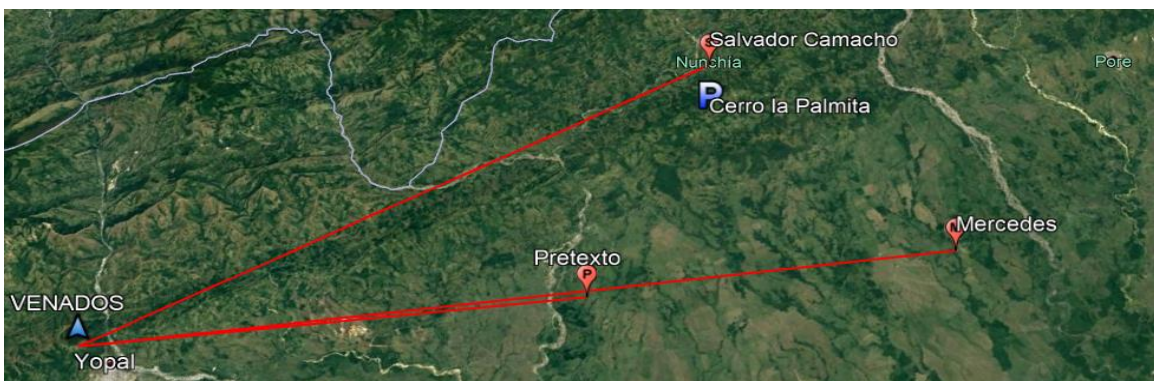
Tipo	Sitio	Latitud	Longitud	Altura (m)
TX	Venados	5°21'12.42"N	72°25'14.68"O	904
RX	Salvador Camacho	5°38'12.72"N	72°11'40.69"O	398
RX	Mercedes	5°34'52.27"N	72° 2'3.28"O	233
RX	Pretexto	5°28'49.64"N	72°11'53.88"O	255

Figura 42. Cerro Venados - Ubicación de Estación base para la Propuesta N°1



Fuente: Elaboración Propia

Figura 43. Red de la Propuesta N° 1 vista en Google Earth



Fuente: Elaboración Propia

2.2.2. PROPUESTA N° 2 – UBICACIÓN DE LA ESTACION BASE EN CERRO LA PALMITA

El sitio está a 762 m de altura. Ubicado en un cerro parcialmente despejado (Cerro La Palmita), El tipo y la altura de las montañas pueden marcar una diferencia significativa en la ruta de la señal, así que se ha hecho todo lo posible para mostrar esto en este trabajo, incluyendo imágenes de Radio Mobile y de Google Earth que permiten visualizar la ruta de la señal. En este sitio actualmente existe una estructura para la instalación de equipos de comunicaciones de aproximadamente 14 m, para efectos de simulación en este trabajo se usó una altura superior, 30 m, por tal motivo en la sección sección de estudio económico se incluída el valor para la construcción de una estructura de esta altura.

Tabla 2. Coordenadas de las estaciones – Propuesta N° 2

Tipo	Sitio	Latitud	Longitud	Altura (m)
TX	Palmita	5°36'27.51"N	72°10'59.67"O	762
RX	Salvador Camacho	5°38'12.72"N	72°11'40.69"O	398
RX	Mercedes	5°34'52.27"N	72° 2'3.28"O	233
RX	Pretexto	5°28'49.64"N	72°11'53.88"O	255

Figura 44. Cerro la Palmita - Ubicación de Estación base para la Propuesta N°2



Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Red de la Propuesta N° 2 vista en Google Earth



Fuente: Elaboración Propia

2.3. CALCULOS MATEMATICOS

FORMULAS

Perdidas por Espacio Libre (Formula 1).

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{km})$$

Fórmula 5. Longitud de onda.

$$\lambda = \frac{3 * 10^8 \text{m}}{f}$$

Fórmula 6. Parámetro de Fresnel.

$$V = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

Fórmula 7. Perdidas por filo de Navaja.

$$L_{KE} = -20 \log \left(\frac{0,225}{V} \right)$$

Perdidas por Trayecto (Formula 2).

$$L = P_{T(\text{dBw})} + G_{T(\text{dBi})} + G_{R(\text{dBi})} - P_{R(\text{dBw})} - L_{T(\text{dB})} - L_{R(\text{dB})}$$

Perdidas por tierra plana (Formula 4):

$$L_{PEL} = 40 \log r(\text{m}) - 20 \log h_m(\text{m}) - 20 \log h_b(\text{m})$$

$r(\text{m}) = \text{distancia}$

$h_m(\text{m}) = \text{altura del receptor (10 m)}$

$h_b(\text{m}) = \text{altura del transmisor (30 m)}$

En la tabla, se relacionan las potencias de recepción en dBm medidas en Radio Mobile, estos valores se usan para el cálculo de las perdidas por trayecto.

Tabla 3. Potencia de Recepción (dBm) – Rx Level medida en Radio Mobile

SITIO	PROPUESTA N° 1		PROPUESTA N° 2	
	VENADOS		PALMITA	
	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	-74,1	-79,4	-72,4	-80,4
Mercedes	-70,0	-76,2	-59,5	-67,5
Pretexto	-72,2	-77,4	-62,5	-70,5

En la Tabla se muestran las distancias entre la estación base en el cerro 'VENADOS' y los sitios de prueba, para realizar los cálculos de las pérdidas de espacio libre (formula 1), medidas con Google Earth, inicialmente desde la antena transmisora hasta las antenas de los clientes.

2.3.1. Perdidas Propuesta N° 1 - Cerro Venados

Tabla 4. Distancias entre las estaciones base y clientes

VENADOS – BTS	Distancia Km
SITIO – CPE	
Salvador Camacho	40,22
Mercedes	49,69
Pretexto	28,37

2.3.1.1. Redline - Venados – Calculo de Perdidas

CPE: Salvador Camacho

Perdidas por espacio Libre (Formula 1):

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{Km})$$

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(473) + 20 \log R(40,22)$$

$$\rightarrow L_F = 117,986 \text{ dB}$$

Perdidas por trayecto (Formula 2):

$$\text{Potencia de Transmision} \rightarrow P_{T(\text{dBw})} = P_{T(\text{dBm})} - 30 \rightarrow P_{T(\text{dBw})} = 31 \text{ dBm} - 30$$

$$P_{T(\text{dBw})} = 1$$

$$\text{Ganancia de Transmision} \rightarrow G_{T(\text{dBi})} = 11$$

$$\text{Ganancia de Recepción} \rightarrow G_{R(\text{dBi})} = 8$$

$$\text{Potencia en el receptor} \rightarrow P_{R(\text{dBw})} = -74,2 \text{ dBm} - 30 \rightarrow P_{R(\text{dBw})} = -104,2$$

$$\text{Perdidas en el Transmisor} \rightarrow L_{T(\text{dB})} = 0,5$$

$$\text{Perdidas en el Receptor} \rightarrow L_{R(\text{dB})} = 0$$

$$L = P_{T(\text{dBw})} + G_{T(\text{dBi})} + G_{R(\text{dBi})} - P_{R(\text{dBw})} - L_{T(\text{dB})} - L_{R(\text{dB})}$$

$$L = 1 + 11 + 8 - (-104,2) - 0,5 - 0$$

$$\rightarrow L = 123,7 \text{ dB}$$

Perdidas por tierra plana (Formula 4):

$$L_{PEL} = 40 \log r(m) - 20 \log h_m(m) - 20 \log h_b(m)$$

$$L_{PEL} = 40 \log(40220) - 20 \log(10) - 20 \log(30)$$

$$\rightarrow L_{PEL} = 134,635 \text{ dB}$$

2.3.1.2. 6Harmonics - Venados – Salvador Camacho

CPE: Salvador Camacho

Perdidas por espacio Libre (Formula 1):

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{Km})$$

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(473) + 20 \log R(40,21)$$

$$\rightarrow L_F = 117,983 \text{ dB}$$

Perdidas por trayecto (Formula 2):

$$\text{Potencia de Transmision} \rightarrow P_{T(\text{dBw})} = P_{T(\text{dBm})} - 30 \rightarrow P_{T(\text{dBw})} = 23 \text{ dBm} - 30$$

$$P_{T(\text{dBw})} = -7$$

$$\text{Ganancia de Transmision} \rightarrow G_{T(\text{dBi})} = 11$$

$$\text{Ganancia de Recepción} \rightarrow G_{R(\text{dBi})} = 8$$

$$\text{Potencia en el receptor} \rightarrow P_{R(\text{dBw})} = -76,0 \text{ dBm} - 30 \rightarrow P_{R(\text{dBw})} = -106$$

$$\text{Perdidas en el Transmisor} \rightarrow L_{T(\text{dB})} = 0,5$$

$$\text{Perdidas en el Receptor} \rightarrow L_{R(\text{dB})} = 0$$

$$L = P_{T(\text{dBw})} + G_{T(\text{dBi})} + G_{R(\text{dBi})} - P_{R(\text{dBw})} - L_{T(\text{dB})} - L_{R(\text{dB})}$$

$$L = -7 + 11 + 8 - (-106) - 0,5 - 0$$

$$\rightarrow L = 117,5 \text{ dB}$$

Perdidas por tierra plana (Formula 4):

$$L_{PEL} = 40 \log r(m) - 20 \log h_m(m) - 20 \log h_b(m)$$

$$L_{PEL} = 40 \log(40220) - 20 \log(10) - 20 \log(30)$$

$$\rightarrow L_{PEL} = 134,635 \text{ dB}$$

Tabla 5. Propuesta N°1 - Datos calculados de las perdidas

VENADOS - BTS SITIO - CPE	Perdidas por Espacio libre [L_F] (dBm)		Perdidas por trayecto [L] (dB)		Perdidas por tierra plana [L_{PEL}] (dB)	
	RL	6H	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	117,986	117,986	123,7	123,7	134,635	134,635
Mercedes	119,82	119,82	118,5	116,8	138,304	138,308
Pretexto	114,954	114,954	121,3	126,4	128,851	128,571

2.3.2. Perdidas Propuesta N°2 - Cerro la Palmita

Tabla 6. Distancias entre las estaciones base y clientes

PALMITA- BTS SITIO - CPE	Distancia Km
Salvador Camacho	3,48
Mercedes	16,74
Pretexto	14,23

2.3.2.1. Redline - Palmita – Calculo de Perdidas

CPE: Salvador Camacho

Perdidas por espacio Libre (Formula 1):

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{Km})$$

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(473) + 20 \log R(3.48)$$

$$\rightarrow L_F = 96,728 \text{ dB}$$

Perdidas por trayecto (Formula 2):

$$\text{Potencia de Transmision} \rightarrow P_{T(\text{dBw})} = P_{T(\text{dBm})} - 30 \rightarrow P_{T(\text{dBw})} = 31 \text{ dBm} - 30$$

$$P_{T(\text{dBw})} = 1$$

$$\text{Ganancia de Transmision} \rightarrow G_{T(\text{dBi})} = 11$$

$$\text{Ganancia de Recepción} \rightarrow G_{R(\text{dBi})} = 8$$

Potencia en el receptor $\rightarrow P_{R(dBW)} = -72,4 \text{ dBm} - 30 \rightarrow P_{R(dBW)} = -102,4$

Perdidas en el Transmisor $\rightarrow L_{T(dB)} = 0,5$

Perdidas en el Receptor $\rightarrow L_{R(dB)} = 0$

$$L = P_{T(dBW)} + G_{T(dBi)} + G_{R(dBi)} - P_{R(dBW)} - L_{T(dB)} - L_{R(dB)}$$

$$L = 1 + 11 + 8 - (-102,4) - 0,5 - 0$$

$$\rightarrow L = 121,9 \text{ dB}$$

Perdidas por tierra plana (Formula 4):

$$L_{PEL} = 40 \log r(m) - 20 \log h_m(m) - 20 \log h_b(m)$$

$$L_{PEL} = 40 \log(3480) - 20 \log(10) - 20 \log(30)$$

$$\rightarrow L_{PEL} = 92,120 \text{ dB}$$

2.3.2.2. 6Harmonics - Palmita – Calculo de Perdidas

CPE: Salvador Camacho

Perdidas por espacio Libre (Formula 1):

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log R(\text{Km})$$

$$L_F = 32,4 + 20 \log f(473) + 20 \log R(3,48)$$

$$\rightarrow L_F = 96,728 \text{ dB}$$

Perdidas por trayecto (Formula 2):

Potencia de Transmision $\rightarrow P_{T(dBW)} = P_{T(dBm)} - 30 \rightarrow P_{T(dBW)} = 23 \text{ dBm} - 30$

$$P_{T(dBW)} = -7$$

Ganancia de Transmision $\rightarrow G_{T(dBi)} = 11$

Ganancia de Recepción $\rightarrow G_{R(dBi)} = 8$

Potencia en el receptor $\rightarrow P_{R(dBW)} = -72,1 \text{ dBm} - 30 \rightarrow P_{R(dBW)} = -102,4$

Perdidas en el Transmisor $\rightarrow L_{T(dB)} = 0,5$

Perdidas en el Receptor $\rightarrow L_{R(dB)} = 0$

$$L = P_{T(dBW)} + G_{T(dBi)} + G_{R(dBi)} - P_{R(dBW)} - L_{T(dB)} - L_{R(dB)}$$

$$L = -7 + 11 + 8 - (-102,4) - 0,5 - 0$$

$$\rightarrow L = 113,9 \text{ dB}$$

Perdidas por tierra plana (Formula 4):

$$L_{PEL} = 40 \log r(m) - 20 \log h_m(m) - 20 \log h_b(m)$$

$$L_{PEL} = 40 \log(3480) - 20 \log(10) - 20 \log(30)$$

$$\rightarrow L_{PEL} = 92,120 \text{ dB}$$

Tabla 7. Propuesta N°2 - Datos calculados de las perdidas

PALMITA -BTS SITIO - CPE	Perdidas por Espacio libre [L_F] (dBm)		Perdidas por trayecto [L] (dB)		Perdidas por tierra plana [L_{PEL}] (dB)	
	RL	6H	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	96,728	96,728	121,9	113,9	92,120	92,120
Mercedes	110,372	110,372	116,8	109	138,308	119,407
Pretexto	114,954	108,961	108,9	112	119,407	116,585

2.3.3. CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCION

Tabla 8. Potencia de Recepción (dBm) – Rx Level medida en Radio Mobile

SITIO	VENADOS		PALMITA	
	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	-74,1	-79,4	-72,4	-80,4
Mercedes	-70,0	-76,2	-59,5	-67,5
Pretexto	-72,2	-77,4	-62,5	-70,5

FORMULAS

Fórmula 8. Potencia de recepción.

$$P_{r(w)} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$$

Fórmula 9. Conversión de $P_{r(w)} \rightarrow P_{r(dBw)}$

$$P_{r(dBw)} = 10 \log(P_{r(w)} * 10^{-9})$$

Fórmula 10. Conversión $P_{r(dBw)} \rightarrow P_{r(dBm)}$

$$P_{r(dBm)} = P_{r(dBw)} + 30$$

2.3.3.1. Propuesta N°1 - Cerro Venados

Tabla 9. Distancias en metros entre las estaciones base y clientes

VENADOS – BTS	Distancia
SITIO – CPE	$d_{(m)}$
Salvador Camacho	40220
Mercedes	49690
Pretexto	28370

2.3.3.1.1. Redline – Venados – Calculo de potencia de Recepción

Potencia de Transmision RL: $P_{t(dBm)} = 31 \rightarrow P_{t(w)} = 1,258$

Calculo CPE: Salvador Camacho

Utilizando la Formula 8: $P_{r(w)} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$

$$P_{r(w)} = \frac{1,258 * 11 * 8 * 0,634^2}{(4\pi)^2 * 40220^2}$$

$$P_{r(w)} = 0,174 * 10^{-9}$$

Conversión utilizando la Formula 9: $P_{r(w)} \rightarrow P_{r(dBw)}$

$$P_{r(dBw)} = 10\log(0,174 * 10^{-9})$$

$$P_{r(dBw)} = -97,594$$

Conversión utilizando la Formula 10: $P_{r(dBw)} \rightarrow P_{r(dBm)}$

$$P_{r(dBm)} = -97,594 + 30$$

$$\rightarrow P_{r(dBm)} = -67,594$$

2.3.3.1.2. 6Harmonics – Venados – Calculo de potencia de Recepción

Potencia de transmision 6H: $P_{t(dBm)} = 23 \rightarrow P_{t(w)} = 0,199$

Calculo CPE: Salvador Camacho

Utilizando la Formula 8: $P_{r(w)} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$

$$P_{r(w)} = \frac{0,199 * 11 * 8 * 0,634^2}{(4\pi)^2 * 40220^2}$$

$$P_{r(w)} = 0,027 * 10^{-9}$$

Conversión utilizando la Formula 9: $P_{r(w)} \rightarrow P_{r(dBw)}$

$$P_{r(dBw)} = 10\log(0,027 * 10^{-9})$$

$$P_{r(dBw)} = -105,686$$

Conversión utilizando la Formula 10: $P_{r(dBw)} \rightarrow P_{r(dBm)}$

$$P_{r(dBm)} = -105,686 + 30$$

$$\rightarrow P_{r(dBm)} = -75,686$$

Tabla 10. Potencia de Recepción Calculada para los sitios en la Propuesta N°1

VENADOS SITIO	$P_{r(dBm)}$	
	RL	6H
Salvador Camacho	-67,594	-75,860
Mercedes	-69,430	-77,447
Pretexto	-64,558	-72,596

2.3.3.2. Propuesta N°2 - Cerro la Palmita

Tabla 11. Distancias en metros entre las estaciones base y clientes

PALMITA – BTS SITIO – CPE	Distancia $d_{(m)}$
Salvador Camacho	3480
Mercedes	16740
Pretexto	14230

2.3.3.2.1. Redline – Palmita – Calculo de potencia de Recepción

Potencia de transmision RL: $P_{t(dBm)} = 31 \rightarrow P_{t(w)} = 1,258$

Ejemplo: Calculo de CPE: Salvador Camacho

Utilizando la Formula 8: $P_{r(w)} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$

$$P_{r(w)} = \frac{1,258 * 11 * 8 * 0,634^2}{(4\pi)^2 * 3480^2}$$

$$P_{r(w)} = 23,268 * 10^{-9}$$

Conversión utilizando la Formula 9: $P_{r(w)} \rightarrow P_{r(dBw)}$

$$P_{r(dBw)} = 10\log(23,268 * 10^{-9})$$

$$P_{r(dBw)} = -76,332$$

Conversión utilizando la Formula 10: $P_{r(dBw)} \rightarrow P_{r(dBm)}$

$$P_{r(dBm)} = -76,332 + 30$$

$$\rightarrow P_{r(dBm)} = -46,332$$

2.3.3.2.2. 6harmonics – Palmita – Cálculo de potencia de Recepción

Potencia de Transmision 6H: $P_{t(dBm)} = 23 \rightarrow P_{t(w)} = 0,199$

Ejemplo calculo CPE: Salvador Camacho

Utilizando la Formula 8: $P_{r(w)} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$

$$P_{r(w)} = \frac{0,199 * 11 * 8 * 0,634^2}{(4\pi)^2 * 3480^2}$$

$$P_{r(w)} = 3,680 * 10^{-9}$$

Conversión utilizando la Formula 9: $P_{r(w)} \rightarrow P_{r(dBw)}$

$$P_{r(dBw)} = 10\log(3,680 * 10^{-9})$$

$$P_{r(dBw)} = -105,686$$

Conversión utilizando la Formula 10: $P_{r(dBw)} \rightarrow P_{r(dBm)}$

$$P_{r(dBm)} = -84,340 + 30$$

$$\rightarrow P_{r(dBm)} = -54,340$$

Tabla 12. Potencia de Recepción Calculada para los sitios en la Propuesta N°2

PALMITA SITIO	$P_r(dBm)$	
	RL	6H
Salvador Camacho	-46,332	-54,34
Mercedes	-59,978	-67,986
Pretexto	-58,566	-66,575

2.4. SIMULACIONES

Se utilizó Radio Mobile para simular los enlaces punto a punto (PTT) y Xirio-Online para observar la ruta de la señal entre la estación base y cada una de las estaciones cliente, midiendo las predefinidas de acuerdo a las zonas de cobertura donde se encuentran ubicadas instituciones educativas con un número considerable de estudiantes, disponibilidad de equipos informáticos y servicio de energía eléctrica.

Con el uso de las herramientas de simulación descritas anteriormente, donde se tuvo en cuenta las características técnicas de los radios TVWS y de las antenas

Las simulaciones se realizaron de la siguiente manera:

- Simulaciones en Radio Mobile con las características de los dispositivos de Red Line Communications y 6Harmonics que servirán como soporte para la primera Propuesta.
- Simulaciones en Xirio-Online con las características de los dispositivos de Red Line Communications y 6Harmonics que servirán como soporte para la segunda Propuesta.

2.4.1. SIMULACIONES EN RADIO MOBILE

2.4.1.1. Ubicación de los puntos en Radio Mobile


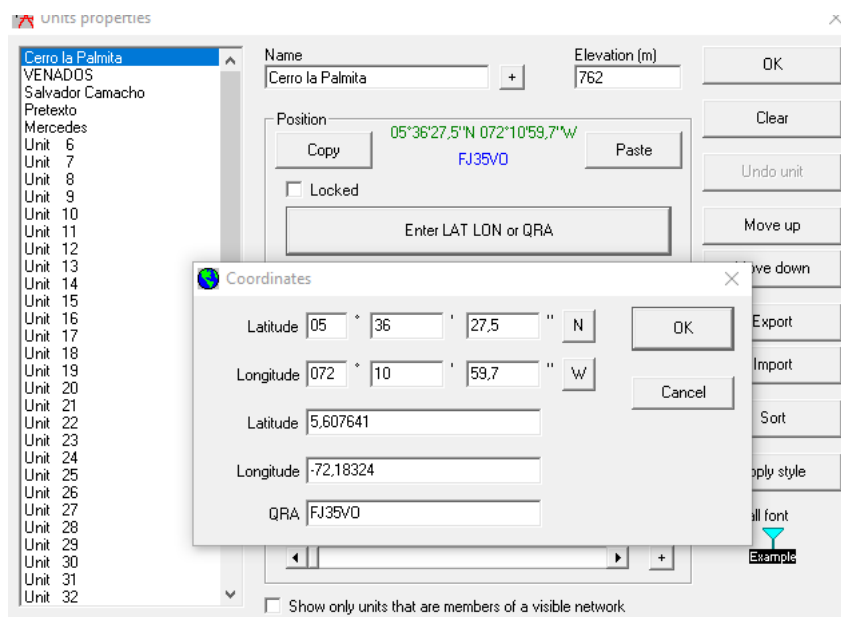
En el software Radio Mobile en 'Units properties'  se crean las unidades para cada uno de los sitios de las estaciones base (BTS) y clientes (CPE). En el botón 'Enter LAT LON or QRA' se ingresan los valores de georreferenciación: coordenadas en formato grados minutos y segundos (Tabla 1 Y 2), como se observa en la imagen:

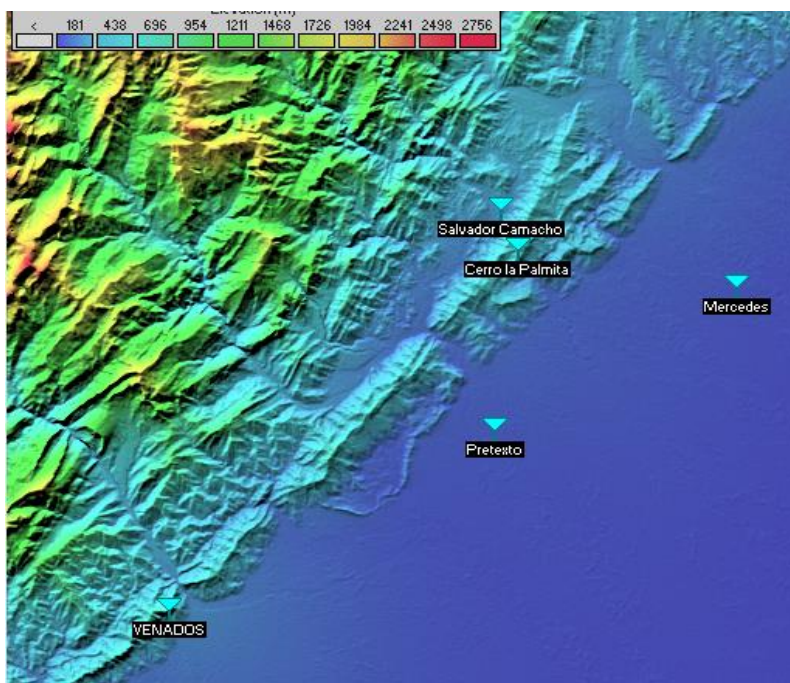
Figura 46. Creación de las unidades en Radio Mobile



Fuente: Elaboración Propia

En la figura se observa las coordenadas del sitio de prueba 'Cerro la Palmita' para estación base de la primera propuesta, que se usó para calcular la cobertura del sistema radiante. En la figura siguiente se observa la ubicación de las unidades en el mapa.

