

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y**  
**MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**“MEJORA DE LA COBERTURA Y LA CALIDAD DE UNA RED ISDB-T USANDO  
SISTEMA DIGITAL RADIO SOBRE FIBRA PARA LA PROVINCIA DEL CUSCO”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**BACH. MIGUEL ANGEL JANQUI CAVERO**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**ASESOR:**

**MGT. ING. JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA**

**CUSCO – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Artemio Janqui Guzmán y Gilda Cavero Torre, quienes me enseñaron los valores y me apoyaron en cada circunstancia para seguir adelante y lograr mis objetivos, a mi abuelita Graciela Torre Torres, quien es una extraordinaria madre y un ejemplo de vida, a mis hermanos Leonidas Janqui Cavero e Iván Janqui Cavero, por aconsejarme y darme fuerzas para seguir luchando por mis objetivos, a mi pareja Kruzkaya Luz Iruri Gonzales, quien me acompañó en los momentos más difíciles y me brindó su apoyo en cada paso de la vida.*

*Miguel Angel Janqui Cavero*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres por apoyarme en mi formación académica.*

*Al Mgt. Ing. Jorge Luis Arizaca Cusicuna por asesorarme y brindarme todo su apoyo teórico y práctico para el desarrollo de esta tesis.*

*A los ingenieros Fernando Tagle y Walter Utrilla por brindarme su apoyo para mejorar cada detalle de la tesis.*

*A Kruzkaya Iruri por haberme acompañado en el transcurso del desarrollo del trabajo.*

*A Ricardo Latorre por apoyarme en el estudio de campo de la tesis.*

## **PRESENTACIÓN**

Señor decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica: Ing. David Reynaldo Berrios Barcena, miembros del jurado evaluador de la presente tesis, compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, familiares, amigos, todos. Es un placer presentarles la tesis titulada “Mejora de la Cobertura y Calidad de una Red ISDB-T usando el Sistema Digital Radio sobre Fibra para la Provincia del Cusco”, con el objetivo de aportar conocimientos teóricos y su aplicación para el desarrollo de proyectos de ingeniería en el ámbito de las telecomunicaciones y brindar este aporte a toda la población cusqueña.

Miguel Angel Janqui Cavero.

## INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) tiene planeado realizar según programación el año 2023 el apagón analógico, que consiste en el cese de emisiones analógicas en la provincia del Cusco y, por lo tanto, solo se emitirán señales digitales. En la provincia del Cusco se transmiten nueve señales de televisión utilizando el estándar ISDB-T, pero se desconoce las zonas exactas en donde se presenta una baja recepción de la señal ISDB-T. Por lo que en cuanto se realice el apagón analógico, estas zonas no podrán sintonizar ninguna señal debido a la falta de cobertura. Esto generará una preocupación en la población debido a que la mayor parte de la población sintoniza la televisión mediante señal abierta según el censo 2017.

En la provincia del Cusco no se realizó algún trabajo que indique la actualidad de la cobertura ISDB-T y tampoco se planteó soluciones para mejorar la cobertura, por lo que es necesario proponer alternativas para dar solución a este tema. En el presente trabajo de tesis se realizó un estudio de campo para determinar la cobertura actual de las emisiones ISDB-T en la provincia del Cusco. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó las zonas con baja cobertura y se propuso como solución el sistema digital radio sobre fibra que se encargara de enviar la señal ISDB-T mediante enlaces ópticos desde la unidad central hasta los puntos de acceso de radio, en donde se reemitirán hacia la población con baja cobertura. Para lograr esta mejora se realizó el diseño de la red mediante simulación del enlace óptico utilizando la herramienta Optisystem y de la cobertura a nivel de pronóstico utilizando la herramienta Radio Mobile. Con el diseño propuesto se obtuvo resultados positivos en cuanto a la mejora de la cobertura.