Figura 47. Ubicación de las unidades en Radio Mobile



Fuente: Elaboración propia.

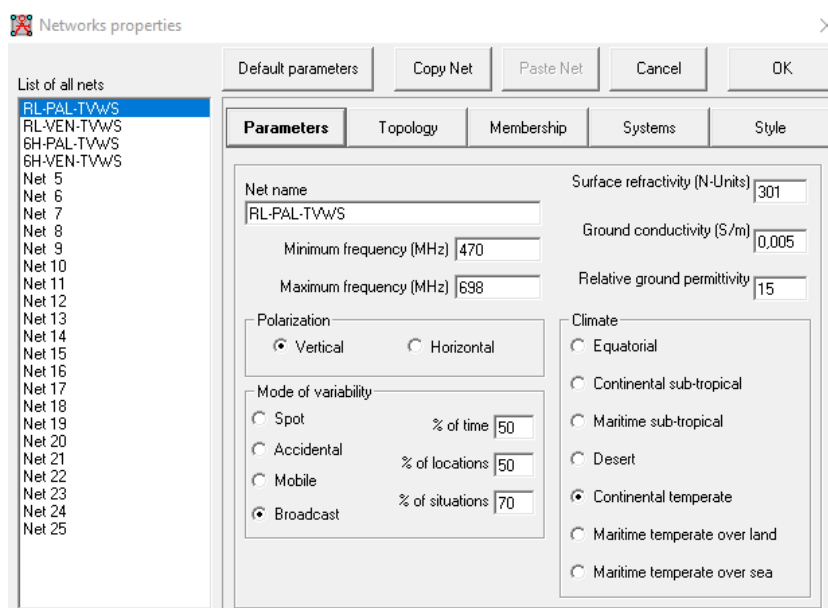
En la figura anterior se observa la distribución de los sitios: Cerro la Palmita, Venados, Salvador Camacho, Mercedes y Pretexto, como se mencionó anteriormente dichos se escogieron de acuerdo a las zonas de cobertura (Figura 47) en la banda de 470 – 698 MHz, con el fin de medir los niveles de potencia de recepción en cada uno de los sitios, así como las pérdidas por diferentes modelos de propagación.

2.4.1.2. Configuración de los parámetros de las Redes TVWS en Radio Mobile.

En 'Networks properties' se configuran los parámetros de las redes. De acuerdo a los sitios de ubicación para la estación base de cada propuesta: Propuesta N° 1 : VENADOS (VEN), Propuesta N° 2: PALMITAS (PAL) y de los dispositivos de los fabricantes a utilizar: N° 1 : REDLINE (RL) y N° 2 : 6HARMONICS (6H), trabajando en la banda TVWS (470 – 698 MHz).

Se configura el parámetro de frecuencia mínima y máxima, polarización, modo estadístico, tipo de clima, etc. Como se observa en la figura 35:

Figura 48. Configuración de parámetros de las redes



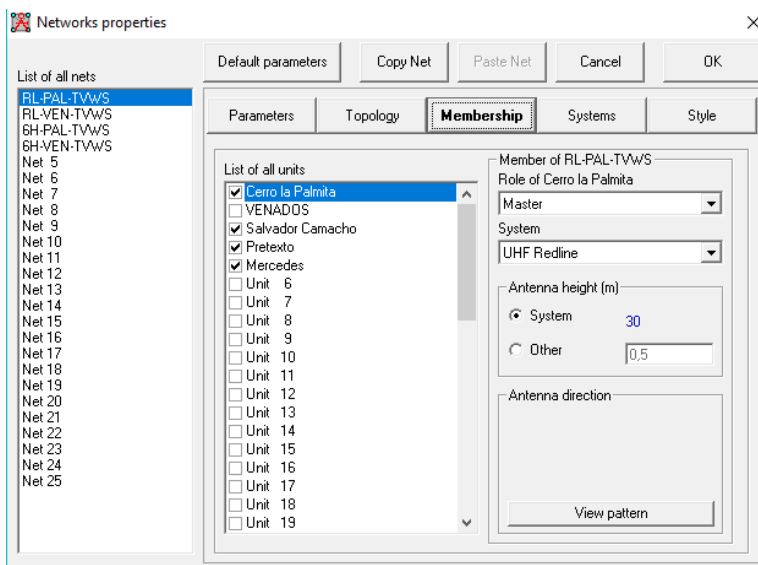
Fuente: Elaboración Propia

Se crearon las redes: Propuesta N° 1 → RL-VEN-TVWS, 6H-VEN-TVWS

Propuesta N° 2 → RL-PAL-TVWS, , 6H-PAL-TVWS

Se asigna el sistema configurado según las características técnicas del fabricante y el rol (Master o Slave) de la unidad en la pestaña 'Membership' (Figura 48), fue necesario crear cuatro redes ya que en una sola red no pueden establecerse dos unidades con el rol 'Master'.

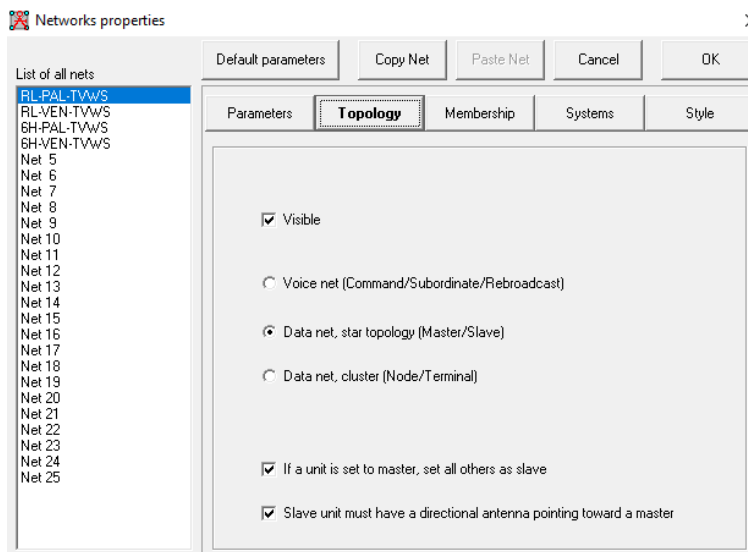
Figura 49. Asignación del Sistema de unidades en el Software Radio Mobile



Fuente: Elaboración Propia

En seguida se establece el tipo de topología, en términos de TVWS se trabaja con topología en estrella; dispositivos maestros y esclavos. Figura 37.

Figura 50. Configuración del tipo de Topología

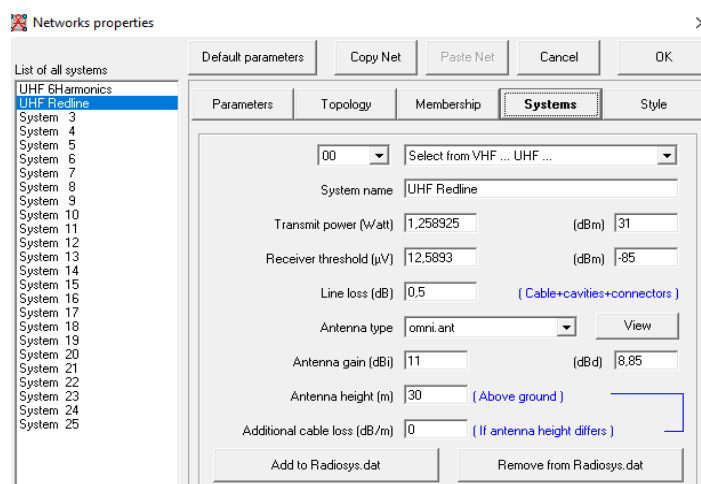


Fuente: Elaboración Propia

2.4.1.3. Configuración de los Sistemas en Radio Mobile

En la figura siguiente se observa la configuración de sistema, en este caso se crearon dos sistemas uno para cada fabricante, donde se establece la potencia de transmisión, el umbral de recepción, altura, tipo y ganancias de antena.

Figura 51. Configuración de los Sistemas



Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la figura anterior el Sistema 'UHF Redline' de configura el parámetro 'transmit power' en 31 dBm potencia de transmisión máxima del dispositivo de radio TVWS 'RDL-3000 XP Ellipse' de Redline Communications, el mismo parámetro en el sistema 'UHF 6Harmonics' en 23 dBm, potencia de transmisión máxima del dispositivo de radio TVWS 'GSW 4000 series' de 6Harmonis, datos soportados con las hojas de datos.

2.4.1.4. Análisis de las redes mediante enlaces de Radio

En esta sección se realiza la simulación de los enlaces de radio, de las propuestas N°1 y N°2, se incluyen tablas con los resultados obtenidos e imágenes de los radioenlaces entre los puntos, usando los dispositivos de los dos fabricantes.

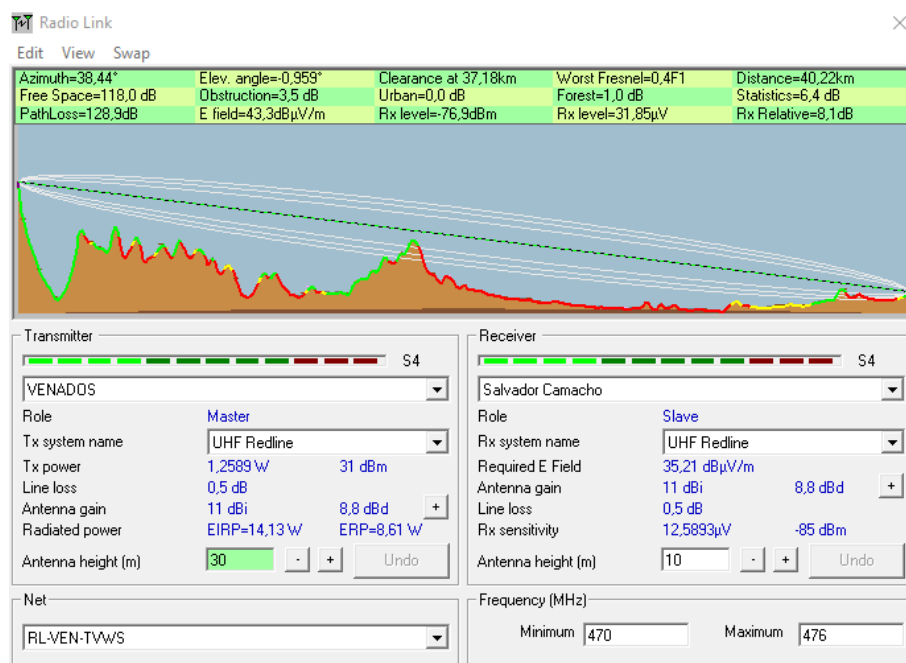
PROPUESTA N°1

En la Tabla 13 se muestran los datos obtenidos en las simulaciones para la propuesta N°1.

Tabla 13. Datos obtenidos en las Simulaciones usando Radio Mobile

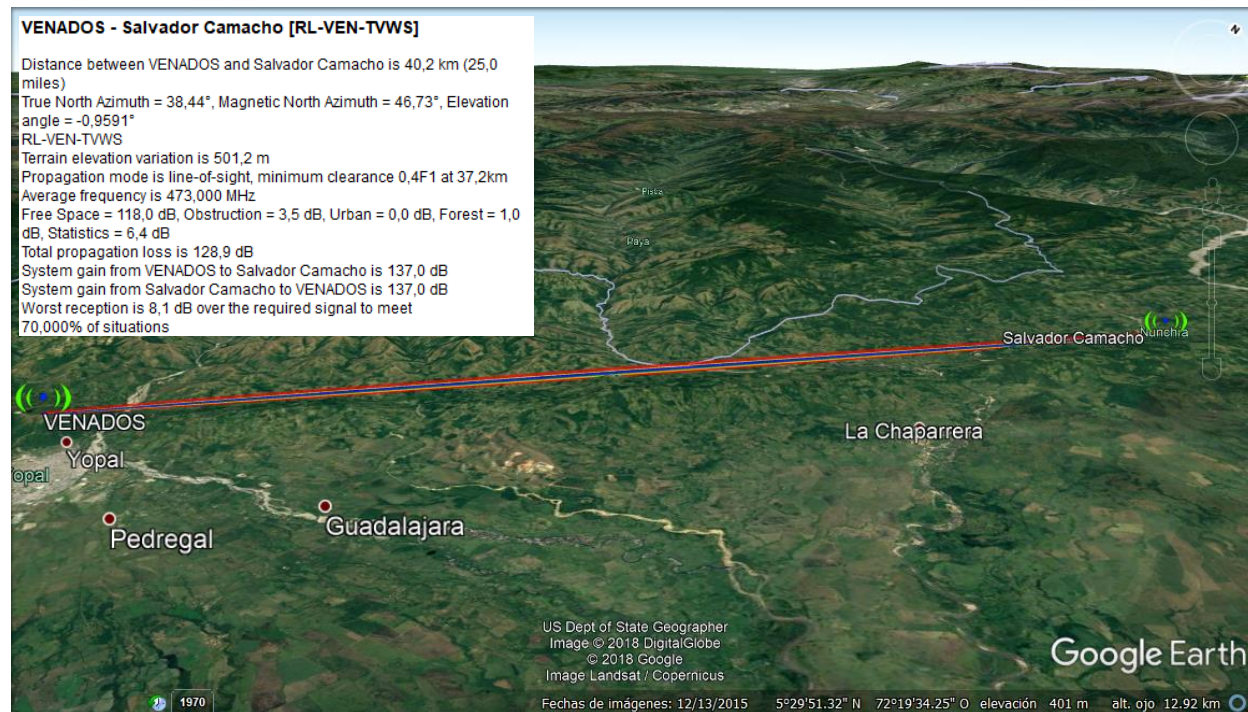
Receptores	Propuesta N° 1 – CERRO VENADOS												
	Azi- mut	Eleva- ción	Dist- Ancia (Km)	Perdidas (dB)		Espacio libre (dB)		Campo E. <i>dBμV/m</i>		Nivel Rx (dBm)		Rx Relativo dB	
				RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H
S. Camacho	38,44°	-0,959°	40,22	128,9	126,1	118,0	118,0	43,3	38,0	-76,9	-82,2	8,1	2,8
Mercedes	59,36°	-1,013°	49,68	124,0	121,5	119,8	119,8	48,0	42,7	-72,2	-77,5	12,8	7,5
Pretexto	60,16°	-1,536°	28,37	117,4	114,8	115,0	115,8	54,8	49,4	-65,4	-70,8	19,6	14,2

Figura 52. Radioenlace Venados – Salvador Camacho [RL-VEN-TVWS]



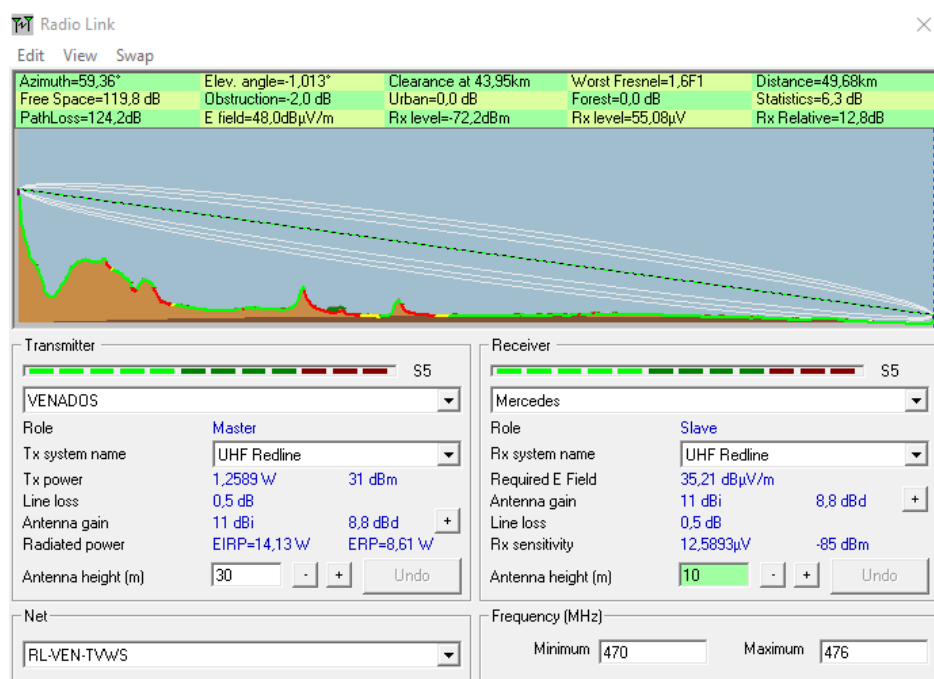
Fuente: Elaboración Propia

Figura 53. Radioenlace Venados – Salvador Camacho [RL-VEN-TVWS] en Google Earth



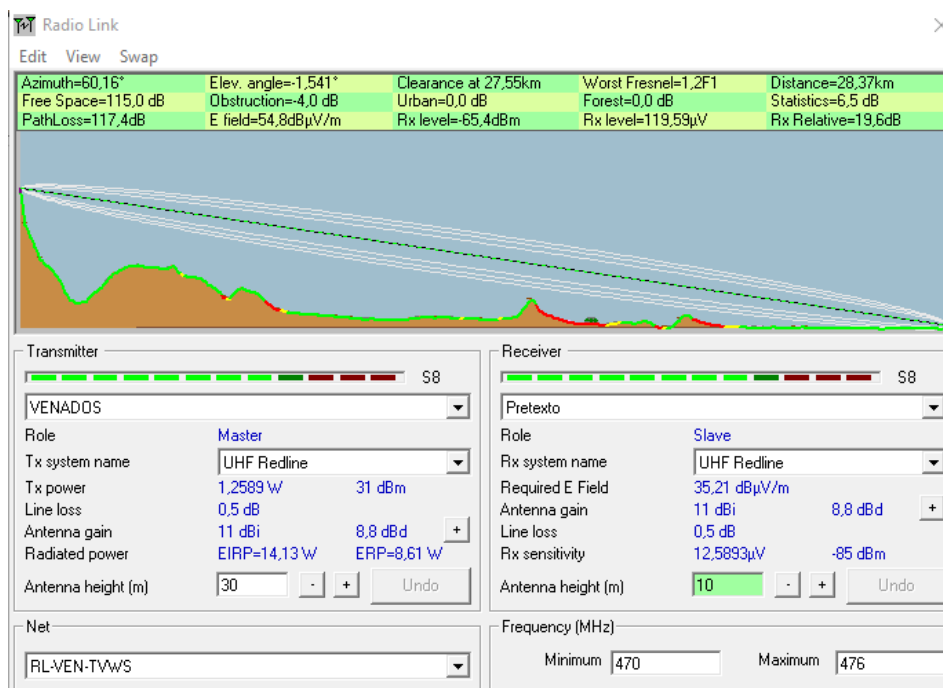
Fuente: Elaboración Propia

Figura 54. Radioenlace Venados – Mercedes [RL-VEN-TVWS]



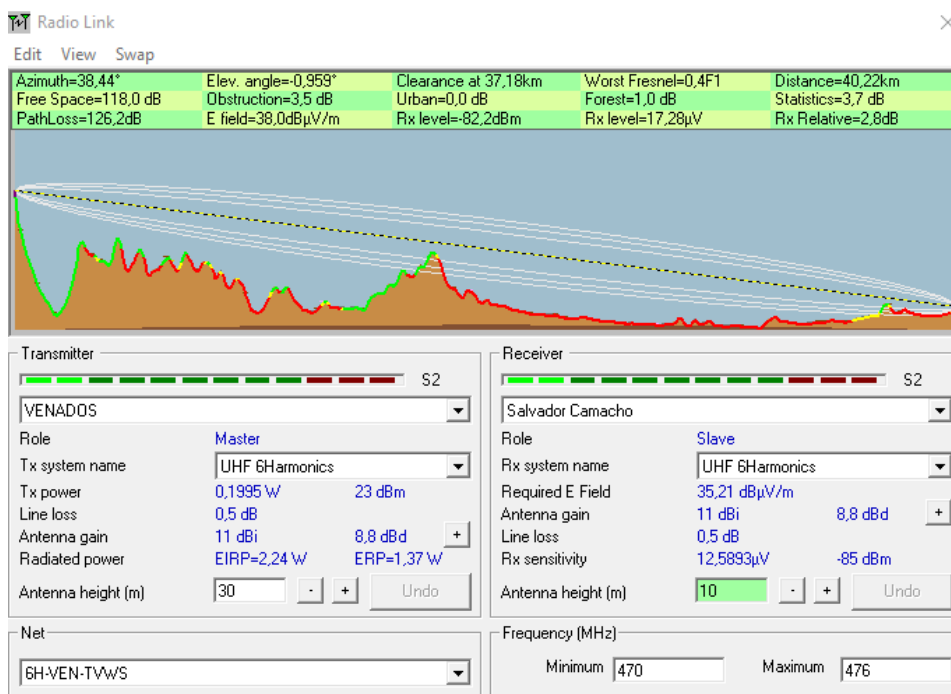
Fuente: Elaboración Propia

Figura 55. Radioenlace Venados – Pretexto [RL-VEN-TVWS]



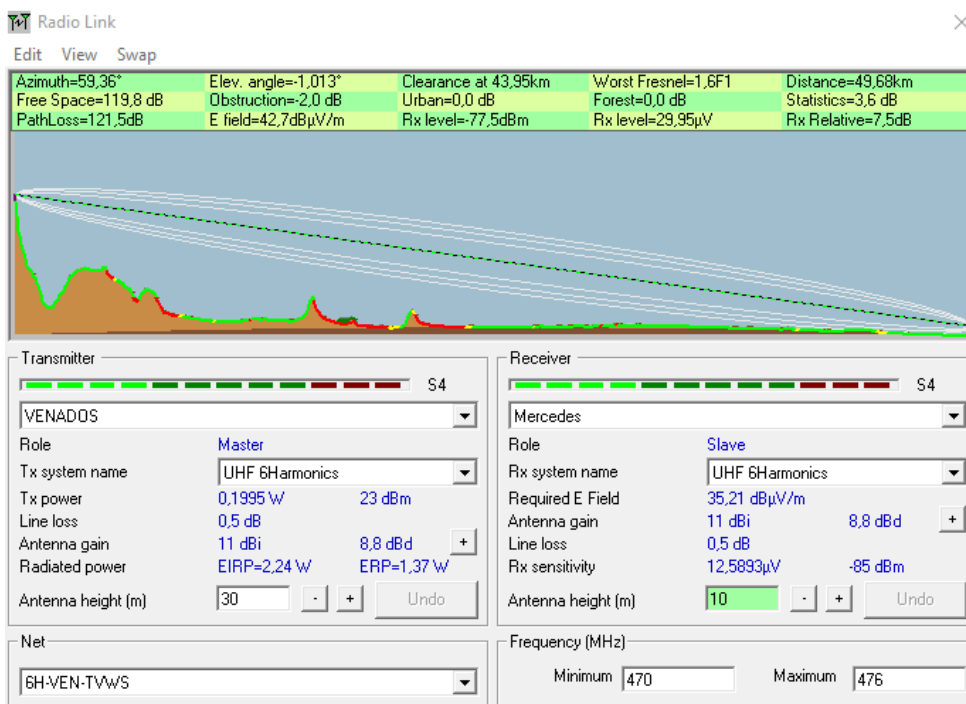
Fuente: Elaboración Propia

Figura 56. Radioenlace Venados – Salvador Camacho [6H-VEN-TVWS]