El contenido de la presente tesis es: en el capítulo 1 se desarrollan las Generalidades del proyecto; en el capítulo 2 se desarrolla el marco teórico; en el capítulo 3 se desarrolla el estudio de cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco; en el capítulo 4 se plantea la propuesta del sistema radio sobre fibra desarrollando el diseño de la red que permitirá mejorar la cobertura ISDB-T actual, en el capítulo 5 se presenta la simulación del enlace óptico y el pronóstico de la cobertura con sus respectivos resultados; para finalmente llegar a las conclusiones y proponer las recomendaciones.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES</b> .....	1
<b>1.1. Planteamiento del Problema</b> .....	1
<b>1.1.1. Descripción del Problema</b> .....	1
<b>1.1.2. Formulación del Problema</b> .....	3
<i>1.1.2.1. Problema General</i> .....	3
<i>1.1.2.2. Problemas Específicos</i> .....	3
<b>1.2. Objetivos del Proyecto</b> .....	3
<b>1.2.1. Objetivo General</b> .....	3
<b>1.2.2. Objetivos Específicos</b> .....	3
<b>1.3. Justificación del Proyecto</b> .....	4
<b>1.3.1. Justificación Técnica</b> .....	4
<b>1.3.2. Justificación Social</b> .....	4
<b>1.4. Alcances y Limitaciones</b> .....	5
<b>1.4.1. Alcances</b> .....	5
<b>1.4.2. Limitaciones</b> .....	5
<b>1.5. Variables e Indicadores</b> .....	5
<b>1.5.1. Variables Dependientes</b> .....	5
<i>1.5.1.1. Indicadores de Variables Dependientes</i> .....	6
<b>1.5.2. Variables Independientes</b> .....	6
<i>1.5.2.1. Indicadores de Variables Independientes</i> .....	6
<b>1.5.3. Operacionalización de Variables</b> .....	7
<b>1.6. Metodología</b> .....	9
<b>1.6.1. Tipo y Diseño de Metodología</b> .....	9
<b>1.6.2. Desarrollo del Proyecto</b> .....	9
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	10

<b>2.1. Antecedentes de la Tesis.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Bases Teóricas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1. Radiación Electromagnética.....</b>	<b>14</b>
<i>2.2.1.1. Factores que Influyen en la Radiación Electromagnética.....</i>	<i>14</i>
<b>2.2.2. Espectro Electromagnético.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3. Espectro Radioeléctrico.....</b>	<b>16</b>
<i>2.2.3.1. Banda UHF.....</i>	<i>16</i>
<b>2.2.4. Técnicas de Modulación Digital.....</b>	<b>16</b>
<i>2.2.4.1. Modulación QAM.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.4.2. Modulación OFDM.....</i>	<i>18</i>
<b>2.2.5. Televisión Digital Terrestre.....</b>	<b>19</b>
<i>2.2.5.1. ISDB-T.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.5.2. TDT en el Perú.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.5.3. Plan de Canalización en la Provincia del Cusco.....</i>	<i>24</i>
<b>2.2.6. Medios de Trasmisión.....</b>	<b>24</b>
<i>2.2.6.1. Cable Coaxial.....</i>	<i>24</i>
<i>2.2.6.2. Fibra óptica.....</i>	<i>25</i>
<i>2.2.6.2.1. Fibra Monomodo.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.6.2.2. Fibra Multimodo.....</i>	<i>27</i>
<b>2.2.7. Modulación Electro-Óptica.....</b>	<b>28</b>
<i>2.2.7.1. Modulación Directa.....</i>	<i>28</i>
<i>2.2.7.2. Modulación Externa.....</i>	<i>29</i>
<b>2.2.8. Sistemas de Modulación en Fibra Óptica.....</b>	<b>30</b>
<i>2.2.8.1. WDM (Multiplexación por división de longitud de Onda).....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.8.1.1. CWDM (Multiplexación por división aproximada de longitud de onda).....</i>	<i>31</i>
<i>2.2.8.1.2. DWDM (Multiplexación por divisor de longitud de onda densa).....</i>	<i>33</i>
<b>2.2.9. Radio Sobre Fibra (RoF).....</b>	<b>34</b>
<i>2.2.9.1. Unidad Central (CU).....</i>	<i>35</i>



2.2.9.2. <i>Enlace Óptico</i> .....	35
2.2.9.3. <i>Punto de Acceso de Radio (RAP)</i> .....	35
2.2.9.4. <i>Aplicaciones de los Sistemas RoF</i> .....	36
2.2.9.5. <i>Emisión óptica en los sistemas RoF</i> .....	37
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COBERTURA ISDB-T</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1. Introducción</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2. Universo, Población y Muestra</b> .....	<b>40</b>
3.2.1. <b>Universo</b> .....	40
3.2.1.1. <i>Determinación del Universo</i> .....	40
3.2.2. <b>Población</b> .....	41
3.2.2.1. <i>Determinación de la Población</i> .....	41
3.2.3. <b>Muestra</b> .....	43
3.2.3.1. <i>Determinación del Número de muestras</i> .....	43
3.2.3.2. <i>Ubicación y Distribución de la Muestras</i> .....	44
<b>3.3. Instrumentación Electrónica</b> .....	<b>54</b>
3.3.1. <b>Analizador de Espectros</b> .....	54
3.3.1.1. <i>Configuración del Software</i> .....	55
3.3.2. <b>Antena Receptora</b> .....	55
3.3.2.1. <i>Niveles de Recepción</i> .....	56
3.3.2.2. <i>Calidad de Imagen</i> .....	59
<b>3.4. Recolección de Datos de la Intensidad de Señal Recibida</b> .....	<b>62</b>
3.4.1. <b>Distrito de Cusco</b> .....	62
3.4.2. <b>Distrito de Ccorca</b> .....	64
3.4.3. <b>Distrito de Poroy</b> .....	64
3.4.4. <b>Distrito de San Jerónimo</b> .....	64
3.4.5. <b>Distrito de San Sebastián</b> .....	66
3.4.6. <b>Distrito de Santiago</b> .....	68
3.4.7. <b>Distrito de Saylla</b> .....	70

<b>3.4.8. Distrito de Wanchaq.....</b>	<b>70</b>
<b>3.5. Diagnóstico de la Cobertura ISDB-T actual .....</b>	<b>71</b>
<b>3.5.1. Cobertura de la Intensidad de Señal Recibida.....</b>	<b>71</b>
<i>3.5.1.1. Procesamiento de las muestras.....</i>	<i>71</i>
<i>3.5.1.2. Cobertura ISDB-T de la Población .....</i>	<i>72</i>
<i>3.5.1.2.1. Mapa de Cobertura ISDB-T.....</i>	<i>75</i>
<b>3.5.2. Zonas con Baja Cobertura.....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED RADIO SOBRE FIBRA.....</b>	<b>80</b>
<b>4.1. Introducción.....</b>	<b>80</b>
<b>4.2. Consideraciones de Diseño .....</b>	<b>80</b>
<b>4.2.1. Unidad Central .....</b>	<b>80</b>
<i>4.2.1.1. Selección de equipamiento para la Unidad Central .....</i>	<i>83</i>
<i>4.2.1.1.1. Transmisor Óptico WS-LT3000 WSEE .....</i>	<i>83</i>
<i>4.2.1.1.2. Multiplexor – Demultiplexor CWDM ROBOfiber.....</i>	<i>84</i>
<i>4.2.1.2. Conexión de los Dispositivos en la Unidad Central.....</i>	<i>86</i>
<b>4.2.2. Distribución de la Fibra Óptica.....</b>	<b>86</b>
<i>4.2.2.1. Selección de Equipamiento para la Distribución de Fibra Óptica.....</i>	<i>90</i>
<i>4.2.2.1.1. Cable Acometida Exterior 4.5 mm G657A2.....</i>	<i>90</i>
<i>4.2.2.1.2. Divisor de Fibra Óptica OMC .....</i>	<i>91</i>
<i>4.2.2.1.3. Cajas de Distribución de Fibra Óptica.....</i>	<i>92</i>
<i>4.2.2.2. Conexión de los Dispositivos en la Distribución de Fibra Óptica.....</i>	<i>94</i>
<b>4.2.3. Punto de Acceso de Radio (RAP) .....</b>	<b>94</b>
<i>4.2.3.1. Selección de Equipamiento para el RAP.....</i>	<i>98</i>
<i>4.2.3.1.1. Receptor Óptico FRD-400 IKUSI .....</i>	<i>98</i>
<i>4.2.3.1.2. Multiplexor – Demultiplexor CWDM ROBOfiber.....</i>	<i>100</i>
<i>4.2.3.1.3. Repetidor de TV Multitastic .....</i>	<i>101</i>
<i>4.2.3.1.4. Antena Omni AT15-801 RYMSA .....</i>	<i>103</i>
<i>4.2.3.1.5. Multiplexor RF 858510 TRedess.....</i>	<i>105</i>