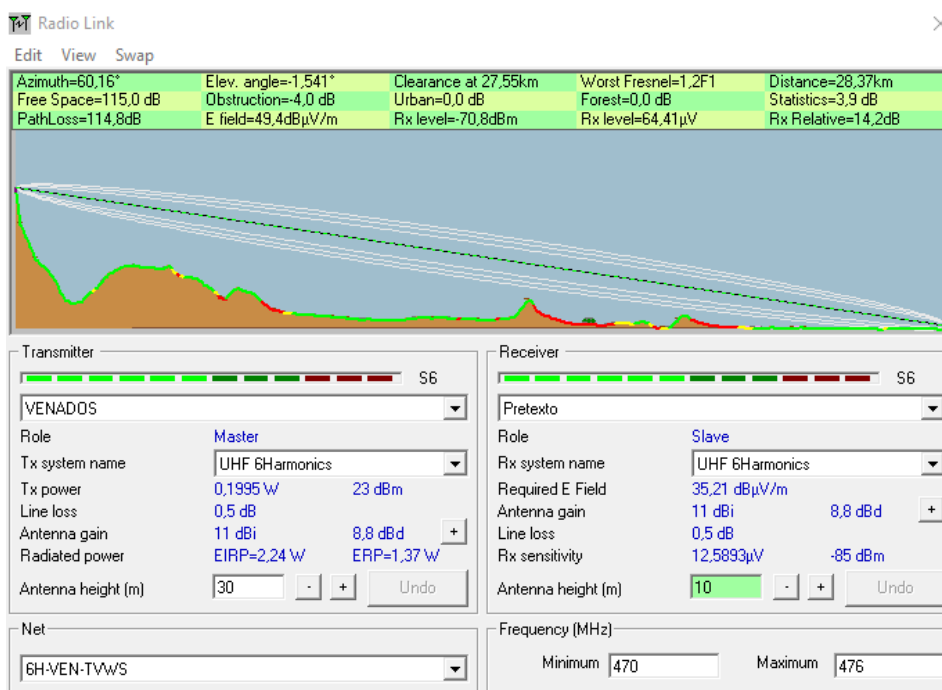
Fuente: Elaboración Propia

Figura 57. Radioenlace Venados – Mercedes [6H-VEN-TVWS]



Fuente: Elaboración Propia

Figura 58. Radioenlace Venados – Pretexto [6H-VEN-TVWS]



Fuente: Elaboración Propia

PROPUESTA N° 2

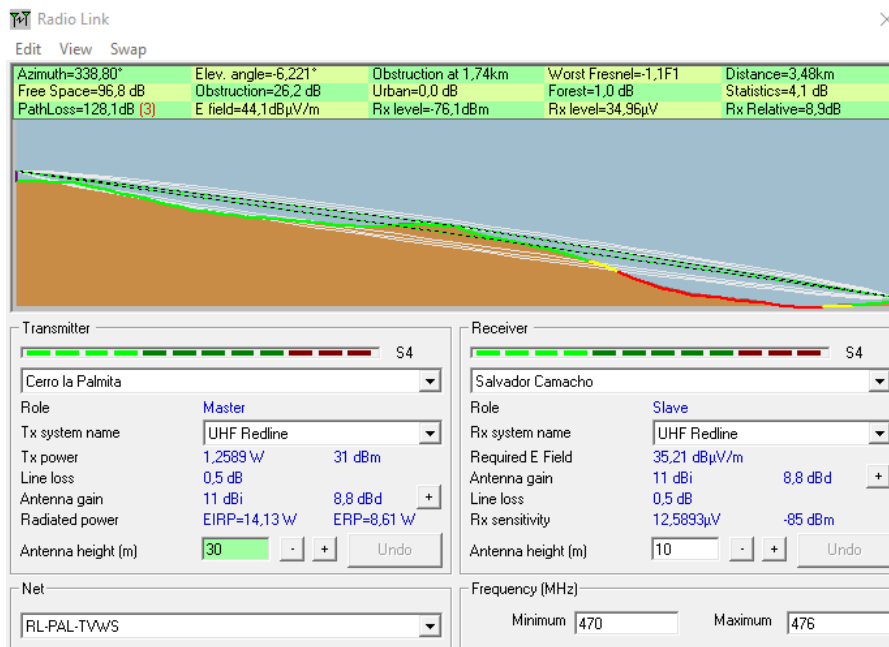
Se incluyen tablas con los resultados obtenidos e imágenes de los radioenlaces entre los puntos, usando los dispositivos de los dos fabricantes.

En la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos en las simulaciones para la propuesta N°2.

Tabla 14. Datos obtenidos en las Simulaciones usando Radio Mobile

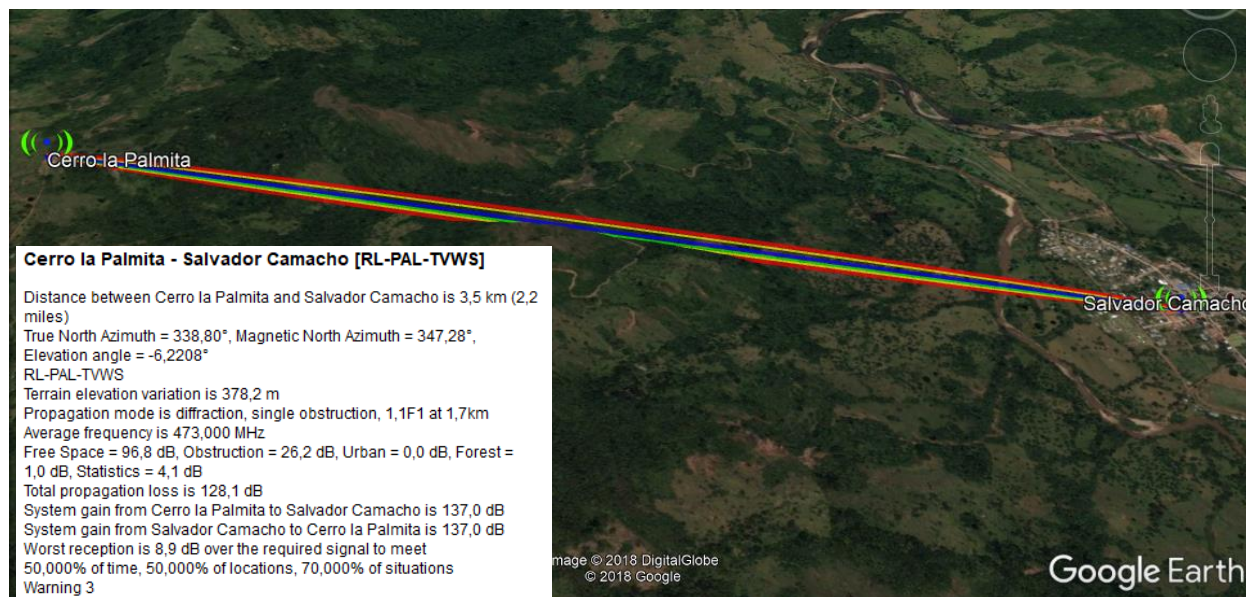
Receptores	Propuesta N° 2 – CERRO LA PALMITA												
	Azi- mut	Eleva- ción	Dist- ancia (Km)	Perdidas (dB)		Espacio libre (dB)		Campo E. <i>dBμV/m</i>		Nivel Rx (dBm)		Rx Relativo dB	
				RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H
S. Camacho	338,8°	-6,221°	3,48	128,1	128,1	96,8	96,8	44,1	36,1	-76,1	-84,1	8,9	0,9
Mercedes	100,1°	-1,846°	16,74	109,8	109,8	110,4	110,4	62,5	54,5	-57,8	-65,8	27,2	19,2
Pretexto	186,72°	-2,198°	14,23	112,3	112,3	109,0	109,0	59,9	51,6	-60,3	-68,3	24,7	16,7

Figura 59. Radioenlace Palmita – Salvador Camacho [RL-PAL-TVWS]



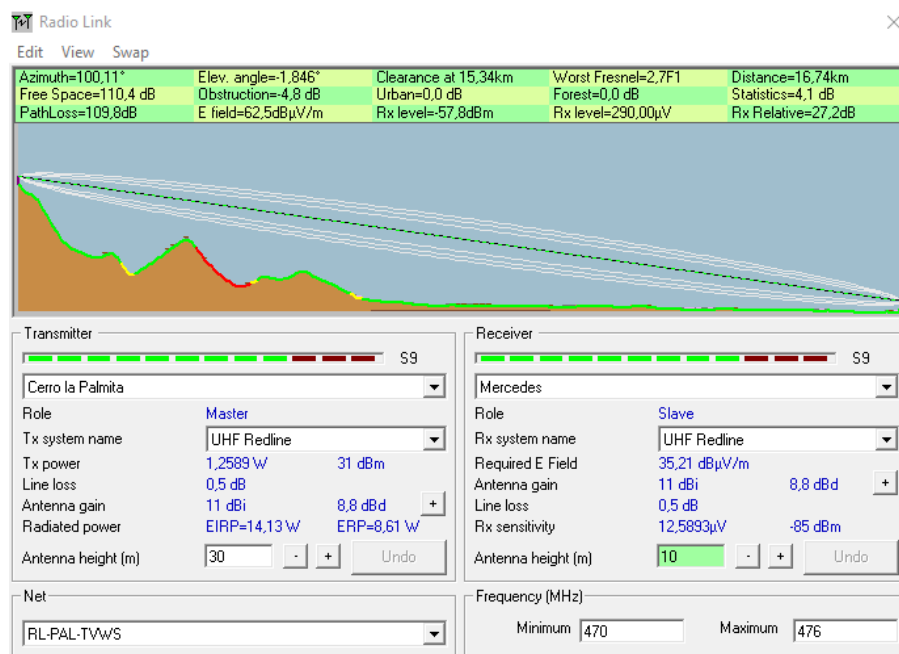
Fuente: Elaboración Propia

Figura 60. Radioenlace Palmita – Salvador Camacho [RL-PAL-TVWS] en Google Earth



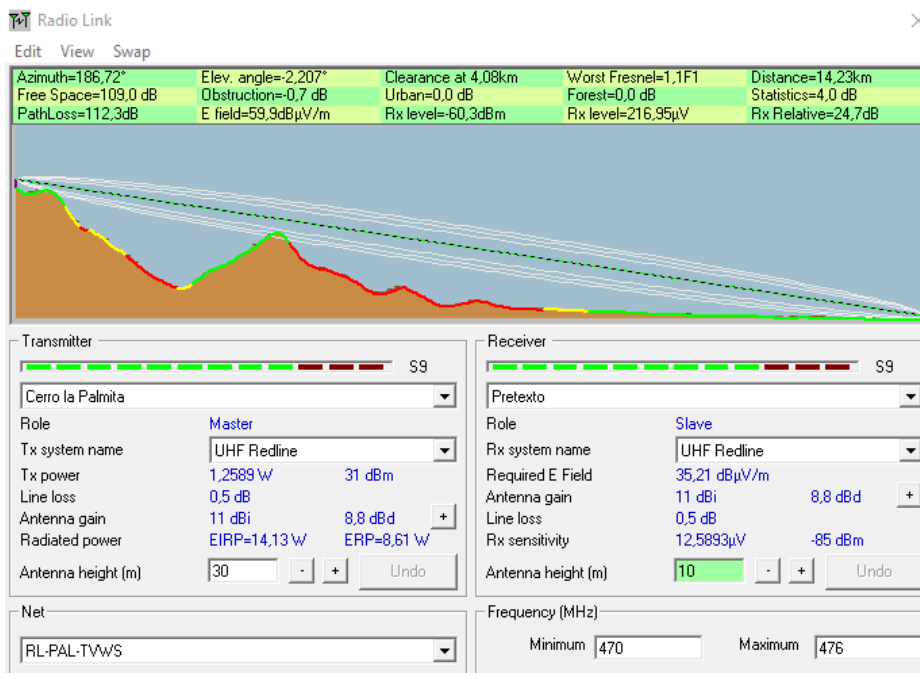
Fuente: Elaboración Propia

Figura 61. Radioenlace Palmita – Mercedes [RL-PAL-TVWS]



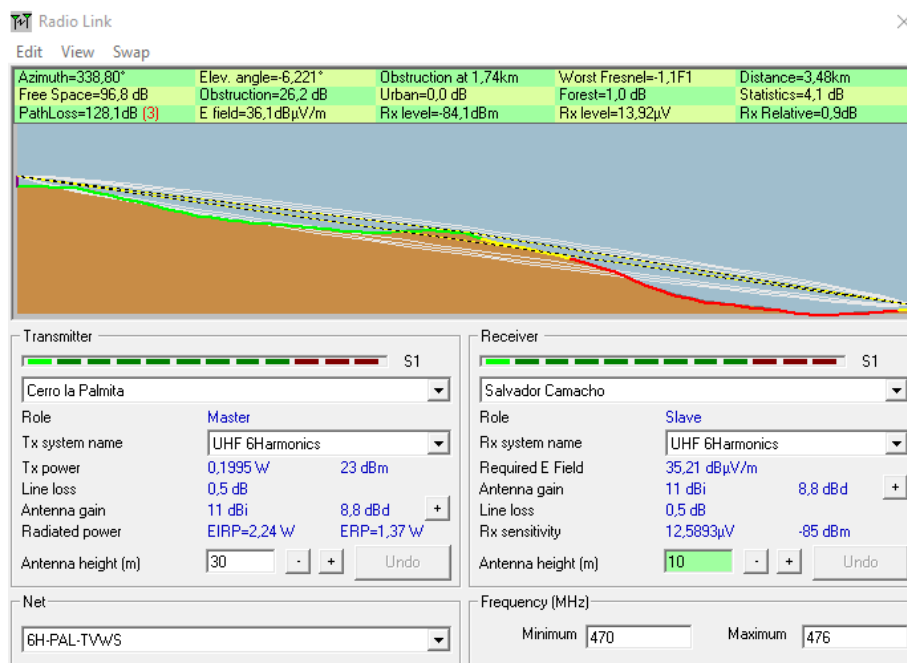
Fuente: Elaboración Propia

Figura 62. Radioenlace Palmita – Pretexto [RL-PAL-TVWS]



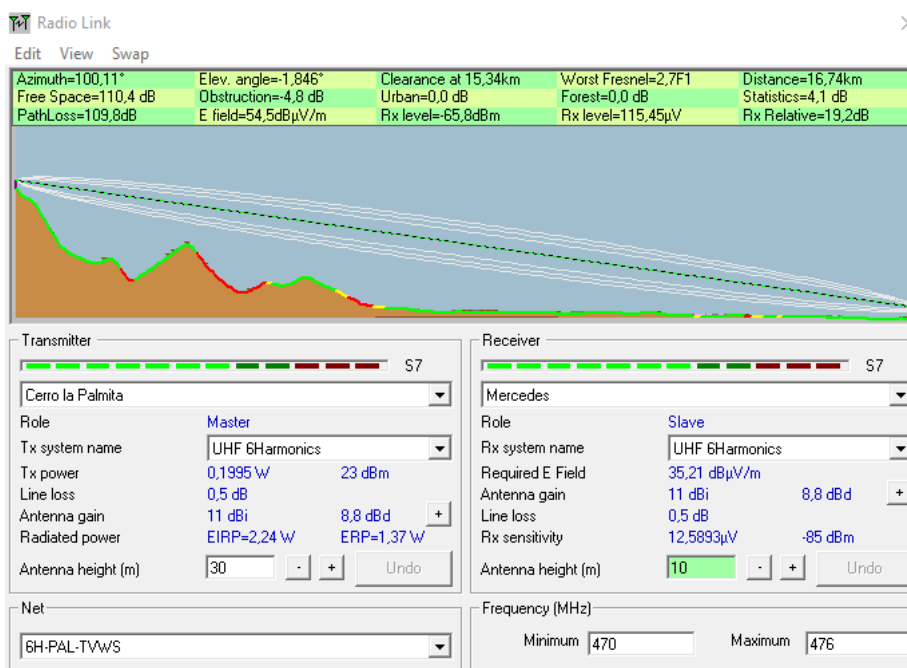
Fuente: Elaboración Propia

Figura 63. Palmita – Salvador Camacho [6H-PAL-TVWS]



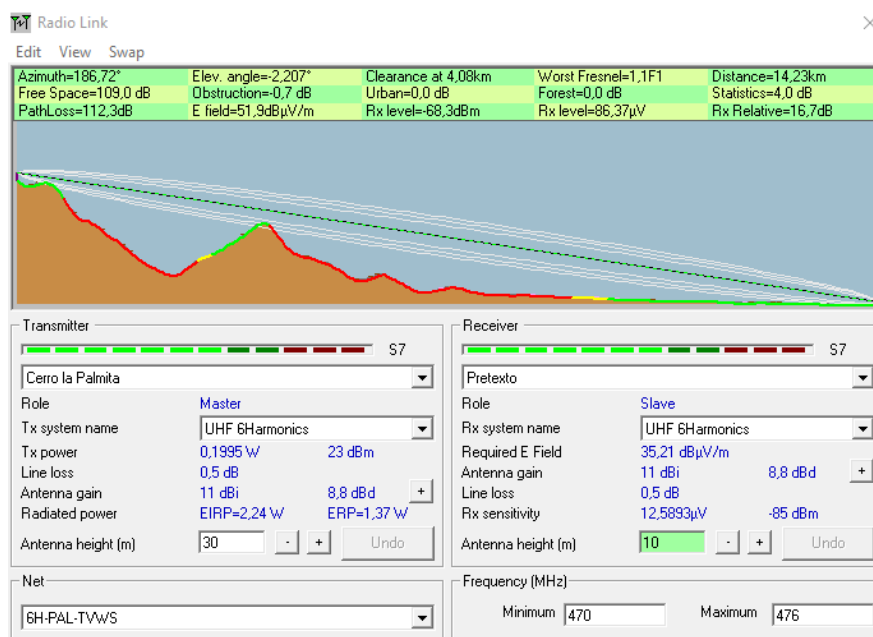
Fuente: Elaboración Propia

Figura 64. Radioenlace Palmita – Mercedes [6H-PAL-TVWS]



Fuente: Elaboración Propia

Figura 65. Radioenlace Palmita – Pretexto [6H-PAL-TVWS]



Fuente: Elaboración Propia

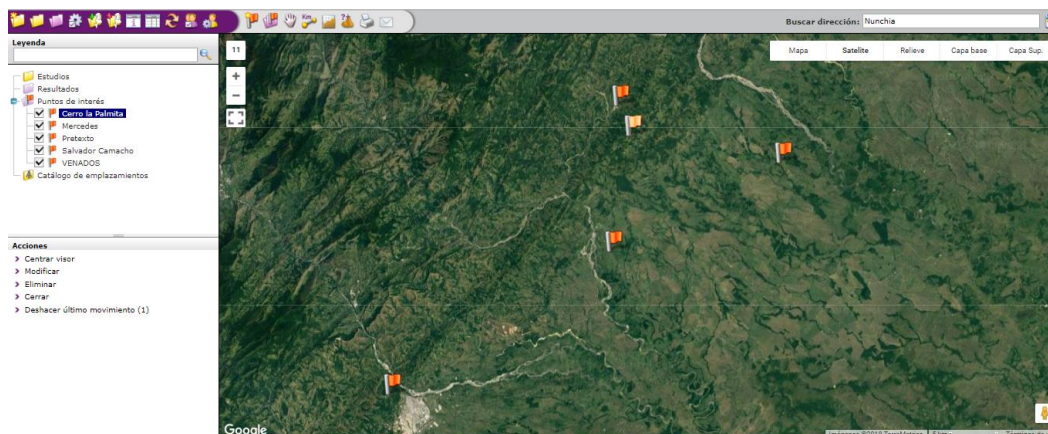
2.4.2. SIMULACIONES EN XIRIO-ONLINE

En esta sección, se muestran los resultados de los cálculos efectuados a los estudios creados en las simulaciones en Xirio-Online utilizando la herramienta Planning Tool (Planificación de Redes Radioeléctricas). El objeto de simular con esta herramienta es hacer un comparativo con los resultados obtenidos con Radio Mobile.

2.4.2.1. Ubicación de los puntos

Xirio Online permite realizar simulaciones profesionales de cobertura radioeléctrica, no requiere instalación o actualizaciones y se accede desde cualquier explorador, basta con registrarse en la web <http://www.xirio-online.com> para poder acceder a la herramienta PLANNINGTOOL y realizar los estudios, Inicialmente creo 'Puntos de Interés' para ubicar cada uno de los sitios, utilizando las coordenadas de las tablas 1 y 2.

Figura 66. Creación de Puntos de Interés



Fuente: Elaboración Propia

2.4.2.2. Creación de un Estudio

La facilidad de esta aplicación radica en que tiene un asistente para crear los estudios. Para empezar, en 'crear nuevo estudio', se abre una venta que guía hasta el final de la creación del estudio, en este caso el tipo de estudio se escoge 'Enlace' ya que la red se compone de estaciones fijas. En seguida, se especifica el 'servicio o tecnología', dado a que actualmente no existe una categoría predefinida para TVWS y como esta trabaja en la misma banda de TV se escoge 'Radiodifusión Audiovisual' la subcategoría y servicio definidas por el usuario, para poder configurar las Propiedades de banda de frecuencias en que trabaja TVWS.

Figura 67. Creación de un Nuevo Estudio en Xirio-Online

Crear nuevo estudio

Seleccione un tipo de estudio

<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Enlace <input type="radio"/> Cobertura <input type="radio"/> Cobertura multitransmisor <input type="radio"/> Red de transporte <input type="radio"/> Altura efectiva 	<p>Estudio de enlace:</p> <p>Un enlace es un estudio radioeléctrico que analiza la disminución de la señal eléctrica en una línea que une un transmisor con un receptor.</p> <p>Leer más</p>
---	---

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría:	<input type="text" value="Radiodifusión Audiovisual"/>
Subcategoría:	<input type="text" value="Radiodifusión definida por usuario"/>
Servicio:	<input type="text" value="Radiodifusión definida por usuario"/>

Catálogo de estudios

No se ha encontrado ningún elemento de catálogo

Fuente: Elaboración Propia

Figura 68. Configuración de las Propiedades de la banda de frecuencias

Propiedades de la Banda de Frecuencias

Banda

Nombre:

Descripción 1:

Descripción 2:

Parámetros de la Banda

Separación entre portadoras: MHz ▼

Ordinal del primer canal:

Tramo inferior:

Frecuencia inicial: MHz ▼

Frecuencia final: MHz ▼

Frecuencia primera portadora: MHz ▼

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente ventana se ha ubicado el transmisor de acuerdo el punto de Interes 'VENADOS' creado previamente.

Figura 69. Configuración de las Propiedades de la Antena del Transmisor

Propiedades de la Antena

Antena

Nombre:

Polaridad: Simple Doble

Peso: Kg

Dimensión mayor: m

Diagramas de radiación

Frec. inicial	Frec. final	Pol.	Tipo
470.00 MHz	698.00 MHz	Vertical	Copolar

Fuente: Elaboración Propia

Figura 70. Configuración de las propiedades del transmisor

Propiedades del transmisor

Transmisor

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: + ↻

Coordenadas 📍 🌐 📏

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio

Antena: 📄 ✖️ ↻

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Frecuencias de transmisión

Frecuencias	Canal	
473.000 MHz	1	📄

Polarización: ▼

Feeder: + ↻

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

Potencia: dBm ▼

Fuente: Elaboración Propia

En este paso se indican los parámetros del transmisor, así como la frecuencia, la altura de la antena, la polarización, pérdidas. Se configuran los mismos parámetros utilizados en el software de Radio Mobile.