4.2.3.2. <i>Conexión de los Dispositivos en el RAP</i> .....	105
4.3. <b>Diseño del Enlace Óptico</b> .....	106
4.3.1. <b>Parámetros de los Elementos de la Red</b> .....	107
4.3.1.1. <i>Parámetros de la Unidad Central</i> .....	107
4.3.1.2. <i>Parámetros de los Puntos de Acceso de Radio</i> .....	108
4.3.1.3. <i>Cálculo Matemático de los Parámetros de Transmisión</i> .....	110
4.3.1.3.1. <i>Pérdida de Espacio Libre (Lfs)</i> .....	110
4.3.1.3.2. <i>Potencia de Transmisión Requerida (Tx)</i> .....	111
4.3.1.3.3. <i>Máxima Potencia Irradiada (PIRE)</i> .....	113
4.3.1.3.4. <i>Máxima Potencia Efectiva (PRE)</i> .....	115
4.3.1.4. <i>Pérdidas de Trayecto en el Enlace Óptico</i> .....	116
4.3.1.5. <i>Cálculo de Dispersión en el Enlace Óptico</i> .....	119
4.3.1.6. <i>Pérdidas de Trayecto en la Reemisión de ISDB-T</i> .....	120
4.3.2. <b>Normativa Técnica y Licencias ISDB-T</b> .....	122
4.3.3. <b>Diagrama de Bloques del Sistema Radio sobre Fibra</b> .....	125
4.3.3.1. <i>Diagrama de bloques del enlace óptico del Sistema</i> .....	125
4.3.3.2. <i>Conexión de los Dispositivos para el Enlace Óptico del Sistema</i> .....	126
4.3.3.3. <i>Diagrama de Bloques de todo el Sistema</i> .....	127
<b>CAPÍTULO 5: SIMULACIÓN Y RESULTADOS</b> .....	128
5.1. <b>Introducción</b> .....	128
5.2. <b>Softwares Utilizados para la Simulación</b> .....	128
5.2.1. <b>Radio Mobile</b> .....	128
5.2.2. <b>Optisystem</b> .....	129
5.3. <b>Simulación del Enlace Óptico</b> .....	130
5.3.1. <b>Configuración de los Parámetros del Sistema</b> .....	132
5.3.2. <b>Resultados del Enlace Óptico</b> .....	137
5.3.2.1. <i>Resultados de la Transmisión Óptica</i> .....	137
5.3.2.2. <i>Resultados de la Recepción Óptica</i> .....	140

<b>5.4. Simulación de la Cobertura ISDB-T .....</b>	<b>149</b>
<b>5.4.1. Resultados de la Simulación de la Cobertura ISDB-T .....</b>	<b>152</b>
<i>5.4.1.1. Recolección de Datos de la Simulación de Cobertura ISDB-T.....</i>	<i>155</i>
<i>5.4.1.1.1. Pronóstico de Mejora para Cobertura ISDB-T Baja.....</i>	<i>156</i>
<i>5.4.1.1.2. Pronóstico de Mejora para la Cobertura ISDB-T Mínima.....</i>	<i>160</i>
<b>5.4.1.2. Procesamiento de las muestras simuladas .....</b>	<b>163</b>
<b>5.4.1.3. Pronóstico de Cobertura ISDB-T.....</b>	<b>164</b>
<i>5.4.1.3.1. Mapa del Área Cobertura ISDB-T.....</i>	<i>166</i>
<i>5.4.1.3.2. Mapa del Pronóstico de Cobertura ISDB-T.....</i>	<i>167</i>
<b>5.4.1.4. Comparación entre la Cobertura Actual y Simulada .....</b>	<b>168</b>
<b>CAPÍTULO 6: COSTOS Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>170</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>171</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>174</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>175</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>179</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	7
Tabla 2. Plan de Canalización de TDT en el Perú .....	23
Tabla 3. Emisoras de TDT en la Provincia del Cusco .....	24
Tabla 4. Características de los sistemas de modulación en fibra óptica .....	31
Tabla 5. Total de hogares por zona.....	41
Tabla 6. Total de hogares con o sin televisor.....	42
Tabla 7. Total de hogares por tipo de conexión a la televisión .....	42
Tabla 8. Total de hogares por tipo de zona con conexión a la televisión por señal abierta .....	43
Tabla 9. Número de muestras por zona.....	44
Tabla 10. Coordenadas geográficas y referencias de cada muestra.....	45
Tabla 11. Niveles de cobertura de la señal ISDB-T .....	56
Tabla 12. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Cusco .....	62
Tabla 13. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Ccorca .....	64
Tabla 14. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Poroy .....	64
Tabla 15. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de San Jerónimo.....	64
Tabla 16. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de San Sebastián.....	66
Tabla 17. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Santiago.....	68
Tabla 18. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Saylla.....	70
Tabla 19. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Wanchaq.....	70
Tabla 20. Cobertura de la zona urbana en la provincia del Cusco .....	72
Tabla 21. Cobertura de la zona rural en la provincia del Cusco.....	72
Tabla 22. Cobertura de la población en zona urbana de la provincia del Cusco.....	73
Tabla 23. Cobertura de la población en zona rural de la provincia del Cusco .....	73
Tabla 24. Cobertura de toda la provincia del Cusco .....	74
Tabla 25. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito del Cusco .....	76

Tabla 26. <b>Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Ccorca</b> .....	76
Tabla 27. <b>Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Poroy</b> .....	77
Tabla 28. <b>Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de San Jerónimo</b> .....	77
Tabla 29. <b>Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de San Sebastián</b> .....	78
Tabla 30. <b>Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Santiago</b> .....	79
Tabla 31. <b>Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Saylla</b> .....	79
Tabla 32. <b>Parámetros en la CU</b> .....	107
Tabla 33. <b>Características geográficas de cada RAP</b> .....	108
Tabla 34. <b>Distancia entre el RAP y la muestra más lejana en Km</b> .....	110
Tabla 35: <b>Pérdida de espacio libre para cada RAP</b> .....	111
Tabla 36. <b>Potencia de transmisión en cada RAP</b> .....	113
Tabla 37. <b>Atenuación en el Sistema RoF</b> .....	118
Tabla 38. <b>Pérdidas en RF para cada señal ISDB-T</b> .....	121
Tabla 39. <b>Potencia óptica de entrada de cada longitud de onda</b> .....	141
Tabla 40. <b>Factor Q de cada longitud de onda</b> .....	143
Tabla 41. <b>Min BER de cada longitud de onda</b> .....	146
Tabla 42. <b>Distancia entre el RAP y el receptor</b> .....	150
Tabla 43. <b>Parámetros de los repetidores de TV</b> .....	150
Tabla 44. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 1 – Cobertura baja</b> .....	156
Tabla 45. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 2 – Cobertura baja</b> .....	156
Tabla 46. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 3 – Cobertura baja</b> .....	157
Tabla 47. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 4 – Cobertura baja</b> .....	158
Tabla 48. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 5 – Cobertura baja</b> .....	159
Tabla 49. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 6 – Cobertura baja</b> .....	159
Tabla 50. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 7 – Cobertura baja</b> .....	159
Tabla 51. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 8 – Cobertura baja</b> .....	160
Tabla 52. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 1 – Cobertura mínima</b> .....	160
Tabla 53. <b>Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 2 – Cobertura mínima</b> .....	160