Figura 71. Configuración de las Propiedades de la Antena del Receptor

Propiedades de la Antena

Antena

Nombre:

Polaridad: Simple Doble

Peso: Kg

Dimensión mayor: m

Diagramas de radiación

Frec. inicial	Frec. final	Pol.	Tipo
470.00 MHz	698.00 MHz	Vertical	Copolar

Fuente: Elaboración Propia

Figura 72. Configuración de las Propiedades del Receptor

Propiedades del receptor

Receptor

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:

Coordenadas

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio

Antena:

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Polarización:

Feeder:

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB

Pérdidas pasivos: dB

Umbral recepción: Campo Potencia

dBm

Figura 73. Especificaciones, Propiedades del estudio de Enlace

Propiedades del estudio de Enlace

Estudio

Nombre: XO - RL - VENADOS - Salvador Camacho

Servicio: Radiodifusión definida por usuario

Banda: TVWS

Descripción: Estudio de enlace...

Extremos

Transmisor: VEN_RL

Receptor: RL_SC

Parámetros de cálculo

Método de cálculo: Nuevo Rec. UIT-R P.526-11

Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía de media o alta resolución.

Capas de cartografía:

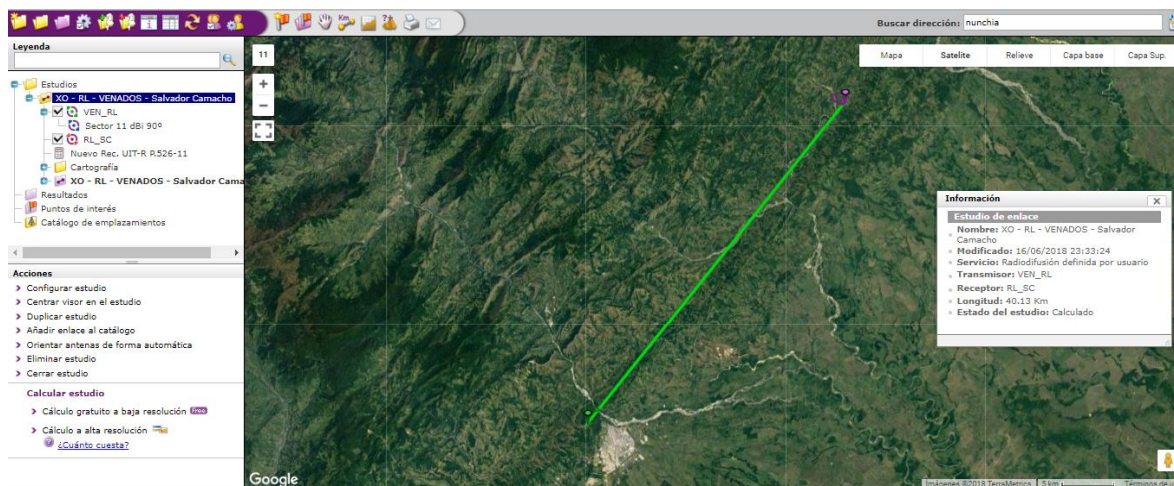
Capa	Tipo	Proveedor	Resolución	MRCG	CS	CM
Altimetría mundial	MDT	APTICA	100 m	400.00 m	0,00 €	0,00 €

Fuente: Elaboración Propia

PROPUESTA N° 1

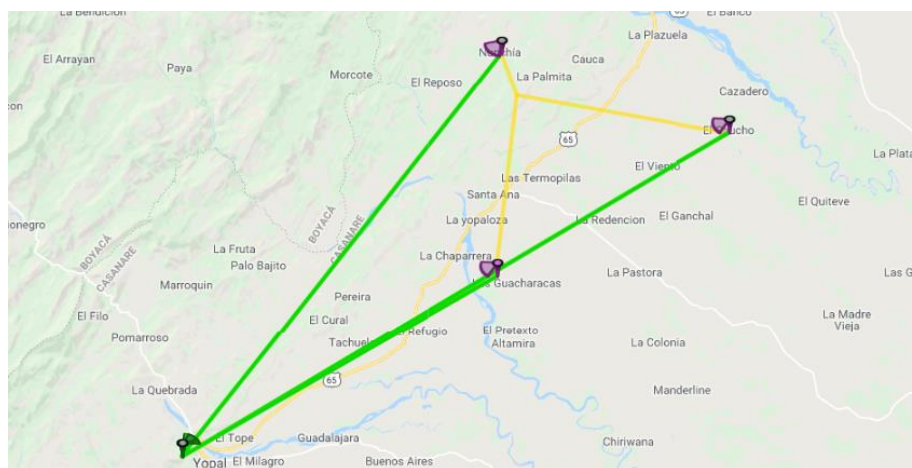
En esta sección se realizan los estudios correspondientes para interconectar los puntos de la propuesta N°1, utilizando para cada enlace las dos opciones de fabricantes. En la Figura 74 se muestra la creación del primer estudio, en la figura 75 se muestran todos los estudios, la línea verde significa que es posible establecer un enlace entre los puntos.

Figura 74. Radioenlace Venados - Salvador Camacho



Fuente: Elaboración Propia

Figura 75. Radioenlaces Propuesta N°1



Fuente: Elaboración Propia

2.4.2.3. Resultado del calculo de los estudios

En la Tabla 15 se resumen los resultados obtenidos en el calculo de los estudios de las simulaciones en Xirio-online.

Tabla 15. Nivel de potencia de Recepción – Propuesta N°1

Propuesta N° 1	
Receptores	Nivel Rx (dBm)
RL - Venados-Salvador Camacho	-68,02
RL - Venados-Mercedes	-69,87
RL - Venados-Pretexto	-65,05
6H - Venados-Salvador Camacho	-76,02
6H - Venados-Mercedes	-77,87
6H - Venados-Pretexto	-73,01

En las imágenes a continuación se muestran las gráficas de los enlaces y el informe de los enlaces para el sitio Salvador Camacho, para los demás puntos o se muestra, pero los resultados se pueden ver en la Tabla 5.

Figura 76. Grafica de enlace RL - Venados - Salvador Camacho

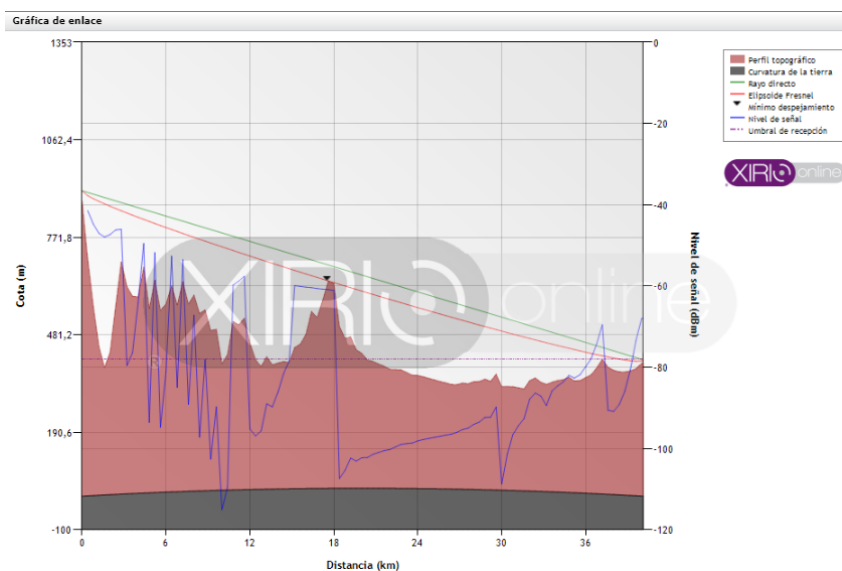


Figura 77. Informe de enlace RL - Venados - Salvador Camacho

Informe de enlace		
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
38	370,7	-90,87
38,4	366,87	-89,21
38,8	367,24	-85,92
39,2	371,34	-80,59
39,6	378,75	-73,46
40	395,69	-67,99
40,127	396,53	-68,02

Figura 78. Grafica de enlace RL - Venados - Mercedes

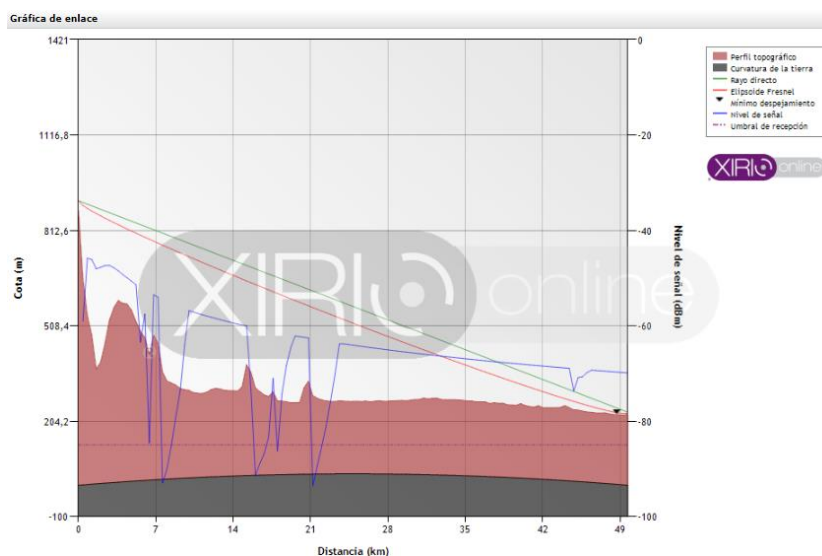


Figura 79. Grafica de enlace RL - Venados - Pretexto



Figura 80. Grafica de enlace 6H - Venados - Salvador Camacho

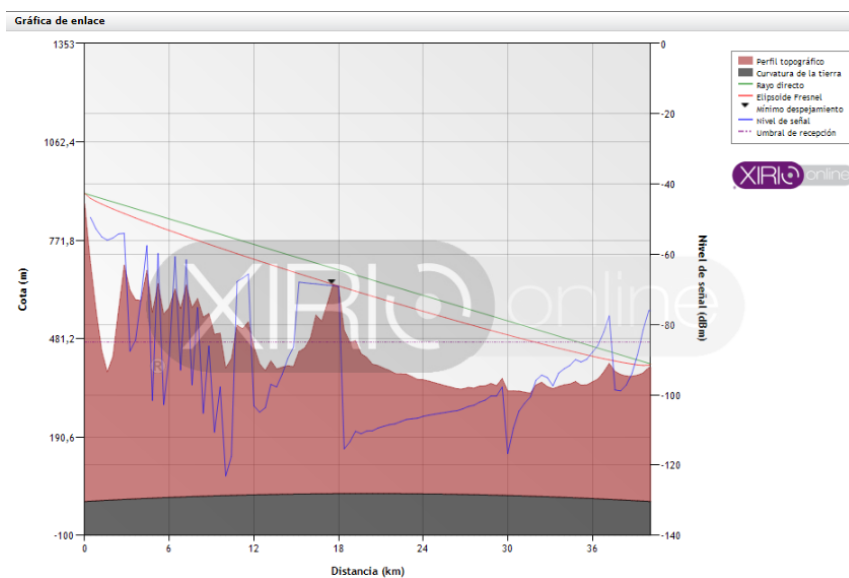


Figura 81. Informe de enlace 6H - Venados - Salvador Camacho

Informe de enlace		
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
38	370,7	-98,87
38,4	366,87	-97,21
38,8	367,24	-93,92
39,2	371,34	-88,59
39,6	378,75	-81,46
40	395,69	-75,99
40,127	396,53	-76,02

Figura 82. Grafica de enlace 6H - Venados - Mercedes

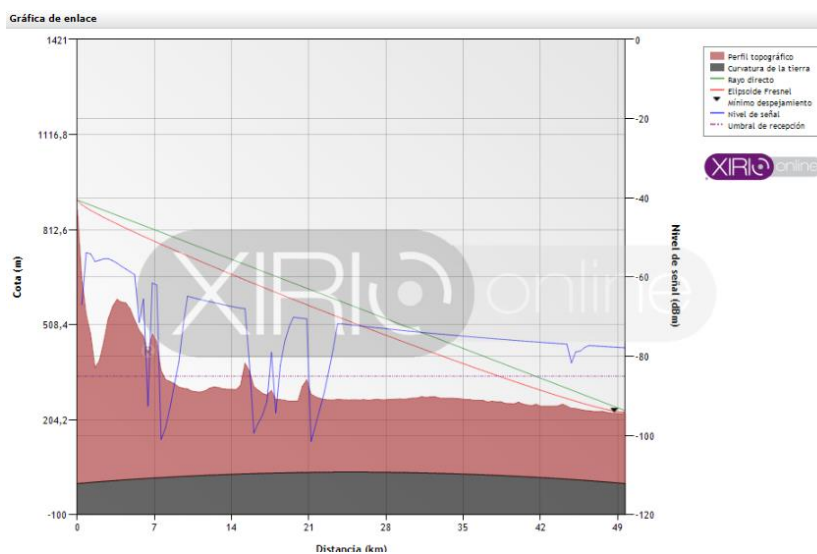
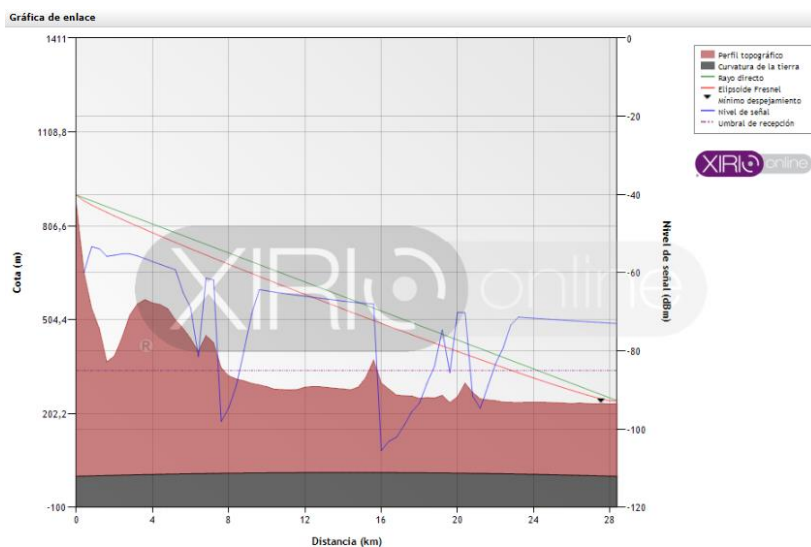
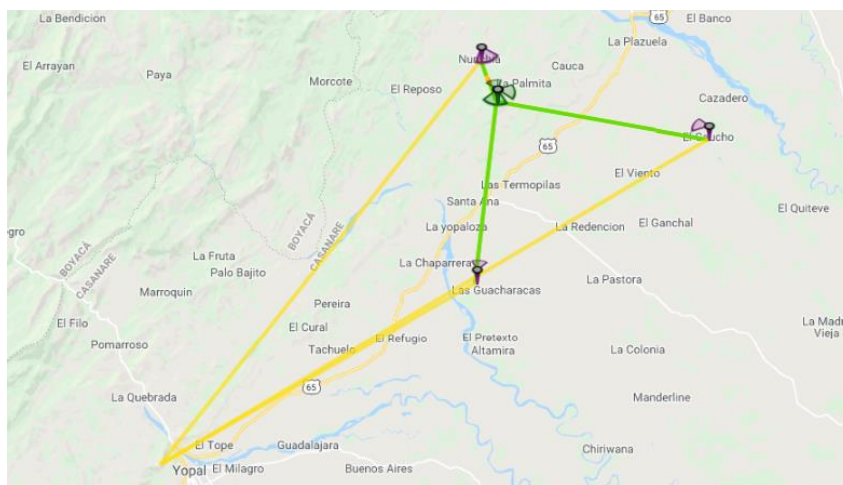


Figura 83. Grafica de enlace 6H - Venados - Pretexto



PROPUESTA N° 2**Figura 84. Radioenlaces Propuesta N°2****Tabla 16. Nivel de potencia de Recepción – Propuesta N°2**

Propuesta N° 2	
Receptores	Nivel Rx (dBm)
RL - Palmita-Salvador Camacho	-61,73
RL - Palmita -Mercedes	-51,44
RL - Palmita -Pretexto	-49,98
6H - Palmita -Salvador Camacho	-69,73
6H - Palmita -Mercedes	-59,44
6H - Palmita -Pretexto	-57,98

En las imágenes a continuación se muestran las gráficas de los enlaces y el informe de los enlaces para el sitio Salvador Camacho, para los demás puntos o se muestra, pero los resultados se pueden ver en la Tabla 16.

Figura 85. Grafica de enlace RL – Palmita – Salvador Camacho

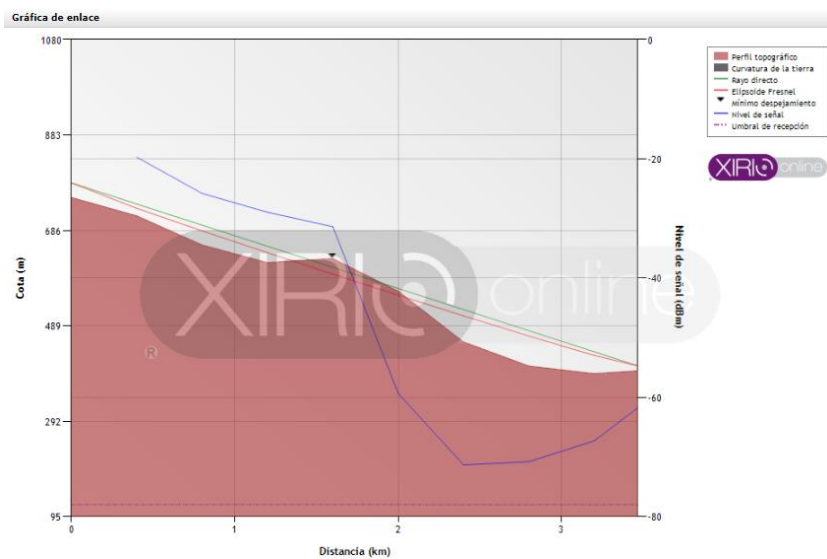


Figura 86. Informe de enlace RL – Palmita – Salvador Camacho

Informe de enlace		
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	754,14	---
0,4	716,08	-19,73
0,8	655,99	-25,8
1,2	619,35	-28,96
1,6	627,84	-31,38
2	560,57	-59,35
2,4	455,74	-71,32
2,8	405,92	-70,79
3,2	390,36	-67,28
3,467	396,29	-61,73

Figura 87. Grafica de enlace RL – Palmita – Mercedes

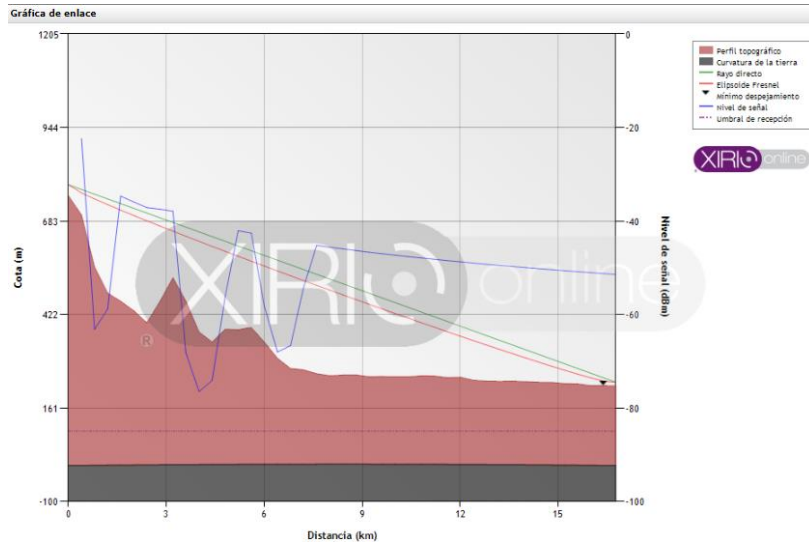


Figura 88. Grafica de enlace RL – Palmita – Pretexto

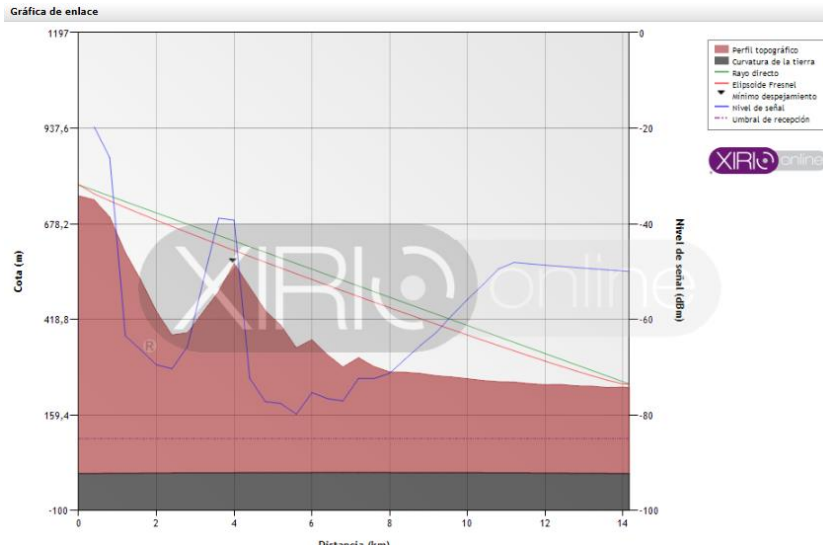


Figura 89. Grafica de enlace 6H – Palmita – Salvador Camacho

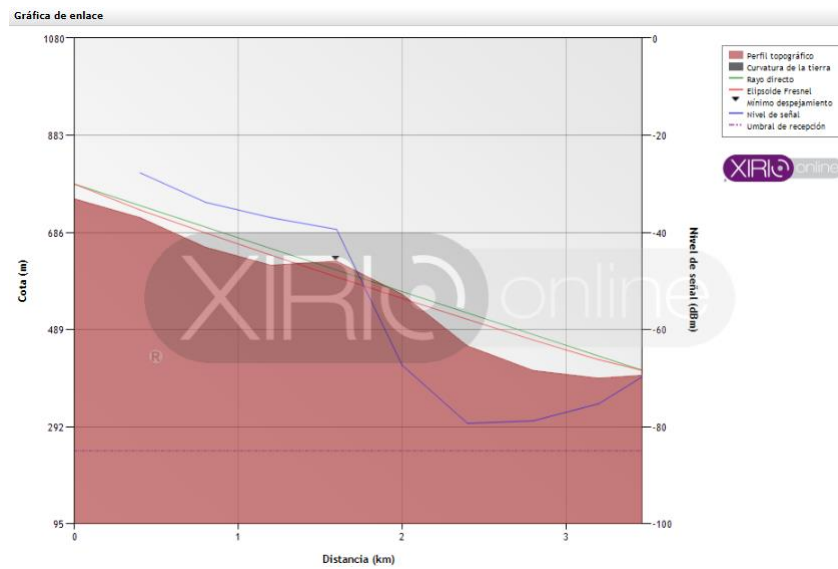


Figura 90. Informe de enlace 6H – Palmita – Salvador Camacho

Informe de enlace		
Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	754,14	---
0,4	716,08	-27,73
0,8	655,99	-33,8
1,2	619,35	-36,96
1,6	627,84	-39,38
2	560,57	-67,35
2,4	455,74	-79,32
2,8	405,92	-78,79
3,2	390,36	-75,28
3,467	396,29	-69,73

Figura 91. Grafica de enlace 6H – Palmita – Mercedes

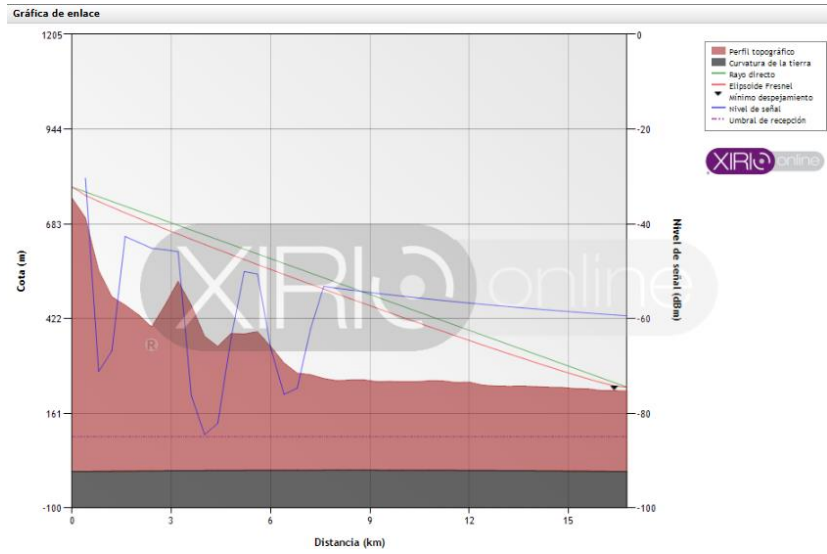
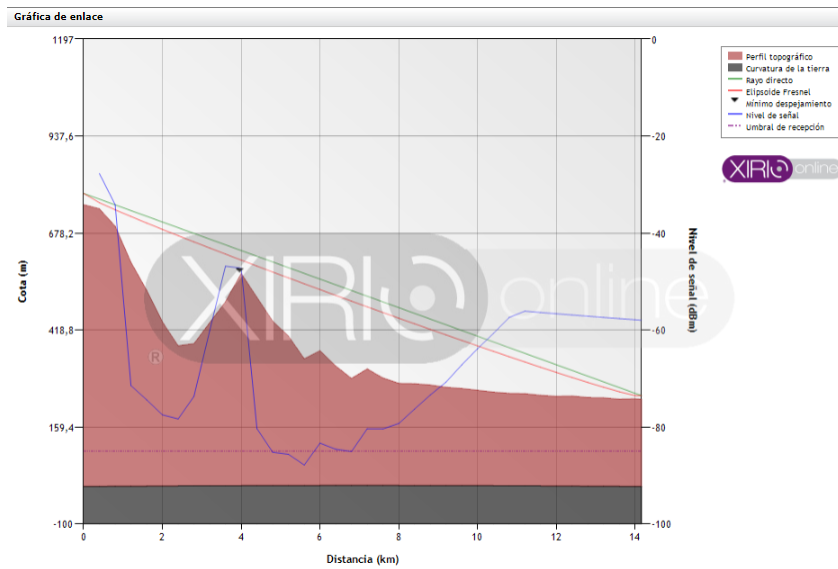
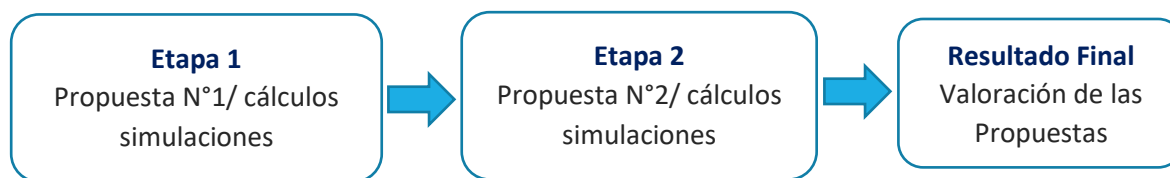


Figura 92. Grafica de enlace 6H – Palmita – Pretexto



2.5. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se comparan los resultados obtenidos de la potencia de recepción (Rx Level) para las dos propuestas. El análisis de resultados se divide en dos etapas, primero se comparan los resultados de la primera propuesta respecto a los cálculos, simulaciones en Radio Mobile y simulaciones en Xirio-online, para así obtener el análisis de la primera fase. En la segunda fase se hace de la misma forma que en la primera. La idea es validar cuál de las dos propuestas presenta mejores resultados, teniendo muy en cuenta también las características técnicas de los dispositivos de RedLine y 6Harmonics en cada propuesta.