Tabla 54. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 3 – Cobertura mínima.....	161
Tabla 55. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 4 – Cobertura mínima.....	162
Tabla 56. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 7 – Cobertura mínima.....	162
Tabla 57. Cobertura simulada de la zona urbana en la provincia del Cusco.....	163
Tabla 58. Cobertura simulada de la zona rural en la provincia del Cusco .....	163
Tabla 59. Pronóstico de cobertura ISDB-T para la zona urbana en la provincia del Cusco.....	164
Tabla 60. Pronóstico de cobertura ISDB-T para la zona rural en la provincia del Cusco .....	164
Tabla 61. Pronóstico de cobertura ISDB-T para toda la provincia del Cusco.....	165
Tabla 62. Comparación entre la cobertura actual y simulada para la zona urbana .....	168
Tabla 63. Comparación entre la cobertura actual y simulada para la zona rural .....	168
Tabla 64. Comparación entre la cobertura actual y simulada para la provincia del Cusco.....	169
Tabla 65: Costos y presupuesto .....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <b>Espectro electromagnético</b> .....	15
Figura 2. <b>Espectro radioeléctrico</b> .....	16
Figura 3. <b>Transmisor QAM</b> .....	17
Figura 4. <b>Receptor QAM</b> .....	17
Figura 5. <b>Diagrama de Constelación de 64-QAM</b> .....	18
Figura 6. <b>Transmisor OFDM</b> .....	19
Figura 7. <b>Receptor OFDM</b> .....	19
Figura 8. <b>Espectro frecuencial cumpliendo el criterio de Nyquist</b> .....	20
Figura 9. <b>Curva de cuantificación uniforme</b> .....	21
Figura 10. <b>Espectro de la señal de TV digital</b> .....	21
Figura 11. <b>Constitución del Cable Coaxial</b> .....	25
Figura 12. <b>Interior de la Fibra óptica</b> .....	26
Figura 13. <b>Fibra monomodo</b> .....	27
Figura 14. <b>Fibra Multimodo</b> .....	27
Figura 15. <b>Modulación óptica directa</b> .....	28
Figura 16. <b>Variación de corriente/potencia sobre la curva del diodo láser provocadas por una señal RF</b> ..	29
Figura 17. <b>Composición de un electrodo en el modulador Mach-Zehnder – Modificado al español</b> .....	30
Figura 18. <b>Sistema CWDM</b> .....	32
Figura 19. <b>Rejilla espectral CWDM</b> .....	32
Figura 20. <b>Sistema DWDM</b> .....	33
Figura 21. <b>Diagrama de bloques simple de radio sobre fibra</b> .....	36
Figura 22. <b>Sistema radio sobre fibra</b> .....	36
Figura 23. <b>Esquema de un sistema DML para RoF</b> .....	38
Figura 24. <b>Espectro de la señal óptica</b> .....	39
Figura 25. <b>Analizador de espectros Tektronik RSA306B</b> .....	54
Figura 26. <b>Interfaz configurado para el estudio de cobertura</b> .....	55



Figura 27. Antena TV digital Greentek UVR-AV304N.....	56
Figura 28. Nivel de cobertura buena de -56.33 dBm en 497 MHz.....	57
Figura 29. Nivel de cobertura Regular de -64.28 dBm en 485 MHz .....	58
Figura 30. Nivel de cobertura Mínima de -72.25 dBm en 605 MHz.....	58
Figura 31. Nivel de cobertura Baja de -83.10 dBm en 581 MHz .....	59
Figura 32. Calidad de Imagen - Óptima .....	59
Figura 33. Calidad de Imagen – Regular.....	60
Figura 34. Calidad de Imagen – Deficiente.....	60
Figura 35. Calidad de Imagen – Inexistente.....	61
Figura 36. Cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco .....	74
Figura 37. Mapa de cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco .....	75
Figura 38. Diagrama de bloques de la Unidad Central.....	81
Figura 39. Conversión E-O en la Unidad Central.....	82
Figura 40. Multiplexación en la Unidad Central .....	83
Figura 41. Transmisor óptico WS-LT3000.....	83
Figura 42. Especificaciones técnicas del transmisor óptico WS-LT3000.....	84
Figura 43. Mux-Demux CWDM.....	85
Figura 44. Especificaciones técnicas del Mux-Demux CWDM.....	85
Figura 45. Conexión del equipamiento en la CU.....	86
Figura 46. Distribución de la fibra óptica.....	87
Figura 47. Interior del nodo de distribución para la CU .....	88
Figura 48. Nodo de distribución para el splitter .....	88
Figura 49. Interior del nodo de distribución para el receptor .....	89
Figura 50. Cable acometida exterior de 4.5 mm .....	90
Figura 51. Splitter de fibra óptica .....	91
Figura 52. Especificaciones técnicas del splitter de fibra óptica.....	92
Figura 53. Caja de empalme para fibra óptica .....	93
Figura 54. Caja de distribución para el Splitter de fibra óptica.....	93

Figura 55. <b>Conexión para la distribución de fibra óptica</b> .....	94
Figura 56. <b>Diagrama de bloques en el RAP</b> .....	95
Figura 57. <b>Demultiplexacion en el receptor</b> .....	96
Figura 58. <b>Conversión O-E en el receptor</b> .....	96
Figura 59. <b>Diagrama de bloques para la reemisión TV</b> .....	97
Figura 60. <b>Receptor óptico FRD-400</b> .....	98
Figura 61. <b>Especificaciones Técnicas del receptor óptico FRD-400</b> .....	99
Figura 62. <b>Mux-Demux CWDM</b> .....	100
Figura 63. <b>Especificaciones técnicas del Mux-Demux CWDM</b> .....	101
Figura 64. <b>Repetidor de TV Multitastic</b> .....	102
Figura 65. <b>Especificaciones técnicas del repetidor de TV Multitastic</b> .....	102
Figura 66. <b>Características del Gap-Filler</b> .....	103
Figura 67. <b>Antena omni AT15-081</b> .....	103
Figura 68. <b>Especificaciones técnicas de la Antena omni AT15-081</b> .....	104
Figura 69. <b>Patron de radiación de la Antena omni AT15-081</b> .....	104
Figura 70. <b>Multiplexor RF 858510</b> .....	105
Figura 71. <b>Especificaciones técnicas del multiplexor RF 858510</b> .....	105
Figura 72. <b>Conexión de los dispositivos en el RAP</b> .....	106
Figura 73. <b>Ubicación de los elementos de la red RoF en Google Earth</b> .....	109
Figura 74. <b>Diagrama de bloques del enlace óptico para el RAP 1</b> .....	125
Figura 75. <b>Conexión de equipamiento del enlace óptico para el RAP 1</b> .....	126
Figura 76. <b>Diagrama de bloques del sistema RoF</b> .....	127
Figura 77. <b>Diseño de la red radio sobre fibra en Optisystem</b> .....	131
Figura 78. <b>Conversión E-O en la Unidad Central</b> .....	132
Figura 79. <b>Configuración del transmisor WS-LT3000 WSEE en Optisystem</b> .....	133
Figura 80. <b>Configuración del multiplexor CWDM</b> .....	134
Figura 81. <b>Configuración de longitudes de onda en el multiplexor CWDM</b> .....	134
Figura 82. <b>Configuración del Splitter en Optisystem</b> .....	135