2.5.1. Etapa 1: Propuesta N°1/Cálculos – Simulaciones

En esta etapa se encuentran los resultados obtenidos, tales como las tablas comparativas de los resultados calculados y de las simulaciones.

En la Tabla 17, se observan los datos obtenidos para cada uno de los puntos receptores según el dispositivo (RL o 6H), en las diferentes columnas se encuentra: columna 1 el nivel de recepción según los calculados, en la segunda columna se encuentra el nivel de recepción obtenidos de Radio Mobile y en la tercera columna el nivel de recepción en Xirio-Online.

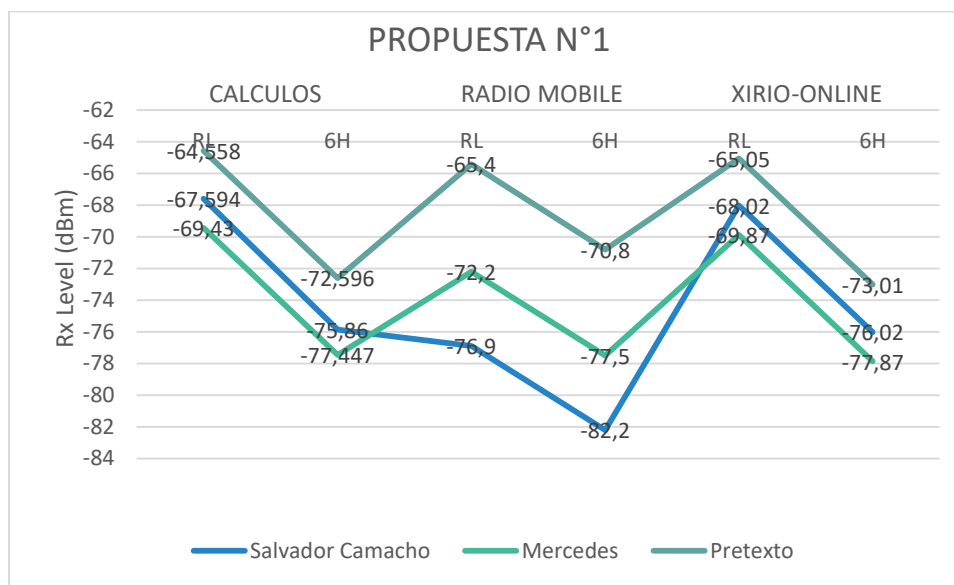
Tabla 17. Tabla Comparativa de los resultados de potencia de Recepción con diferentes métodos y dispositivos

PROPUESTA N°1 – CERRO VENADOS						
Receptores	Cálculos Rx Level (dBm)		Simulación en Radio Mobile Rx Level (dBm)		Simulación en Xirio- Online Rx Level (dBm)	
	RL	6H	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	-67,594	-75,860	-76,9	-82,2	-68,02	-76,02
Mercedes	-69,430	-77,447	-72,2	-77,5	-69,87	-77,87
Pretexto	-64,558	-72,596	-65,4	-70,8	-65,05	-73,01

Se observa que los valores de los cálculos y los de la simulación en Xirio-Online son muy cercanos, esto se debe a que ambos se basan en propagación por espacio libre, con parámetros principales:

Frecuencia, longitud de trayecto, ganancias, tipo de terreno. Por otra parte los resultados de Radio Mobile varían notoriamente, en particular, entre puntos donde hay obstrucciones (Venados – S. Camacho), esto, porque además de los parámetros mencionados anteriormente, este software basado en el modelo Longley-Rice también tiene en cuenta: la rugosidad del terreno, altura de las antenas, refractividad de la superficie, la polarización, radio efectivo de la tierra, conductividad del suelo, constante dieléctrica del suelo, follaje y condiciones climáticas. Por tal razón, se determina que los resultados obtenidos en Radio Mobile son más reales, que los obtenidos en los otros métodos, dado a las características de software, que lo hacen ideal para la planeación de enlaces de comunicaciones inalámbricas.

Figura 93. Gráfico Comparativo de los datos obtenidos para potencia de recepción (Rx Level) en la Propuesta N°1.



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico anterior se observan los valores de los cálculos y las simulaciones relacionados en la tabla 17. Cada color representa los resultados para cada sitio permitiendo apreciar las variaciones en cada uno de los puntos establecidos para visualizar el nivel de recepción.

En cada herramienta de simulación varían las características y las especificaciones solicitadas de los datos a ingresar, también es importante entender que cada herramienta se basa en modelos de propagación diferentes, por un lado Radio Mobile trabaja con el modelo Longley Rice mientras que Xirio-Online con la recomendación UIT-R P.526 en la cual se manejan parámetros variantes al hacer la comparación de los resultados.

Se observa que los resultados para los dispositivos de RL son significativamente mejores, esto dado a que los radios de este fabricante ofrecen más potencia de transmisión.

Es importante resaltar sobre los resultados obtenidos, que hasta en el peor de los casos (-82.2 dBm) con 6H es un resultado aceptable por que está dentro del umbral de recepción de los dispositivos (-85 dBm).

2.5.2. Etapa 2: Propuesta N°2/Cálculos – Simulaciones

En esta etapa se encuentran los resultados obtenidos, tales como las tablas comparativas de los resultados calculados y de las simulaciones.

En la Tabla 18, se observa los datos obtenidos para cada uno de los puntos receptores según el dispositivo (RL o 6H), en las diferentes columnas se encuentra: columna 1 el nivel de recepción según los calculados, en la segunda columna se encuentra el nivel de recepción obtenidos de Radio Mobile y en la tercera columna el nivel de recepción en Xirio-Online.

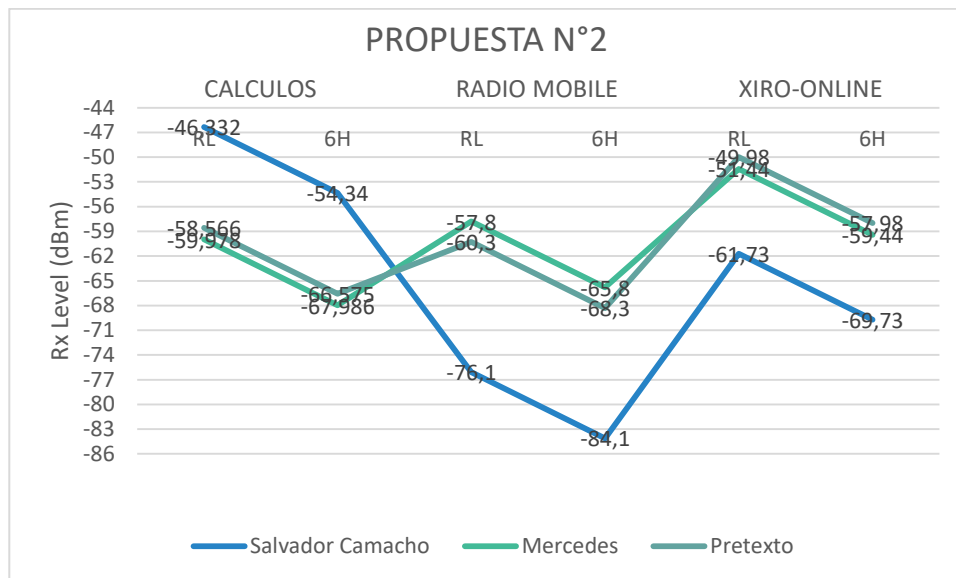
Tabla 18. Tabla Comparativa de los resultados de potencia de Recepción con diferentes métodos y dispositivos.

PROPUESTA N°2 – CERRO LA PALMITA						
Receptores	Cálculos Rx Level (dBm)		Simulación en Radio Mobile Rx Level (dBm)		Simulación en Xirio- Online Rx Level (dBm)	
	RL	6H	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	-46,332	-54,34	-76,1	-84,1	-61,73	-69,73
Mercedes	-59,978	-67,986	-57,8	-65,8	-51,44	-59,44
Pretexto	-58,566	-66,575	-60,3	-68,3	-49,98	-57,98

En este caso también los resultados de Radio Mobile varían notoriamente, en relación a los otros métodos, particularmente, entre puntos donde hay obstrucciones (Palmita – S. Camacho), lo que quiere decir que son resultados más reales y relevantes a tener en cuenta, dado a las características de software, que lo hacen ideal para la planeación de enlaces de comunicaciones inalámbricas.

En el grafico siguiente se observan los valores de los cálculos y las simulaciones relacionados en la tabla 18. Cada color representa los resultados para cada sitio permitiendo apreciar las variaciones en cada uno de los puntos establecidos para visualizar el nivel de recepción.

Figura 94. Gráfico Comparativo de los datos obtenidos para potencia de recepción (Rx Level) en la Propuesta N°2.



Fuente: Elaboración Propia.

En cada herramienta de simulación varían las características y las especificaciones solicitadas de los datos a ingresar, también es importante entender que cada herramienta se basa en modelos de propagación diferentes, por un lado Radio Mobile maneja al modelo Long ley Rice mientras que Xirio-Online el UIT-R P.526 en el cual se manejan parámetro variantes al hacer la comparación de los resultados.

Los resultados para los dispositivos de RL son significativamente mejores, esto dado a que los radios de este fabricante ofrecen más potencia de transmisión.

En esta propuesta también es importante resaltar sobre los resultados obtenidos, que hasta en el peor de los casos (-84.1 dBm) con 6H es un resultado aceptable por que está dentro del umbral de recepción de los dispositivos (-85 dBm).

5.2.3. Etapa 3: Elección de la Mejor Propuesta

En las etapas anteriores se mostró el comparativo de los cálculos y las propuestas hechas para la red de dispositivos TVWS, se puede observar el incremento en los niveles de recepción que se presenta ampliando la potencia de transmisión, teniendo en cuenta también la ubicación y altura de las antenas. En la tabla 19 se resumen las tablas 17 y 18 para observar más claramente las diferencias en los resultados y decidir en qué propuesta y con qué dispositivos se obtuvieron

mejores resultados en los niveles de potencia de recepción de la señal en las instituciones educativas.

Tabla 19. Valoración de las propuestas, comparativo de los resultados de las propuestas y dispositivos.

Receptores CPE	Cálculos Rx Level (dBm)				Simulación en Radio Mobile Rx Level (dBm)				Simulación en Xirio-Online Rx Level (dBm)			
	Propuesta N° 1		Propuesta N° 2		Propuesta N° 1		Propuesta N° 2		Propuesta N° 1		Propuesta N° 2	
	RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H	RL	6H
Salvador Camacho	-67,60	-75,86	-46,33	-54,34	-76,9	-82,2	-76,1	-84,1	-68,02	-76,02	-61,73	-69,73
Mercedes	-69,43	-77,45	-59,99	-67,98	-72,2	-77,5	-57,8	-65,8	-69,87	-77,87	-51,44	-59,44
Pretexto	-64,56	-72,59	-58,56	-66,57	-65,4	-70,8	-60,3	-68,3	-65,05	-73,01	-49,98	-57,98

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo al análisis de los resultados se determina la segunda propuesta como la más apropiada ya que los niveles de recepción son significativamente mejores comparados con los de la primera propuesta, con esta propuesta se lograría tener mayor cobertura en el territorio del municipio y también cumplir mejor con las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco de la resolución 461 de la ANE. En la propuesta N° 2 es necesario la construcción de infraestructura para la instalación de las antenas, el costo de se analizará en la sección de Estudio Económico.

En cuanto a los dispositivos con los dos se obtienen buenos resultados, resaltando que los resultados para los dispositivos de RL son significativamente mejores, esto dado a que los radios de este fabricante ofrecen más potencia de transmisión. Por lo tanto, en primera instancia recomiendo el uso de los dispositivos de RedLine Communications para la posible ejecución en un futuro de esta propuesta. Por otra parte, resalto también que la atención que recibí por parte de los asesores de 6Harmonics fue más inmediata, detallada y eficaz, sin desestimar que también se obtuvieron buenos resultados con estos dispositivos, quiero decir que también es una buena opción a utilizar.

3. CAPITULO III: ANALISIS TECNICO

Dentro del proyecto ya de por sí complejo, según lo concerniente a la Propuesta N° 2 para el desarrollo del mismo, existe un punto marcado en rojo por su particularidad desde el diseño original de la propuesta técnica: Ubicación de la estación base en el cerro la Palmita. Dicho emplazamiento requiere la construcción desde cero de un nodo de comunicación compuesto por gabinete, sistema eléctrico y torre de comunicación. Sin duda, la instalación de la torre es de los tres elementos él que supone un mayor aliciente en la propuesta. Lo que permitiría conectar a las estaciones cliente, Salvador Camacho, Mercedes y Pretexto.

Según lo establecido anteriormente la formulación de la propuesta se desarrollará por fases de la siguiente manera:

Adecuación

En esta fase se tendrá en cuenta la adecuación de la estación base, entre las actividades a tener en cuenta son:

- Excavación
- Maya a tierra
- Cimentación
- Montaje de la torre

Conexión Eléctrica

- Alimentación
- Pararrayo
- Balizas
- Distribución de la red eléctrica

Infraestructura

- Instalación del Gabinete
- Estructuración del cableado
- Instalación de la ductería
- Ubicación e instalación de las antenas
- Ubicación e instalación de los radios

Montaje

- Configuración de los radios
- Instalación y pruebas

En esta sección se describe brevemente el proceso de instalación necesario para llevar a cabo en el Cerro la Palmita y que permitiría dotar al proyecto de uno de los puntos más importantes dentro de la red. De acuerdo a los pasos encontrados en el sitio web³⁰ se describe el proceso de la instalación de una torre de comunicaciones, se describe a continuación:

i. Instalación de las puestas a Tierra

Instalar las picas de tierra, es el primer paso, y uno de los más importantes para llevar a cabo la instalación de la torre. Éstas llevan a cabo el aislamiento eléctrico de la estructura de forma que una sobretensión o fallo de aislamiento del algún conductor no radique en riesgo para los usuarios o el equipamiento instalado.

Figura 95. Ejemplo de unión de picas con el cable mediante fusión luminotécnica.



Fuente: <http://www.beeingenieria.es>

ii. Cimentación

Una vez realizada la instalación de la puesta a tierra, la cual le brinda protección a la red, es muy importante llevar a cabo cuidadosamente la cimentación del primer tramo de la torre que servirá como base para el montaje del resto de tramos. Las dimensiones de la misma tienen en cuenta parámetros como los esfuerzos que deben soportar la torre, la dimensión de la base y la dureza del terreno.

Figura 96. Ejemplo de Cimentación de la base de una torre.



³⁰ <http://www.beeingenieria.es/web/blog/como-construir-una-torre-de-comunicacion>

Fuente: <http://www.beeingenieria.es>

iii. Montaje de los tramos

Una vez asentada la base de la torre se debe proceder al ensamblaje de los diferentes restantes (en este caso podría ser una torre compuesta por seis tramos de cinco metros) llevando sumo cuidado en el punto de unión de cada uno de ellos.

Figura 97. Ejemplo del montaje de los tramos de una torre de comunicaciones.



Fuente: <http://www.beeingenieria.es>

iv. Instalación de las antenas

La instalación de una infraestructura de esta magnitud sería importantísima para la ejecución futura del proyecto, dado que permitiría la instalación de los dispositivos TVWS necesarios para dotar de conexión a internet a las estaciones cliente.

Figura 98. Ejemplo de Instalación de antenas en una torre de comunicaciones de TVWS.



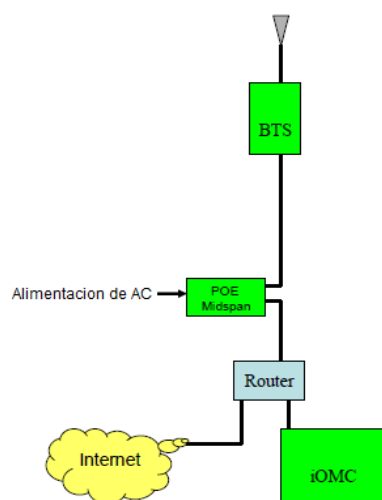
Fuente: <http://www.6harmonics.com>

En este ejemplo se instalaron 3 antenas sectoriales en azimuts predeterminados (69, 236, 315) definidos por posibles ubicaciones de clientes y señal de TV.

3.1. ESTACION BASE (BTS)

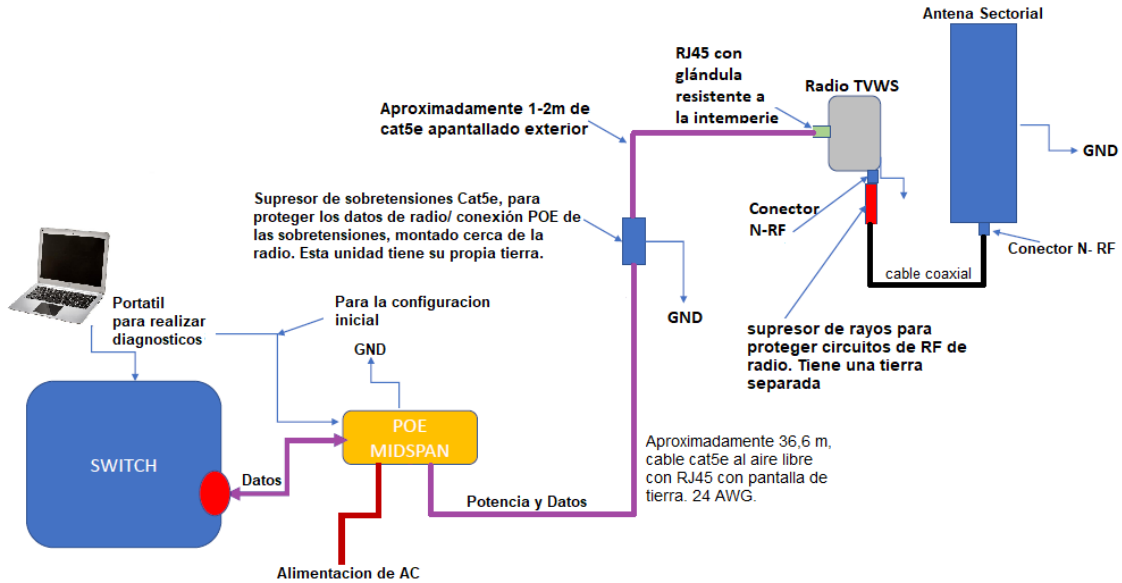
A continuación se muestra un diagrama de bloques para mostrar cómo la radio GWS se puede utilizar en una red de la estación base. La BTS se alimenta a través de una toma intermedia POE. La mitad del tramo acepta alimentación de AC y está diseñado para implementaciones internacionales con un rango de entrada de 100V-240V, 50-60 Hz. La mitad del tramo a continuación, combina los datos de Ethernet junto con una tensión de polarización de DC en el cable de la Cat5e. El cable Ethernet desde un ordenador personal puede ser conectado directamente a la toma intermedia POE, o Router como se muestra en la Figura 99.

Figura 99. Diagrama de Bloques Estacion Base (BTS).



Fuente: 6Harmonics Inc.

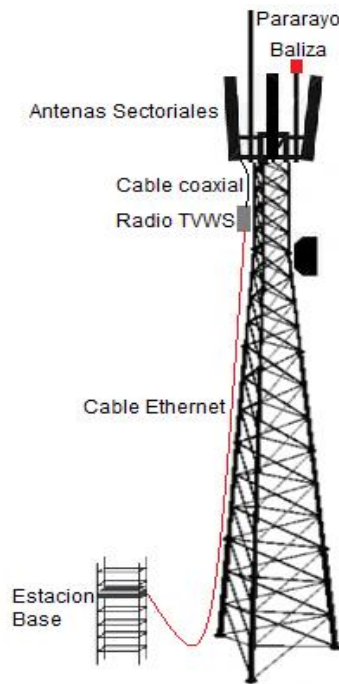
Figura 100. Diagrama Instalación Estación Base (BTS).



Fuente: Elaboración Propia

Es importante tener en cuenta que el conector RJ45 en la radio tiene una pantalla de conexión a tierra, pero no está conectada al gabinete de la radio. Esto es para evitar bucles de tierra. El circuito cat5e y el gabinete/ cable RF/antena debe tener circuitos de tierra separados.

Figura 101. Representación Gráfica de la Estación Base (BTS).

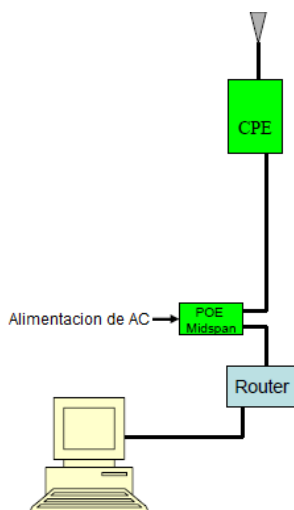


Fuente: Elaboración Propia

3.2. ESTACION CLIENTE (CPE)

A continuación se muestra un diagrama de bloques para mostrar cómo la radio GWS se puede utilizar en una red. En este caso el CPE también puede ser alimentado a través de una toma intermedia POE. La mitad del tramo acepta alimentación de AC y está diseñado para implementaciones internacionales con un rango de entrada de 100V-240V, 50-60 Hz. La mitad del tramo a continuación, combina los datos de Ethernet junto con una tensión de polarización de CC en el cable de la Cat5e. El cable Ethernet desde un ordenador personal puede ser conectado directamente a la toma intermedia POE, o Router como se muestra.

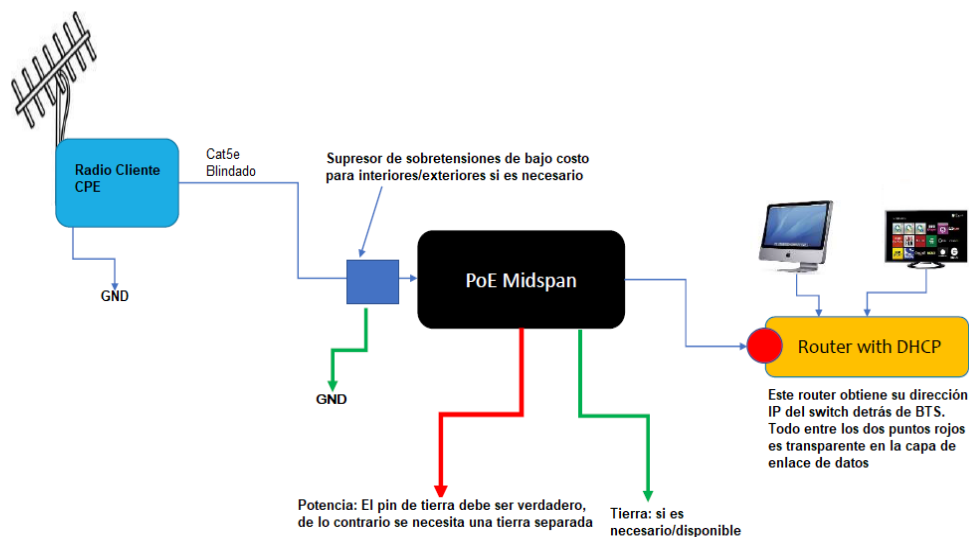
Figura 102. Diagrama de Bloques Estación Cliente



Fuente: 6Harmonics Inc.

Debido al costo, los supresores de rayos de RF y los supresores de sobretensiones de Ethernet normalmente no se usan en el CPE. Usualmente algunas construcciones tienen un circuito de tierra de alimentación de AC deficiente, lo cual puede causar problemas. La toma intermedia POE se basa generalmente de la tierra doméstica.

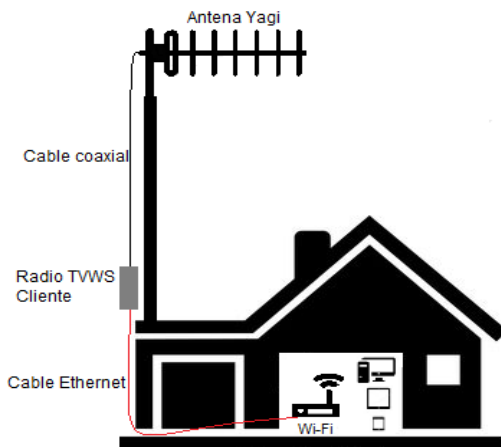
Figura 103. Diagrama Instalación Estación Cliente (CPE)



Fuente: Elaboración Propia

La conexión a tierra no siempre es posible en la azotea o techo en una zona residencial. Generalmente, se permite que la radio CPE tenga su verdadera tierra. La funda del cable Ethernet cat5e no está conectada a la caja, pero la funda cat5e si está conectada a tierra a través de la tierra de la toma intermedia POE.

Figura 104. Representación Gráfica de la Estación Base.

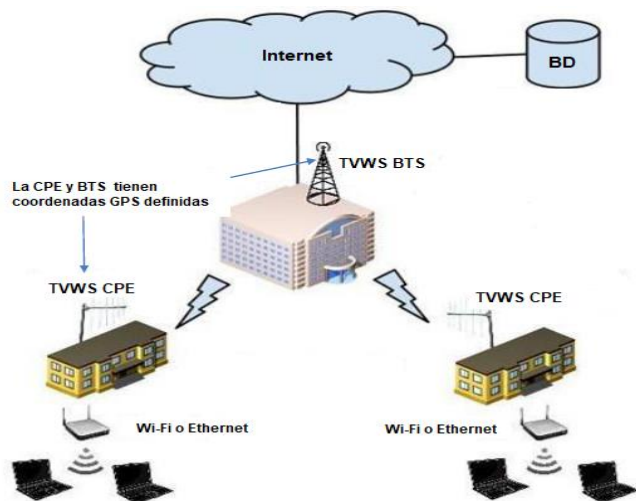


Fuente: Elaboración Propia

La topología de red propuesta es esencialmente un punto a punto (PTT) y un punto a multipunto (PtMP) con una estación base TVWS montado en la parte superior de la torre de telecomunicaciones del sitio de prueba para la Estación Base y la antena externa en la Estación Cliente como se ilustra en la Figura 105. La Estación Base TVWS debe estar registrada con un proveedor de base de datos de geocalización autorizado (la ANE en este caso), que le

proporciona información sobre los canales TVWS disponibles dentro de su área de cobertura, así parámetros adicionales, como máximo EIRP permitida para ser utilizados en cada canal.

Figura 105. Ejemplo de Topología de Red TVWS



Fuente: 6Harmonics Inc.

El equipo TVWS en el extremo del cliente se debe instalar profesionalmente y funcionar en modo maestro-esclavo bajo el mando de la Estación Base. Por último, la conectividad local podría ser distribuida a dispositivos de usuario final mediante una conexión fija (Ethernet), o de forma inalámbrica a través Wi-Fi.

4. CAPITULO IV: ANALISIS TECNOLOGICO

En este apartado se describen las características tecnológicas y técnicas de los dispositivos de Redline Communications y 6Harmonics, fabricantes de los radios Ellipse, Enterprise y GWS 4000 SERIES respectivamente, cuyas características se usaron para realizar los cálculos matemáticos y las simulaciones en las herramientas de simulación Radio Mobile y Xirio-Online. También se incluyen las especificaciones de las antenas cuyos parámetros fueron utilizados en las simulaciones y cálculos.

4.1. REDLINE COMMUNICATIONS

4.1.1. *Radio para Estación Base: REDLINE RDL – 3000 XP ELLIPSE*

El RDL-3000 XP Ellipse gestiona todas las funciones de seguridad, la programación del tráfico y calidad de servicio (QoS) para la extensa familia de terminales exteriores TCP / IP inalámbrica de datos a distancia de Redline. Esta estación base inalámbrica altamente configurable cuenta con potentes capacidades de procesamiento para transportar de forma fiable cualquier mezcla de tráfico inalámbrico entre la estación base y múltiples sitios remotos. Características y Beneficios:

- El concentrador de transporte altamente confiable admite todos los terminales de datos inalámbricos remotos RDL-3000 XP, incluidos los sistemas de adquisición automática
- Alto rendimiento para el transporte simultáneo de servicios de telemetría y telecontrol M2M, datos, video y voz
- Recinto duradero para todo clima para un funcionamiento confiable en temperaturas extremas y condiciones ambientales
- La monitorización inalámbrica, la configuración y las funciones con clave de software permiten actualizaciones sin acceso físico
- La arquitectura definida por software mejora la confiabilidad y la vida útil del servicio

En la figura 106, se describen las especificaciones tecnológicas de la radio para la estación base RDL-3000 XP

Figura 106. Especificaciones del Radio Ellipse RDL-3000 XP

Max Tx Power	+31 dBm ¹ (Max combined tx power, MIMO mode/frequency band specific)	Network Features	Transparent bridge, DHCP pass-through, 802.1Q VLAN (Q-in-Q), VLAN Whitelisting, Syslog, SNMP, spectrum analyzer
RF Band (MHz)	470-698 ¹ , 2000-2300 ¹ , 2300-2700 ¹ , 3300-3800 ¹ , 4940-5875 ¹	Layer 2	160 Mbps aggregate ¹
Antenna Info	External MIMO sectoral or omni directional	Latency	<10 ms
Capability	LOS/OLOS/NLOS software-defined PMP Base Station ¹ or PTP terminal ¹	Processing (PPS)	>280,000
Wireless QoS	Auto link distance ranging, auto channel scanning, optimal channel selection, ATPC, DFS	MAC	Per link: dynamic ARQ, dynamic adaptive modulation, dynamic and fixed frame, Fast Fusion Link Adaptation
Transmission	OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing), TDQ/TDMA 2 x 2 MIMO A/B with STBC & MRRC, high-rejection Tx/Rx filtering	QoS	802.1p, 802.3x, CIR & PIR settings, up to 8 services per terminal
Throughput	Up to 186.6 Mbps ¹ UBR	Management Interface	Redline ClearView NMS, SNMP v2c/v3, HTTP/HTTPS (Web), Telnet/SSH (CLI), Management VLAN tagging, RADIUS User Authentication
Channel Size (MHz)	0.875/1.25/1.75/2.5/3.5/5/6/7/10/12/14/20 (software selectable ¹)	Provisioning	MAC-Based; Template-based ¹ ; Automatic using Redline ClearView NMS ¹
Modulation & Coding	BPSK to 256 QAM 7/8 ¹	Redundancy	1+1 Warm Standby ¹ , HSR, PRP or RSTP compatible
Spectral Efficiency	9.3 bits per second per Hertz	Location & Timing	Built-in GPS ¹
Channel Efficiency	Up to 93%	Power	<17W; Standard IEEE 802.3at (PoE); CAT5 cable 100m (330 ft) max
Max Range	150 km (93 mi)	Temperature	-40 to 75 °C [-40 to 167 °F] ¹
Number of Remotes	120	Connections	10/100 Ethernet (RJ-45), 2xRF NFI, GPS TNC(I)
Security	Management Encryption: TLS v1.2, AES-256, SHA1, Device Authentication: ECDSA digital signature-based authentication or MAC-based mutual authentication, Data Encryption: AES-128/256 with ECDH secure key exchange (over-the-air, FIPS 197 compliant), NIST FIPS-140-2	Surge Protection	Built-in: PoE and RF ports
		Enclosure	IP67 (IEC 60259)
		Humidity	100% humidity, condensing

Fuente: Redline Communications. Wireless Base Station for Redline Outdoor Wireless TCP/IP Data Terminals

4.1.2. Radio para Estación Cliente: REDLINE RDL – 3000 XP ENTERPRISE

Suscriptor remoto inalámbrico 470-698 MHz para acceso inalámbrico. El Equipo de premisa del cliente (CPE) inalámbrico proporciona transporte TCP/IP de alto rendimiento para acceso dedicado, trunking y aplicaciones de backhaul de rango medio. Ya sea desplegado en pares para servicio punto a punto (PTP) o conectado desde múltiples sitios a la estación base de la serie Redline Ellipse en aplicaciones punto a multipunto (PMP), los terminales Enterprise ofrecen servicios confiables y simultáneos de voz, datos y video.

En las regiones reguladas de TV Whitespaces (TVWS), la 'radio cognitiva' Enterprise emplea de manera eficiente el acceso dinámico a la tecnología de asignación de recursos para el espectro compartido (canales). De acuerdo con las regulaciones regionales, hasta 10 canales no TVWS adicionales pueden estar disponibles para ofrecer mayores rendimientos o evitar la interferencia local. La capacidad de proporcionar una excelente cobertura a través de follaje denso y sobre el agua permite un acceso confiable a áreas poco prácticas utilizando sistemas de banda superior. El rendimiento superior permite altitudes de antena más bajas y costos de implementación significativamente reducidos. Las opciones flexibles de montaje y el aprovisionamiento completo por aire reducen los costos iniciales y producen un retorno de la inversión más rápido.





En la Figura 107, se describen las especificaciones técnicas del Suscriptor remoto inalámbrico 470-698 MHz para acceso inalámbrico RDL – 3000 XP ENTERPRISE.

Figura 107. Especificaciones del Suscriptor Remoto Inalámbrico RDL – 3000 XP ENTERPRISE

Capability	LOS/OLoS software-defined PMP [std.] or PTP terminal [software keyed option] ¹
Channel Access	Scheduler with ARQ [Automatic Repeat Request]
Channel Efficiency	Up to 93%
Channel Size	6/12/18 MHz; 0.875/1.75/3.5/7/14 MHz; 1.25/2.5/5/10/20 MHz [software selectable] ¹
Modulation & Coding	BPSK to 256 QAM 7/8 ¹
RF Band	470-698 MHz ¹ with notch at 602-620 MHz
RF Features	Dynamic and multiple Fixed Frame profiles; Fast Fusion Link Adaptation; Frequency scanning; Spectrum Analyzer
Spectral Efficiency	9.3 bits per second per Hertz
Transmission	OFDM, TDD/TDMA 2 x 2 MIMO A/B with STBC & MRRC, high-rejection Tx/Rx filtering
Wireless Throughput	Up to 186.6 Mbps UBR ¹
NETWORK	
Latency	<10 ms
Layer 2	160 Mbps max. aggregate ¹
Management Interface	Redline ClearView NMS, SNMP v2c/v3, HTTP/HTTPS (Web), Telnet/ SSH (CLI), Management VLAN tagging, RADIUS User Authentication, OTA software upgrades
Metered Data Speeds	From 512 Kbps to Unlimited [Software keyed option] ¹
Network Features	Transparent bridge, DHCP pass-through, 802.1Q VLAN (Q-in-Q), VLAN, Whitelisting, Syslog, SNTP
Packet Processing	>280,000 Packets/second
Provisioning	MAC-Based; Template-based; Automatic using Redline ClearView NMS ¹
QoS	802.1p, 802.3x, CIR & PIR settings, up to 8 services per terminal
Security	Management Encryption: TLS v1.2, AES-256, SHA256
ENVIRONMENTAL	
Enclosure	IP 67 (IEC 60259), Chromate finished aluminum.
Humidity	100% humidity, condensing
Power Requirement	<17 W; standard IEEE 802.3at (PoE) over CAT5 cable 100 m (330 ft) max.
Surge Protection	Built-in: PoE and RF ports
Temperature	Operation: -40 to 60 °C (-40 to 140 °F) dynamic and thermal dissipation (no moving parts) Short-Term Storage: -50 to 85 °C (-58 to 185 °F)
COMPLIANCE	
Bands:	600 MHz ¹ : IC RSS-196, FCC Part 15H
EMC:	EN 301 489-1, EN 301 489-17
Safety:	IEC, EN, and UL/CSA 60950
Security	FIPS 197 compliant
Other:	RoHS compliant
PATENTS	
Website:	Protected by U.S. Patents 8,711,920 8,750,365 8,711,921. Additional patents may be pending in the U.S. and elsewhere (rdlicom.com/patents).

Fuente: Redline Communications. 470-698 MHz Wireless Remote Subscriber for Premium Wireless Access

Figura 108. Embalaje del suscriptor Remoto Inalámbrico Enterprise RF 470 - 698 MHz.

Antenna	Up to +26 dBm max., external MIMO				
Connections	1x 10/100 Ethernet (RJ-45) 2x RF N(F)	Enterprise RF Ext. Antenna 2xN(f) 10/100 Eth RJ-45	Lightweight Mounting Kit	Ethernet Port Gland	AC PoE Power Adapter
Dimensions / Weight	306.8 x 230 x 60.3 mm (12.079 x 9.06 x 2.375 in) 2.7 kg (6.0 lbs) (without bracket or antenna)				
In the Box	RDL-3000 XP Enterprise RF 470-698 MHz, RJ-45 Ethernet port, port gland, dust caps, AC-DC PoE (802.3at) and mounting kit for wall or 1.75-4.5" (25-115 mm) pole				

Fuente: Redline Communications.

4.2. 6HARMONICS

4.2.1. Radio para Estación Base y Estación Cliente – GWS 4000 SERIES

La serie GW S4000 es una verdadera radio cognitiva capaz de operar en uno o dos canales con tasas de rendimiento de hasta 33 Mbps UDP por enlace de radio.

Beneficios

- Disponible como canal único (6MHz) y canal dual (12MHz) para permitir el uso óptimo de los canales de espacio en blanco disponibles
- Opera en canales de TV de 14 a 51 (470 MHz-98MHz)
- Hasta 23dBm de potencia de transmisión
- Punto a punto, punto a multipunto o malla
- Según el escenario de despliegue, se pueden establecer enlaces de más de 20 km.
- Baja latencia, por lo general <5mS retraso de ida y vuelta
- Alimentación a través de Ethernet
- Consumo de energía <25W con potencia de transmisión de 23dBm; ~ 5W en modo de recepción.
- Adecuado para enlaces de acceso y backhaul
- El gabinete IP67 opera en un amplio rango de temperaturas y resiste la humedad y la precipitación

Especificaciones de radio

- Modulación OFDM adaptable desde BPSK ½ tasa a 64QAM 5/6 tasa
- Sensibilidad de recepción: ancho de canal de 12 MHz, -95dBm; Ancho del canal 6MHz -98 dBm
- Control automático de potencia de transmisión en incrementos de 1dB
- Bloqueo de canal adyacente para -3dB pérdida de sensibilidad de recepción, -41dBm
- Bloqueo de canal alternativo para -3dB pérdida de sensibilidad de recepción, -39dBm
- Modo de equidad de tiempo aire
- Seguridad PSK/WPA/WPA2
- Encriptación AES de 256 bits
- Se admite el modo de alto rendimiento (HT)
- Interfaz GUI o Telnet para administración
- SNMPv2
- Agregación de paquetes A-MPDU, A-MSDU
- El analizador de espectro incorporado permite optimizar elección del canal de operación
- Base de datos predeterminada de Spectrum Bridge
- Certificado según la Parte 15 de la FCC, Subparte H

En la Figura 109, se observan las especificaciones técnicas del Radio GWS 4000 SERIES de 6Harmonics.

Figura 109. Especificaciones Radio GSW 4000 series de 6Harmonics.

Power Specifications	
Operating Voltage:	100-240V, 50-60Hz AC
Operating Current:	1.5 A max
AC Operation:	Universal AC PoE, DC PoE injector optional
Power Consumption:	~5 Watts in receive mode, ~25 Watts in transmit mode
Mechanical	
Dimensions:	215 mm (H) x 215 mm (W) x 65 mm (D)
Weight:	3.5kg including accessories
Housing:	Die Cast Aluminum
Mounting:	Wall or Pole Mount
Ethernet Interface:	1 port (WAN & LAN) Auto-sensing 10/100Base-T Ethernet, IP67 RJ45 Connector
Antenna Connection:	IP67 N-Type (Female) connector
<i>Mounting kit and cables provided separately.</i>	
Environmental	
Operating Temperature:	-40°C to 50°C
Storage Temperature:	-40°C to 70°C
Operating Humidity:	IP67 rated
Electrostatic Discharge:	15kV air, 8kV contact
Altitude and Temperature Derating	
Altitude (m)	Operating Temperature
0 m	0° C to +50.0° C
1500 m	0° C to +47.3° C
3000 m	0° C to +44.3° C
4500 m	0° C to +41.1° C

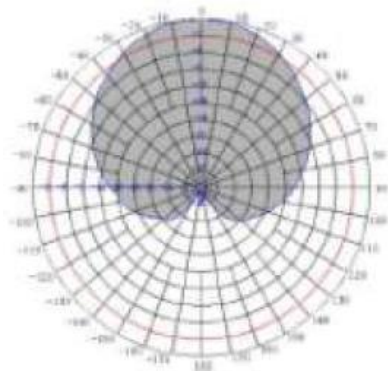
Fuente: 6harmonics GWS 4000 SERIES RURAL BROADBAND SOLUTION.

4.3. ANTENAS

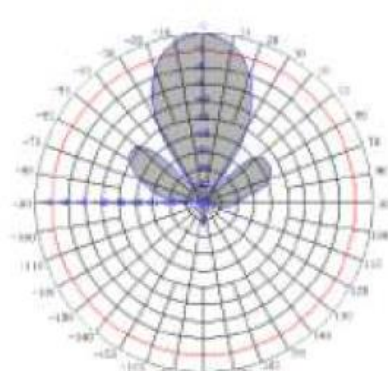
Figura 110. Antena para la estación base: SL12948B 12dBi Sectorial de 6Harmonics.



Electrical Specifications	
Frequency Range	468-700MHz
VSWR	<1.5
Input Impedance	50 Ω
Gain	11 \pm 1dBi
Polarization	Vertical
Horizontal Plane Θ_{HP}	90 \pm 8°
Vertical Plane Θ_{VP}	35 \pm 6°
Beam Electrical Downtilt	0°
Front to Back Ratio	20dB
Maximum Input Power	100W
Connector Type	N- Female
Lightning Protection	DC ground
Mechanical Specifications	
Antenna size	956mm \times 417mm \times 132mm
Packing size	1120mm \times 450mm \times 270mm
Antenna weight	11kg(including mounting kit)
Packing weight	15.3Kg
Rated Wind Velocity	210km/h
Radome material	UV Protected PVC
Diameter of installation pole	Φ 50mm ~ Φ 110mm
Working Temperature	-40~+60°C



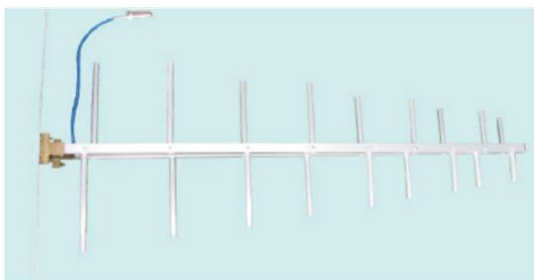
Horizontal Pattern



Vertical Pattern

Fuente: 6Harmonics. GWS Deployment Guide. Antenna Portfolio.

Figura 111. Antena para las estaciones cliente: SL14174A 8dBi Direccional



Electrical Specifications	
Frequency Range	470-800MHz
VSWR	≤1.5
Input Impedance	50 Ω
Gain	8±1dBi
Polarization	Vertical or Horizontal
Horizontal Plane Θ_{HP}	75°
Vertical Plane Θ_{HP}	60°
Front to Back Ratio	≥15dB
Maximum Input Power	100W
Connector Type	N -Female
Lightning Protection	DC ground
Mechanical Specifications	
Working Temperature	-40°C~+60°C

Fuente: 6Harmonics. GWS Deployment Guide. Antenna Portfolio.

4.4. ESPECTRO DE TELEVISION, FRECUENCIAS EN USO Y DISPONIBLES EN NUNCHIA CASANARE

En la figura 112 se muestra la reordenación del Plan Técnico de Televisión post apagón analógico, se observa el Dividendo Digital (Banda 700MHz). Este cuadro se incluye para que el lector identifique a frecuencia corresponde el # de canal.

Figura 112. PTTV post apagón/reordenación

Frecuencia MHz (Start)	# Canal	OPERADOR	Banda
470	14	CARACOL	Banda Primaria TV
476	15	RCN	
482	16	RTVC	Banda Secundaria TV
488	17	REGIONAL	
494	18	REGIONAL	
500	19	3º CANAL	
506	20	4º CANAL	
512	21	CARACOL	
518	22	RCN	
524	23	CARACOL	
530	24	RCN	
536	25	COMODIN	
542	26	COMODIN	
548	27	3º CANAL	
554	28	3º CANAL	
560	29	4º CANAL	
566	30	4º CANAL	
572	31	REGIONAL	
578	32	REGIONAL	
584	33	RTVC	
590	34	RTVC	
596	35	COMODIN	
602	36	COMODIN	
608	37	Radioastronomía	Banda Secundaria TV
614	38		
620	39		
626	40		
632	41		
638	42		
644	43		
650	44		
656	45		
662	46		
668	47		
674	48		
680	49		
686	50		
692	51	FRONTERA 1º DD	DIVIDENDO DIGITAL (BANDA 700MHz)
698	52		
704	53		
710	54		
716	55		
722	56		
728	57		
734	58		
740	59		
746	60		
752	61		
758	62		
764	63		
770	64		
776	65		
782	66		
788	67		
794	68		
800	69		

Fuente: Plan Técnico de Televisión (PTTV) Colombia. Agencia Nacional del Espectro.

La Agencia Nacional del Espectro a través del Registro de Frecuencias del Servicio de Televisión Radiodifundida publicado en su sitio web pone de dominio público la información de las frecuencias en uso en cada municipio del país, es decir las asignadas a algún Operador: Nacional Publico, Publico Regional, Nacional Privado o Local sin Animo de Lucro. En la Tabla 20 se

muestran los canales en uso por la Televisión Analógica en el Municipio de Nunchía Casanare según el Registro de Frecuencias actualizado en agosto de 2017.

Tabla 20. Frecuencias en uso por la TV Analógica en Nunchía Casanare.

Código DANE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	OPERADOR NACIONAL PUBLICO			OPERADORES PUBLICOS REGIONALES					OPERADORES NACIONALES PRIVADOS				
			CANAL ANALOGICO			CANAL DIGITAL	CANAL ANALO G. 1	CANAL ANALO G. 2	CANAL DIG. 1	CANAL DIG. 2	OPERADOR	RCN		CARACOL	
			C	C	S	CANAL ANALO-GICO						CANAL DIGITAL	CANAL ANALO-GICO	CANAL DIGITAL	
85225	CASANARE	NUNCHIA	3	6	8		23				Teveandina	10		12	

Fuente: Registro de Frecuencias del Servicio de Televisión Radiodifundida. ANE.

La tabla anterior muestra que no hay frecuencias asignadas para canales digitales en este municipio. Por otra parte, La ANE también tiene disponible en su sitio web el ‘Registro de Frecuencias Disponibles’ por municipio, dicho registro supone un método sencillo para estimar el espectro no utilizado, también conocido como “espacio en blanco”. La Tabla 21, muestra la disponibilidad de canales de televisión no utilizados en Nunchía Casanare, 45 canales en total (270 MHz).

Tabla 21. Frecuencias en disponibles en Nunchía Casanare.

Código DANE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	FRECUENCIAS DISPONIBLES POR MUNICIPIO
85225	CASANARE	NUNCHIA	2, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Fuente: Registro de Frecuencias disponibles. ANE.

De acuerdo a las frecuencias disponibles se determinará la elección de los canales TVWS disponibles en las zonas de interés. Observando las grandes porciones de espectro disponible de TV en UHF, TVWS ofrece una oportunidad potencial, debido a las características mejoradas de propagación cuando se opera a frecuencias bajas y debido a la gran disponibilidad de espectro de espacio en blanco en las zonas rurales alejadas. Además, la proposición TVWS es un atractivo como el espectro es efectivamente libre a los usuarios secundarios siempre y cuando no interfieran con la red primaria. En consecuencia, alternativas inalámbricas utilizando TVWS, sería una solución reducir la brecha digital en este Municipio y en muchos lugares del territorio nacional.

5. ANALISIS ECONOMICO

En las tablas siguientes (22 y 23) se encuentran las cotizaciones de los dispositivos de los dos fabricantes utilizados para las simulaciones y cálculos, Redline Communications y 6Harmonics respectivamente.

Teniendo en cuenta que los precios son de Ontario Canadá, hay que tener presente los gastos de envío, la prioridad de envío de FedEx es de aproximadamente US\$ 2,610.05, la económica es de US\$ 1,703.98.

Tabla 22. Cotización de dispositivos de Redline Communications.

REDLINE COMUNICATIONS			
Ítem	RDL Product Descripción	Can-tidad	Valor Total (US\$) Dólares
	Base Station- RDL3000 XP Ellipse 470-698MHz		4,736.00
1	Antenna Sectoral 470-698MHz UHF 11 dBi 5ft(1.5m) 90deg Dual-Pol Ant 2xN(f) GPS TNC(f) DT-MNT RF-JMP	1	
2	POE Power Injector AC Power Cord 6ft (1.8m) Shielded - North American Plug	1	
3	POE Power Injector AC 100-240VAC IP 30W 802.3at Shelf-Wall 10/100/1000BaseT 2xRJ45 HI-Pwr UHF ONLY	1	
4	RDL3000 XP Ellipse 470-698MHz Base Station RF-2xN(f) GPS-1xTNC(f) Eth-1xRJ45 100Base-T Gland	1	
5	Surge Arrestor Ethernet 100 Mbps PoE-Compatible Outdoor Pole or Wall Mount Industrial 2xRJ45 Jacks	1	
6	Surge Arrestor Mounting Bracket - Pole Up to 5in(125mm) Use with LP-POE-ALPU-01 & LP-DC-48V-01	1	
7	Options Key RDL3000 XP Ellipse PMP up to 20 Remotes Max Mbps	1	
	Customer station – RDL3000 XP Enterprise 470-698MHz		2,358.00
8	RDL3000 XP Enterprise RF 470-698MHz 2xN(f) Eth-RJ45 AC-POE (AT) Gland MNT	3	
9	Surge Arrestor Ethernet GigE PoE-Compatible Outdoor Wall Mount 2xRJ45 Jacks	3	
10	POE Power Injector AC Power Cord 6ft (1.8m) Shielded - North American Plug	3	
11	Antenna Log-P Directional 470-698MHz 11dBi 46in(116cm) 65deg v or h-pol 24in Lead N(m) MNT 1/box	6	
12	Options Key RDL3000 XP Enterprise 5 Mbps	3	

	Support		709.00
13	RedCare: Support Plan - 12 Months - H/W + S/W + TAC - 10% of H/W & S/W List Price		
Total			7,803.00

Fuente: Red Line Communications. Quote Number BOQ-0735.

Tabla 23. Cotización de dispositivos 6Harmonics.

6HARMONICS GWS4000 Series				
Ítem	Descripción	Cantidad	V/Unidad (US\$)	V/Total (US\$)
Base Station				
1	TVWS BTS Radio for 6/12/18/24MHz: Ch. 14-51 with N-Type Connector, 33dBm outdoor enclosure	1	2,698.00	2,698.00
2	GWS 500x POE Midspan Input Voltage: 90-264 VAC @ 47-63 Hz, 802.3af	1	160.00	160.00
3	GWS radio outdoor installation kit including mounting brackets, water seal, RF connector	1	98.00	98.00
4	UHF High Gain Omni Antenna 470-790 MHz 6 dBi, 50 Ohm with N-Type connector	1	420.00	420.00
5	12dBi 120o sectorised antenna, with connector cables	1	480.00	480.00
6	GWS POE Surge Arrestor	1	150.00	150.00
7	GWS RF Lightning protection	1	50.00	50.00
Customer Station				
8	TVWS CPE Radio for 6/12/18/24MHz: Ch. 14-51 with N-Type Connector, 33dBm outdoor enclosure	3	768.00	2,304.00
9	GWS 500x POE Midspan Input Voltage: 90-264 VAC @ 47-63 Hz, 802.3af.	3	160.00	480.00
10	GWS radio outdoor installation kit including mounting brackets, water seal, RF connector	3	98.00	294.00
11	UHF TVWS Yagi Antenna 400MHz-800MHz 8dBi, 50 Ohm with N-type connector and cable	3	110.00	330.00
12	NID grounding unit	3	14.00	42.00
Sub-total Equipment				7,506.00
Shipping Estimate				2,450.00
Total				9,956.00

Fuente: 6Harmonics. Quote Number 3113.

En las tablas siguientes (24 y 25) se aprecia el presupuesto y materiales necesarios en cada propuesta.

Tabla 24. Cotización de alquiler de espacio en torre. PROPUESTA N°1:

Alcance de Productos y Servicios de esta Propuesta					
Referencia	Descripción	Cantidad	V. Mensual	IVA	\$ TOTAL
AR-001	ALQUILER DE ESPACIO EN TORRE EN CERRO VENADOS YOPAL-CASANARE	1	\$ 600.000	19%	600.000
SUBTOTAL					600.000
IVA					114.000
TOTAL DOCUMENTO					714.000

Fuente: Ditelcom Ltda. Cotización No. 1096

Tabla 25. Cotización de Construcción de Torre Nueva. PROPUESTA N°2:

TORRE RIENDADA DE 30 MTS – NUNCHIA CASANARE					
Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V/Unitario	\$ V/total
1	Excavación en suelo tipo II	un	5	85.000	425.000
2	Cimentación concreto de 3000psi reforzado acero 60000psi	un	4	750.000	3.000.000
3	Fabricación de torre 30 mts en tubo estructural de 1" y varilla 10 mm doblada en zig. Zag. X 35 cm triangular, dividida en 10 secciones de 3 mts C/U, galvanizada por inmersión en caliente	gl	1	4.100.000	4.100.000
4	KIT de Instalación, 300 mts de cable súper GX de 1/4, 12 tensores de 5/8, 50 perros de Amarre de 1/4 tipo pesado, 115 tornillos de 3/8 x 2", 3 varillas de anclaje, un tornillo central, y pintura	gl	1	1.294.625	1.294.625
5	Luz de Obstrucción. Un juego de faros tipo led y caja foto control cable de alimentación	gl	1	1.650.000	1.650.000
6	Línea de vida con soportes	gl	1	1.850.000	1.850.000
7	Sistema de Pararrayos: Pararrayos tipo franklin, 5 puntas, posos de electrodos con 3 varillas de cobre de 1,80 cable de bajada 45 de cobre 2/0, 3 soldaduras isotérmicas, compuesto químico hidrosolta, 45 kg , 1 tubo de 1" galvanizado	gl	1	1.837.500	1.837.500
8	Instalación torre incluye accesorios y pintada	ml	30	165.000	4.950.000
9	Viáticos del personal	gl	1	1.200.000	1.200.000
10	Transportes de materiales y personal	gl	1	1.650.000	1.650.000
Costo Directo					21.957.125
IVA				19%	4.171.854
Gran Total					26.128.979

Fuente: Torres y Montajes Ávila SAS. Cotización No. 706

6. CONCLUSIONES

La investigación documental realizada deja una idea del estado del arte en el tema de los espacios en blanco de Televisión, así como de los avances relacionados para el despliegue eficiente de dispositivos que trabajan según ese concepto, los enfoques sobre el tema en la actualidad y los actores más importantes para el desarrollo tecnológico.

De acuerdo al marco legal, es importante resaltar que Colombia en el marco de la Cumbre mundial anual de la Dynamic Spectrum Alliance (DSA) recibió el premio de Innovación por proponer la primera normatividad sobre espacios en blanco en Latinoamérica, desde el punto de vista de la gestión del ERE, la ANE expidió la resolución 461 del 1 de agosto de 2017, lo que, según Martha Liliana Suarez, directora de la ANE, permitirá “buscar nuevas opciones para ofrecer Internet de banda ancha en zonas apartadas”, con este tipo de iniciativas contribuiremos a cerrar la brecha digital.”, concluyó.

Colombia ya cuenta con pruebas de funcionamiento de dispositivos de espacios en blanco (TVWS) utilizando frecuencias atribuidas al servicio de televisión radio difundida que se encuentran libres, prueba de ello son los pilotos y proyectos de transformación tecnológica hechos en el país, beneficiando a escuelas rurales, agricultores y entidades gubernamentales.

Optimizar y aumentar la cobertura de Internet en zonas rurales alejadas en el país requiere del componente que ofrece la tecnología, en este caso es útil los TVWS. La Radio cognitiva apoyada en bases de datos confiables, ha abierto el camino para que cada vez más organizaciones y países se interesen en el uso de esta tecnología para hacer un más uso eficiente del espectro, el enfoque oportunista de esta, al conocer su entorno de radiofrecuencia y operar de forma autónoma ha sido factible hasta la actualidad ya que su implementación, así como del SDR, como tecnologías complementarias a los TVWS, plantean mejoras en la forma de acceder y administrar el espectro radioeléctrico, dado su gran adaptabilidad entre los estándares, tecnologías emergentes y los TVWS, con los estándares IEEE 802.22 y IEEE 802.11af es posible optar por una topología de red punto a multipunto, es decir, que una estación base podrá conectarse con un número de estaciones clientes conectadas a la vez. Asimismo, es posible alcanzar áreas de cobertura de hasta 100 Km con una sola estación base con un nivel de rendimiento similar al de los servicios obtenidos con sistemas cableados xDSL. Por tal motivo es conveniente la implementación de sistemas TVWS rurales debido las prestaciones y características de estos estándares expedidos por la IEEE.

En el estudio, se pudo ver amplias zonas de cobertura en área geográfica del municipio, debido a las mejores condiciones de propagación de las señales en la banda de televisión, respecto a las otras tecnologías inalámbricas actuales, se logran mejoras en cuanto a la penetración de la señal y la robustez frente a obstáculos y obstrucciones del terreno. Se considera como una tecnología que puede aportar a disminuir la llamada “brecha digital” sobre todo en países en desarrollo como Colombia, donde la banda ancha es un servicio que no se ha masificado aún.

Finalmente, Nunchía Casanare como la mayoría de las zonas rurales de Colombia ha sufrido un servicio de Internet escaso o deficiente. Las principales causas son los gastos de una solución por cable y el bajo rendimiento de las soluciones inalámbricas actuales, los dispositivos TVWS suponen rendimiento sin línea de vista y una cantidad grande de espectro disponible lo que es muy prometedor ya que, en la mayoría de las áreas rurales, este espectro es muy poco utilizado por las estaciones de televisión radiodifundida.

Con el estudio de cobertura realizado en Nunchía se obtuvieron resultados a mi juicio optimistas en cuanto a las grandes zonas de cobertura, niveles de recepción de potencia en los sitios de prueba. Debido a la gran cantidad de espectro disponible sugiero que es viable la utilización de dispositivos de espacios en blanco, según el registro de frecuencias del servicio de Televisión Radiodifundida solo están siendo utilizados los canales 3, 6, 8, 10, 12 y 23 por los canales analógicos, y según el registro de frecuencias disponibles por municipio los canales: 2, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, están disponibles en este municipio, para efectos de simulación se usó la frecuencia de 473 MHz situada en el canal 14 (asignado al canal caracol) de la banda primaria de TV según la reordenación post apagón del Plan Técnico de Televisión (PTTV).

De acuerdo a que se encuentran diferencias significativas en los resultados con un método u otro, principalmente hablado de los resultados obtenidos en Radio Mobile, debido a que el software se basa en un modelo más completo y completo los resultados se consideran cercanos a los que se podrían medir en la realidad, en los cálculos y simulaciones en Xirio-online se obtuvieron resultados muy cercanos entre sí, podría decirse que ideales, pero no tan reales, dado a que usa un modelo básico, por lo que determinó que los datos obtenidos en Radio Mobile son más relevantes y se deben tomar como referencia y tener más en cuenta en el análisis de resultados.

Las propuestas formuladas en la realización de este trabajo se basan en la ubicación de las estaciones base en cerros de comunicaciones conocidos en el área de influencia, como se determinó en el análisis de resultados, sección mejor propuesta, recomiendo la segunda propuesta como más viable y escalable a futuro para la implementación de sistemas de comunicaciones TVWS en entornos rurales del municipio, ya que el cerro la palmita se ubica en una zona céntrica del territorio de Nunchía, garantizando cobertura en las grandes zonas de cobertura tanto en terreno llano, piedemonte y montañas, la idea es que a futuro se pueda ampliar el número de estaciones cliente y beneficiar a más instituciones y sectores interesados.

Teniendo en cuenta el costo económico de los dispositivos obtenidos en el apartado de análisis económico, las características técnicas y resultados obtenidos en los apartados de cálculos y simulaciones, en primera instancia recomiendo el uso de los dispositivos de RedLine Communications para la posible ejecución en un futuro de esta propuesta. Por otra parte, resalto también que la atención que recibí por parte de los asesores de 6Harmonics fue más inmediata, detallada y eficaz, sin desestimar que también se obtuvieron buenos resultados con estos dispositivos, quiero decir que también es una buena opción a utilizar.

REFERENCIAS

- [1] Julián D. Aránzazu. Cap. I Marco Conceptual. Recomendaciones para la optimización del espectro radioeléctrico Colombiano mediante un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en banas UHF contempladas entre 698 a los 806 Mega Hertz (MHz) producto de la transición de la Televisión Análoga a la Digital, Maestría en Telecomunicaciones y Regulación TIC, Universidad Santo Tomas, 2017.
- [2] Dr. Martha Suarez Peñalosa. Tecnología espacios en blanco, oportunidad de uso eficiente de espectro para incrementar la conectividad en Colombia. Congreso Internacional de TIC (ANDICOM), Agencia Nacional del espectro.
- [3] El reto, Espectro dinámico y espacios blancos de TV, Microsoft Research.
- [4] Resolución 461 de 2017, Agencia Nacional Del Espectro (ANE).
- [5] La oportunidad, Espectro dinámico y espacios blancos de TV. Microsoft Research.
- [6] Rendimiento sin línea de vista (NLOS), RuralConnect, Carlson Wireless Technologies.
- [7] Banco Mundial. 2009. Información y comunicaciones para el desarrollo: extensión de alcance e impacto creciente. Banco Mundial. © Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2636> Licencia: CC BY 3.0 IGO.
- [8] Capitulo 2. Definition of TV White. Broadband deployment through TV-White Space. Telecommunication Engineering Centre. Ministry of Communications and Information Technology. Department of Telecommunications.
- [9] Capitulo 3. Need for TVWS Technology. Broadband deployment through TV-White Space. Telecommunication Engineering Centre. Ministry of Communications and Information Technology. Department of Telecommunications.
- [10] Capitulo 4. Technical overview of communication system employing TV White Space. Broadband deployment through TV-White Space. Telecommunication Engineering Centre. Ministry of Communications and Information Technology. Department of Telecommunications.
- [11] Capitulo 4.2 TVWS Devices & Typical TVWS Architecture based on Geolocation Database technique. Broadband deployment through TV-White Space. Telecommunication Engineering Centre. Ministry of Communications and Information Technology. Department of Telecommunications.
- [12] Capitulo 4.3. Standards for Use of TV Band White Spaces. Broadband deployment through TV-White Space. Telecommunication Engineering Centre. Ministry of Communications and Information Technology. Department of Telecommunications.

- [13] Capitulo 5. TV White Space deployment scenarios. Broadband deployment through TV-White Space. Telecommunication Engineering Centre. Ministry of Communications and Information Technology. Department of Telecommunications.
- [14] P. Hernández, G. Caro. Uso del Espectro Radioeléctrico en Uruguay y Oportunidades para el Uso de Radio Cognitiva. Universidad de la Republica. Montevideo 2016.
- [15] G. Sunkel y D. Trucco. Las tecnologías digitales frente a los desafíos de una educación inclusiva en América Latina. Algunos casos de buenas prácticas. Publicación de las Naciones Unidas, 2012.
- [16] Ericsson. Ericsson Mobility Report. 2015.
- [17] <http://www.observacom.org/colombia-regula-el-uso-de-los-espacios-en-blanco-del-espectro-de-tv/>
- [18] Wayne Tomassi. Sistemas de Comunicaciones – Pag. 366 – 367.
- [19] Simón R. Saunders and Zavala. Antenas y Radio propagación para sistemas de comunicación inalámbricos. 2007.
- [20] <https://es.scribd.com/document/251662727/MODELO-DE-PROPAGACION-DE-LONGLEY-RICE>
- [21] https://www.xirio-online.com/help/es/rec_1546.htm
- [22] ITU-R Recommendation P.526-10, "Propagation by diffraction", ITU, Geneva, Switzerland, 2007.
- [23] Modulación por desplazamiento de fase (QPSK). Wikipedia. 2018. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_fase.
- [24] Edward A. Lee, David G. Messerschmitt, Digital Communication, Second Edition. KAP, 1994. (Ch. 16. - Carrier Recovery).
- [25] P. Hernández, G. Caro. Capítulo 5.4. Experiencias con Radio Cognitiva, uso del Espectro Radioeléctrico en Uruguay y Oportunidades para el Uso de Radio Cognitiva
- [26] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Television White Spaces (TVWS) Operation. IEEE standard 802.11af, diciembre 2013. ISBN: 978-0-7381-8748-8.
- [27] World's First IEEE 802.11af-compatible Baseband IC for TV White-space Wireless LAN Systems. NICT press release, diciembre 2015. Disponible en: <http://www.nict.go.jp/en/press/2015/12/16-1.html>.

- [28] World's First TV White Space Prototype Based on IEEE 802.22 for Wireless Regional Area Network. NICT press release, enero 2013. Disponible en: <http://www.nict.go.jp/en/press/2013/01/30-1.html>.
- [29] Disponible en: <http://queenstvws.com/TVWS%20Coverage%20New.htm>
- [30] Pilots and Demonstrations - Inter-American Development Bank. Microsoft Research, marzo 2012. Disponible en: <http://research.microsoft.com/en-us/projects/spectrum/pilots.aspx>.
- [31] Implementado globalmente en proyectos de TV White Spaces de todo el mundo, Aguadas Colombia. Proyecto: 2016.
- [32] Internet en Zonas Rurales, Microsoft Colombia, Microsoft revoluciona el acceso a la educación en zonas rurales.
- [33] Julián D. Aránzazu. Cap. II. Reglamentación, Programas e Iniciativas del estado Colombiano frente a la utilización de Espacios en Blanco. Recomendaciones para la optimización del espectro radioeléctrico Colombiano mediante un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en bandas UHF contempladas entre los 698 a los 806 MHz producto de la transición de la televisión análoga a la digital. Maestría en Telecomunicaciones y Regulación TIC, Universidad Santo Tomas, 2017.

ANEXO 1. RECOMENDACIONES

Red Principal

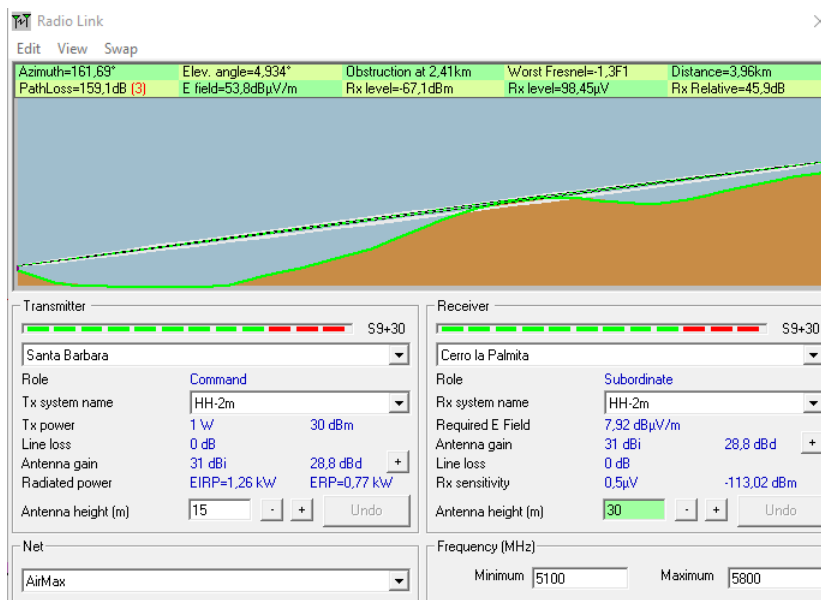
En términos de conectividad de red, la estación base puede ser alimentada por un conmutador Cisco o Netonix como una estación base Ubiquiti o Mimosa. Para efectos de simulación se utilizó una Ubiquiti RocketDish de la línea AirMax para la Interconexión de los puntos, la cabecera Municipal y el Punto de Prueba para la estación base (Cerro la palmita).

Para el diseño de la red troncal se necesita un ancho de banda grande y unos tiempos de respuesta bajos. Es por esta razón que se ha buscado interconectar las ubicaciones entre las que hubiera condiciones de línea de vista directa, este requisito no es indispensable para tener conectividad, pero sí lo es si requieren unas condiciones óptimas de funcionamiento.

Se busca la mayor cobertura posible alrededor de la estructura donde se lleve a cabo la instalación de los puntos de la red troncal secundaria (Pedregal, Las Mercedes y El Pretexto), y en el mismo punto donde se llevó a cabo la simulación de los dispositivos de la red troncal principal en el caso del cerro la Palmita.

En la Figura 113 se observa los datos del enlace simulado en radio Mobile, para la red troncal principal.

Figura 113. Simulación enlace de la red Principal. Radio Mobile.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 114 se observa la trayectoria de la señal sin obstrucciones, a pesar de haber colinas que podrían interrumpir la señal, se obtuvo un buen nivel de recepción de -67,1 dBm.

Figura 114. Enlace red Principal en Google Earth.



Fuente: Elaboración propia.

Red Secundaria

La red secundaria se compone de puntos que se interconectan con una topología en estrella con el punto central situado en el cerro la palmita. Los enlaces se llevarán a cabo usando dispositivos TVWS lo que constituye un sistema punto a multipunto.

En el cerro la Palmita se simulan tres antenas sectoriales de 120°, para tener cobertura en 360°. Mientras que en los puntos donde se encuentran los CPEs se utilizarán antenas de UHF direccionales Periódicas, el uso de antenas sectoriales reduce el rango de alcance, pero permitirá que se puedan establecer nuevas conexiones desde diversos puntos de las zonas de cobertura.

Proyecto Nacional de Fibra Óptica – PNFO

El PNFO busca promover la ampliación de la infraestructura de fibra óptica existente en el país, fomentando el despliegue de infraestructura óptica en el país, con puntos de llegada en las cabeceras municipales de cada uno de los municipios a beneficiar en el proyecto.

Con el Proyecto Nacional de Fibra Óptica se beneficiaron 788 municipios de Colombia y 2000 instituciones públicas para un total de 4.602.090 beneficiarios. De los 1075 municipios conectados la distribución se realizó así:

Alcance del Proyecto Nacional de Fibra Óptica

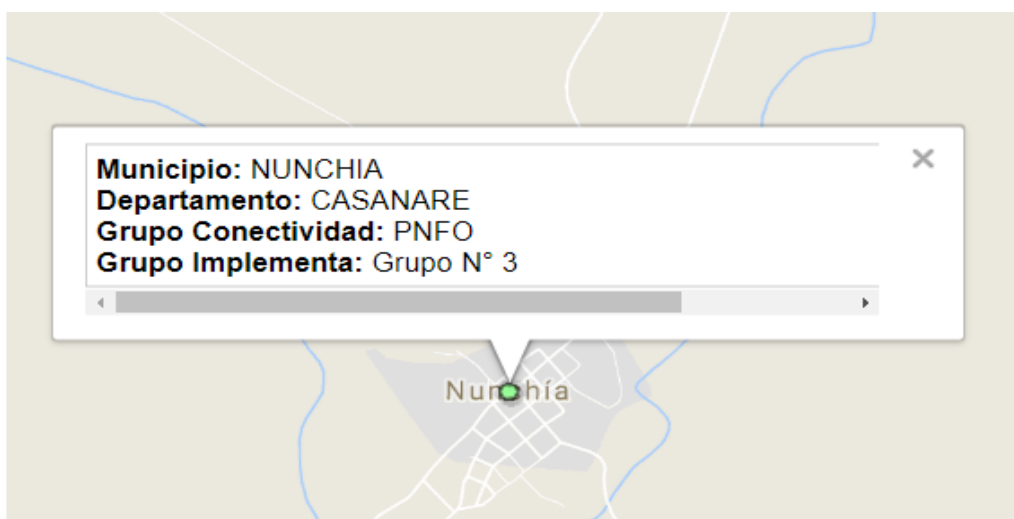
El Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones a través del Proyecto Nacional de Fibra Óptica buscan promover la ampliación de la infraestructura de fibra óptica

existente en el país, para así llegar a un mayor número de colombianos con mejores servicios, condiciones técnicas y económicas.

Para ello, el proyecto fomenta el despliegue de infraestructura óptica en el país, con puntos de llegada en las cabeceras municipales de cada uno de los municipios a beneficiar en el proyecto. La expansión, la cobertura y la comercialización de servicios de telecomunicaciones (banda ancha, televisión, telefonía, y otros) en cada uno de los municipios, estará a cargo del proponente que ejecute el proyecto u otros operadores interesados en la prestación de estos servicios.

El municipio de Nunchía es beneficiario en el proyecto, dato verificado, realizando la búsqueda del municipio dentro del mapa del Proyecto Nacional de Fibra Óptica. Ver Figura 115.

Figura 115. Nunchía incluido en el mapa del PNFO.



Fuente: MinTic.

Gracias a la gran capacidad de la fibra óptica y a su velocidad de transmisión, las personas pueden conectarse a la red mundial de la información 'Internet' de una manera rápida y obtener información de manera instantánea sobre eventos o sucesos que ocurren en el mundo, enviar información a través de correos electrónicos, disfrutar de nuevos servicios como la televisión a través de Internet y acceder a capacitaciones en línea. Todos estos beneficios se pueden obtener a través del uso de las redes de fibra óptica, que se transforman en la solución a muchos de los problemas de acceso y capacidad a redes de telecomunicaciones.

La noticia de que Nunchía contara con un nodo de Fibra Óptica en su cabecera municipal, supone una gran oportunidad para implementar la red TVWS de este trabajo, ya serviría como red de acceso a la red primaria y esta a su vez soportaría el tráfico generado por la red secundaria, la cual se implementaría con dispositivos TVWS.

ANEXO 2. CONDICIONES TÉCNICAS Y OPERATIVAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE ESPACIOS EN BLANCO EN LA BANDA 470 – 698 MHz

Esta sección de basa en el Anexo de la resolución 461 de 2017 por la cual se modifica la resolución 711 de 2016 para establecer las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco en Colombia.

DEFINICIONES

Servicio Primario: Servicio de radiocomunicaciones atribuido a título primario, conforme a lo dispuesto en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia.

Servicio Secundario: Servicio de radiocomunicaciones atribuido a título secundario, conforme a lo dispuesto en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia.

Espacios en Blanco: Acorde con la ANE, para el caso del territorio colombiano, los espacios en blanco son, frecuencias de la banda 470 MHz a 698 MHz que no están asignadas en un área específica y que pueden ser usadas por una aplicación de radiocomunicaciones de banda ancha en dicha área, sin causar interferencias perjudiciales a las estaciones de un servicio primario o secundario a las que se le hayan asignado o se le asignen frecuencias en el futuro.

Dispositivo de espacios en Blanco: Dispositivo con capacidad de geo-localización incorporada, que puede hacer uso de los espacios en blanco mediante la interacción con una base de datos de espacios en blanco. Se clasifican en dispositivos maestros y dispositivos esclavos. (ANE, Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017, p. 5). A continuación, se harán referencia a los aspectos relacionados con la recepción de las frecuencias existentes en los espacios en blanco.

Dispositivo Maestro: En el marco de la normativa expedida por la ANE, el dispositivo maestro es aquel que “realiza una petición de canales disponibles directamente a la base de datos de espacios en blanco para hacer uso del espectro y que tiene la capacidad de realizar peticiones de canales disponibles para los dispositivos esclavos a él asociados”.

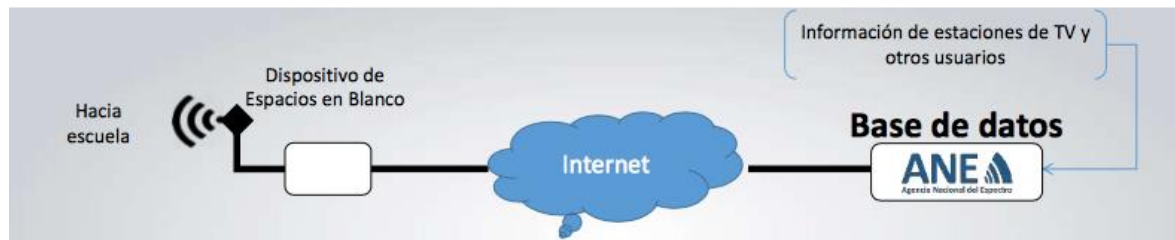
Dispositivo Esclavo: Dispositivo de espacios en blanco asociado a un dispositivo maestro. El dispositivo esclavo realiza una petición de canales disponibles a la base de datos de espacios en blanco a través de su dispositivo maestro asociado.

Base de datos de espacios en blanco (BDEB): La definición de BDEB en Colombia, según la resolución No. 461 de 2017 expedida por la ANE, es: Herramienta software administrada por la ANE que contiene la lista de canales disponibles y responde a una petición realizada por un dispositivo de espacios en blanco. Esta BDEB entrega como respuesta una lista de canales disponibles que el dispositivo puede usar. Para obtener la lista de canales disponibles la BDEB

tiene en cuenta la ubicación geográfica del dispositivo, las asignaciones existentes en la banda 470 MHz a 698 MHz y las condiciones de coexistencia, para garantizar la protección del servicio de radiodifusión de televisión contra interferencias.

Las BDEB, permiten, entre otras cosas, controlar el acceso a los TVWS. Durante 2016 la ANE ha trabajado en un prototipo el cual permite suministrar al dispositivo, maestro o esclavo, el listado de los canales disponibles para no causar interferencias en la televisión. A continuación, de manera gráfica, se muestra lo indicado anteriormente:

Figura 116. Prototipo de Control de Acceso a Espacios en Blanco de TV.



Fuente: Congreso Internacional de TIC – ANDICOM. 2016. ANE.

De igual manera, el prototipo de base de datos anterior, permitiría controlar el uso de todos los dispositivos, maestros o esclavos, de espacios en blanco que se registren.

Petición de canales disponibles: Como se indicó, un dispositivo, deberá conectarse a una BDEB, sin embargo, es preciso que realice una consulta o petición para verificar a que frecuencia, dentro del rango de TVWS, se puede conectar. Acorde con la propuesta normativa mencionada anteriormente, dicha petición es realizada por “un dispositivo maestro de espacios en blanco a la BDEB para obtener una lista de canales disponibles, calculada para una ubicación geográfica específica, de acuerdo con las asignaciones existentes del servicio de radiodifusión de televisión y las condiciones de coexistencia.”

Lista de Canales Disponibles: La lista de canales es calculada por la BDEB y enviada al dispositivo maestro de espacios en blanco como respuesta a una petición de canales disponibles. Para obtener esta lista, la BDEB tiene en cuenta la ubicación geográfica del dispositivo, las asignaciones existentes en la banda 470 MHz a 698 MHz y las condiciones de coexistencia para garantizar la protección del servicio de radiodifusión de televisión.

Condiciones de Coexistencia: De acuerdo con Aránzazu (2017), para hacer uso de bandas de frecuencia en el Espectro Radioeléctrico colombiano (ERE), se deben cumplir una serie de condiciones mínimas las cuales garantizan la coexistencia de los diferentes servicios que operan en frecuencias cercanas a las de otros.

Teniendo en cuenta que la interferencia de frecuencias disminuye la calidad de funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones y la eficacia de utilización del ERE. La resolución No. 461 de 2017 realizado por la ANE, considera lo siguiente:

“En el proceso de asignación de frecuencias es necesario considerar los parámetros técnicos de diseño y la especificación de las estaciones autorizadas en el lugar en que se proyecta asignar a una nueva estación un canal radioeléctrico en una banda de frecuencias concreta, a fin de que los titulares de las licencias no sufran interferencia ni la causen a otros usuarios.”

Para evitar que los servicios operantes en bandas de frecuencias similares generen conflictos técnicos entre sí, la ANE ha definido “Condiciones técnicas para garantizar la protección a las asignaciones existentes”, las cuales, según este organismo, se consideran (...)” las márgenes de protección, las potencias máximas, las alturas máximas, canales prohibidos por zonas o a nivel nacional, entre otras.”³¹

Altura por encima del promedio del terreno: Uno de los parámetros por considerar para evitar la interferencia entre servicios, son las características de altura por encima del promedio del terreno, es decir, la altura de los equipos que operaran los TVWS, por lo que es preciso calcularla “como el promedio de todas las alturas del terreno a una distancia entre 1.5 Km y 16 Km alrededor de dicho punto”³².

Como se ha indicado hasta el momento, las condiciones técnicas y operativas para la utilización de los dispositivos de espacios en blanco en la banda 470 – 698 MHz contemplan algunas definiciones que permiten identificar aspectos técnicos de los TVWS. Sin embargo, la ANE ha diseñado las condiciones generales para una adecuada convivencia entre los servicios operantes en bandas entre los 470 MHz – 698 MHz. A continuación, se describe cada una de ellas.

CONDICIONES GENERALES

Frecuencia de operación: En consonancia con la ANE, “Los dispositivos de espacios en blanco sólo podrán hacer uso de los segmentos de la banda 470 MHz a 698 MHz que la BDEB habilite”.

Capacidad de Geolocalización: De igual manera, la normativa colombiana define que “sólo se permite el uso de dispositivos de espacios en blanco que tengan capacidad de geolocalización automática con un margen de error inferior a $\pm 50m$.”³³

³¹ Estas condiciones están consignadas según la ANE, dentro de la BDEB y son empleadas para calcular las listas de canales disponibles garantizando que no haya interferencia a las asignaciones existentes. Estas condiciones están sujetas a cambio por parte de la ANE sin previo aviso.

³² Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017 de la ANE “Por el cual se modifica la Resolución 711 de 2016 mediante la adopción de las condiciones de uso de dispositivos de espacios en blanco”.

³³ Ídem.

Modo de operación: Los dispositivos de espacios en blanco deberán operar en una ubicación fija. No se permite el uso de dispositivos de espacios en blanco portátiles o móviles.

Densidad espectral de potencia isotrópica radiada efectiva: En sistemas de radiocomunicación, la Densidad Espectral de Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (DEPIRE), consiste en establecer la cantidad de potencia que irradiaría una antena isotrópica³⁴, la cual deberá estar en armonía con el resto de antenas que coexisten en el sector.

En el marco de lo establecido en el Manual de Gestión Nacional del Espectro Radioeléctrico de la ANE, "(...) el organismo encargado de la gestión y control del ERE debe asegurar al menos que todas las estaciones de los servicios de radiocomunicaciones radioeléctricas operen en niveles mínimos de interferencia permisible".

En virtud de lo anterior, la ANE, a través de la mencionada resolución No. 461 de 2017, indicó que la DEPIRE de los dispositivos de espacios en blanco deberá ser inferior a 40 DBm³⁵, y se calculara de la siguiente manera:

Fórmula 11. Fórmula para calcular la DEPIRE de espacios en Blanco.

$$DEPIRE = P_{TX} + G_{TX} - 10\log\left(\frac{6Mhz}{AB}\right)$$

Fuente: ANE. 2016.

Donde P(tx) es la potencia de transmisión del dispositivo (en unidades de decibelios referidos a un mili vatio, dBm), G(tx) es la ganancia isotrópica de la antena conectada al dispositivo (en unidades de decibelios referidos a una antena isotrópica, dBi) y AB es el ancho de banda de señal transmitida (en unidades de mega Hertz, MHz).

Emisiones fuera de banda: Teniendo en cuenta que la "Coordinación de frecuencias es el proceso mediante el cual se concierta un acuerdo entre usuarios del ERE existentes y posibles nuevos usuarios, cuando existe la eventualidad de conflictos en relación con el uso de este recurso. La coordinación puede entrañar consideraciones de orden técnico, administrativo, jurídico, económico o de otra índole."³⁶(ANE, 2016. p.29), el proyecto de normatividad colombiana ha definido que los dispositivos de espacios en blanco deberán contar con una atenuación mínima de sus emisiones fuera de banda de 52 dB³⁷ (respecto a la potencia transmitida), en canales de 6 MHz inmediatamente adyacentes.

Control Automático de Potencia: Atendiendo lo dispuesto en el proyecto de resolución de la ANE, "los dispositivos de espacios en blanco deberán emplear técnicas de control automático de

³⁴ "Antena teórica con un patrón de radiación uniforme de tres dimensiones" www.cisco.com.

³⁵ Unidad de medida de potencia la cual se expresa en decibelios, utilizada en redes de radio, fibra óptica, entre otros.

³⁶ Permisos para el uso del espectro radioeléctrico.

³⁷ Decibelios.

potencia de manera que transmitan sus señales con la potencia mínima requerida para establecer comunicación.”

Altura Máxima de la Antena: Asimismo, la ANE establece que la altura de la antena por encima del nivel del terreno de los dispositivos de espacios en blanco no podrá superar 50 metros.

Configuración manual: En lo a que dispositivos electrónicos se refiere, es probable que en ocasiones éstos se configuren de manera manual o automática, es decir, cuando se es requerida la intervención completa de la mano del hombre o cuando no.

Para el caso de Colombia, los dispositivos de espacios en blanco no podrán ser configurables manualmente. Es decir, no se podrá ingresar manualmente la coordenada geográfica de su ubicación ni su canal de operación.

Como se ha visto hasta el momento, se han mencionado algunos de los elementos conformantes de los TVWS, así como sus condiciones generales de funcionamiento. No obstante, es preciso indicar algunas disposiciones normativas con relación a los métodos para evitar interferencias. En el siguiente apartado se mencionarán los principales mecanismos.

MECANISMOS PARA EVITAR INTERFERENCIAS

Uso del espectro: Para garantizar que los dispositivos en el territorio colombiano solo se vinculen a TVWS del país, la ANE ha dispuesto que “los dispositivos de espacios en blanco solamente se podrán conectar a la BDEB designada por la ANE para realizar peticiones de canales disponibles”.

Con relación a la dirección de la BDEB en internet, será publicada por la ANE en su portal web.

Dispositivos Maestros: En lo referente a la conexión, ‘los dispositivos maestros deberán obtener periódicamente una lista de canales disponibles de la BDEB antes de hacer uso del espectro’, según lo propone la ANE.

Dispositivos Esclavos: Al igual que los dispositivos maestros, los dispositivos esclavos deberán ‘utilizar el mismo canal de transmisión del dispositivo maestro asociado únicamente para realizar la petición inicial de canales disponibles a la BDEB’, indica el proyecto de normatividad colombiana. Una vez obtenidos los canales disponibles, el dispositivo esclavo deberá emplear de manera inmediata un canal que pertenezca a la lista de canales para continuar con su operación.

Inicio y continuación de operación: Como se indicó en el apartado anterior, los dispositivos maestros y esclavos se conectarán a canales disponibles, no obstante, existen condiciones normativas que posibilitan dichas conexiones, a saber:

Un dispositivo maestro de espacios en blanco no podrá iniciar y continuar su operación en caso que:

- a. La lista de canales disponibles entregada por la BDEB sea una lista vacía.
- b. La BDEB suministre una señal de error.
- c. La BDEB suministre una señal de cese de operación.
- d. Realice una petición a la BDEB y no obtenga respuesta de ella.

En cuanto a los dispositivos esclavos, las consideraciones son las siguientes: No podrá iniciar o continuar operación en caso de que:

- a. No tenga comunicación del dispositivo maestro.
- b. Su lista de canales disponibles y la del dispositivo maestro no tengan canales en común.

Peticiones Periódicas de canales disponibles: “Los Dispositivos de espacios en blanco deberán realizar al menos una petición de canales disponibles a la BDEB cada 24 horas”.

Adicionalmente, los dispositivos de espacios en blanco solamente podrán emplear los canales incluidos en la más reciente lista de canales disponibles entregada por la BDEB.

Seguridad de la comunicación con la BDEB: La comunicación entre un dispositivo de espacios en blanco y la DBEB debe ser segura, de manera que un tercero no pueda modificar dicha comunicación.

Datos de contacto del responsable de un dispositivo: De acuerdo con la ANE, “el responsable de un dispositivo será la persona o entidad encargada de la prestación del servicio de conectividad o acceso a Internet, de la instalación del dispositivo o del mantenimiento del mismo”. Asimismo, dicha agencia señala que “antes de utilizar la BDEB, el responsable debe registrarse y enviar su número de cédula o NIT”.

En un sistema de comunicaciones inalámbricas, como los utilizados por los TVWS, las interferencias son un aspecto crucial a la hora de hacer convivir diferentes servicios de radiocomunicaciones operantes en similares bandas de frecuencias.

Con el fin de resolver dichas interferencias, la ANE propone que toda petición de canales disponibles que realice un dispositivo de espacios en blanco a la BDEB deberá ir acompañada de la siguiente información completa:

- a. Número de identificación único del dispositivo.
- b. Coordenadas de su ubicación (Datum WGS-84³⁸)
- c. Nombre de la persona/entidad encargada del dispositivo.
- d. Dirección física de la persona/entidad responsable del dispositivo.
- e. Correo electrónico de la persona/entidad responsable del dispositivo.
- f. Teléfono de la persona/entidad responsable del dispositivo.

³⁸ World Geodetic System 84 (Sistema Geodecimo Mundial 1984). Permite localizar cualquier punto sobre la tierra, por medio de tres unidades dadas.

Confirmación de los canales: Los dispositivos maestros deberán informar a la BDEB su canal de operación. Adicionalmente, los dispositivos maestros deberán informar a la BDEB los canales de operación de los dispositivos esclavos asociados.

MECANISMOS ADICIONALES PARA EVITAR INTERFERENCIAS.

Las interferencias son aspectos influyentes en las radiocomunicaciones, por lo que la resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017 expedida por la ANE, propone:

- a. No se permite el uso de determinados canales a nivel nacional para evitar interferencias a los servicios de telecomunicaciones que operen en bandas adyacentes. La determinación de estos canales por parte de la ANE estará sujeta a cambios. Estos canales podrán ser conocidos por el público a través de la interfaz gráfica de la BDEB.

Se prohíbe la operación de los dispositivos de espacios en blanco en las cabeceras de los municipios cuya población sea mayor a cien mil habitantes y en determinadas zonas geográficas del país que serán delimitadas por la ANE, con el fin de evitar interferencias a las asignaciones en las bandas 470 MHz a 698 MHz y sus bandas adyacentes.

- b. La determinación de dichas zonas estará sujeta a cambios sin previo aviso. Estas zonas podrán ser conocidas por el público a través de la interfaz gráfica de la BDEB.
- c. En caso de que se sospeche que un dispositivo de espacios en blanco genera interferencias al servicio de radiodifusión de televisión u otro servicio de telecomunicaciones, la BDEB ordenará el cese de su transmisión y la ANE podrá realizar la investigación pertinente. Una vez se determine que dicho dispositivo no genera la interferencia investigada, la BDEB permitirá la continuación de su transmisión. Por el contrario, en caso de que se determine que dicho dispositivo es el causante de la interferencia, la BDEB mantendrá el cese de su transmisión hasta que el responsable del dispositivo presente oficialmente las medidas que empleará para mitigar la interferencia y estas sean aprobadas por la ANE.

Si el causante de la interferencia no presenta las medidas que empleará para cesar la interferencia o no cumple aquellas que haya propuesto, se procederá de conformidad con lo dispuesto en el numeral 12 del artículo 64 de la Ley 1341 de 2009.

DISPOSICIONES ADICIONALES

Coexistencia entre dispositivos: En consonancia con la ANE, los usuarios de dispositivos de espacios en blanco no podrán reclamar protección contra interferencias causadas por otros dispositivos de espacios en blanco que operen bajo los parámetros establecidos en este anexo.

Disponibilidad del espectro: De acuerdo con la ANE, “No se garantiza que una vez instalado un dispositivo de espacios en blanco, este siempre tendrá un canal disponible para su uso. Adicionalmente, la disponibilidad de canales está sujeta a cambios sin previo aviso.” Colombia a través de sus agencias gubernamentales administradoras del espectro radioeléctrico, ha realizado labores tendientes, como la Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017 expedida por la ANE, a reglamentar el uso, los canales y los mecanismos para la implementación de espacios en blanco de televisión, los cuales permitirían mejorar sustancialmente la conectividad inalámbrica del país.

Acorde con Aránzazu (2017), Colombia se encuentra realizando actividades encaminadas a aprovechar el espectro radioeléctrico, es conveniente mencionar que a nivel mundial existen organizaciones, como la FCC, la RSS, la IMDA, entre otras, que se encargan de proponer estándares o regulaciones tendientes al uso de TVWS, para más información consultar la tesis de Maestría en telecomunicaciones ‘Recomendaciones para la optimización del espectro radioeléctrico Colombiano mediante un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en banas UHF contempladas entre 698 a los 806 Mega Hertz (MHz) producto de la transición de la Televisión Análoga a la Digital’.