Figura 83. <b>Parámetros de la Fibra óptica en Optisystem</b> .....	135
Figura 84. <b>Punto de Acceso de Radio (RAP) en Optisystem</b> .....	136
Figura 85. <b>Potencia de salida en la emisión óptica</b> .....	137
Figura 86. <b>Espectro de la señal óptica para cada longitud de onda del sistema</b> .....	138
Figura 87. <b>Espectro óptico del multiplexor CWDM</b> .....	139
Figura 88. <b>Espectro óptico a la salida del splitter</b> .....	139
Figura 89. <b>Potencia de entrada para los receptores ópticos</b> .....	140
Figura 90. <b>Comportamiento de la potencia óptica media con respecto a la longitud de fibra</b> ....	141
Figura 91. <b>Factor Q del RAP 2 en 1610 nm = 43.533</b> .....	142
Figura 92. <b>Factor Q del RAP 5 en 1570 nm = 20.186</b> .....	143
Figura 93. <b>Comportamiento del factor Q con respecto a la longitud de fibra óptica</b> .....	144
Figura 94. <b>Mínimo BER del RAP 2 en 1610 nm = 0</b> .....	145
Figura 95. <b>Mínimo BER del RAP 5 en 1570 nm = <math>6.53 \times 10^{-91}</math></b> .....	145
Figura 96. <b>Comportamiento del min BER medio con respecto a la longitud de fibra óptica</b> .....	146
Figura 97. <b>Diagrama de ojo de cada RAP</b> .....	148
Figura 98. <b>Ubicación de los RAP y receptores</b> .....	149
Figura 99. <b>Parámetros del repetidor de TV en Radio Mobile</b> .....	151
Figura 100. <b>Parámetros del receptor en Radio Mobile</b> .....	152
Figura 101. <b>Comunicación ISDB-T en Radio Mobile</b> .....	153
Figura 102. <b>Enlace de radio en el RAP 1 – Cobertura óptima</b> .....	154
Figura 103. <b>Enlace de radio en el RAP 2 – Cobertura regular</b> .....	154
Figura 104. <b>Enlace de radio en el RAP 8 – Cobertura mínima</b> .....	155
Figura 105. <b>Pronóstico de la Cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco</b> .....	165
Figura 106. <b>Mapa del área Cobertura simulada ISDB-T</b> .....	166
Figura 107. <b>Mapa del Pronóstico de Cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco</b> .....	167

## RESUMEN

En este trabajo, se realizó una propuesta para mejorar la cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco mediante el uso del sistema digital radio sobre fibra (RoF). Para lograr este fin, se realizó el diagnóstico de la cobertura actual, determinando las zonas con baja recepción de señal para los hogares que se conectan a la televisión por señal abierta en toda la provincia como población. Luego se diseñó el enlace óptico para la emisión de las señales de TV digital por medio de la fibra óptica desde la unidad central (CU) hasta ocho receptores ópticos conocidos como puntos de acceso de radio (RAP) que se encargan de reemitir la señal de TV digital hacia las áreas de baja cobertura determinadas. Se utilizó la herramienta Optisystem para el diseño del enlace óptico, evaluando el factor Q y min BER del sistema, cuyo comportamiento indica una mínima pérdida de trayecto el cual no afecta la calidad y resolución de la imagen y audio de la señal ISDB-T. También, se utilizó la herramienta Radio Mobile para la simulación del pronóstico de la cobertura ISDB-T utilizando la red diseñada y evaluando la recepción ISDB-T para la misma población, logrando como resultado, al 92.7% de la población con cobertura óptima y regular, al 7.2% de la población con cobertura mínima y al 0.12% de la población con cobertura baja.

**Palabras Claves:** Cobertura, ISDB-T, Radio sobre Fibra, Optisystem, Radio Mobile.

## ABSTRACT

In this work, performed a proposal to improve ISDB-T coverage in Cusco province through the use of radio over fiber system (RoF). To achieve this object, it performed the current coverage diagnosis, determining the zones with low signal reception for homes that connect to open sign TV as population. Then it designed the optic link for the emission of digital TV signals through optic fiber since central unity (CU) until eight optic receivers known as radio access points (RAP) that will take care of relay the digital TV signal to the determined low coverage areas. It used Optisystem software for design of optic link, evaluating the Q factor and min BER of system, whose behavior indicates a minimum lost path which doesn't affect quality and resolution of ISDB-T image and audio. Also, it used Radio Mobile software for ISDB-T coverage forecast simulation using designed network and evaluating ISDB-T reception for the same population, achieving as a result, the 92,7% of population with optimal and regular coverage, the 7.2% of population of population with minimum coverage and the 0.12% of population with low coverage.

**Keywords:** Coverage, ISDB-T, Radio over Fiber, Optisystem, Radio Mobile

# CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

## 1.1. Planteamiento del Problema

### 1.1.1. Descripción del Problema

En el mundo, existen numerosas estaciones de TV que emiten su contenido mediante la transmisión de señal abierta por difusión analógica o digital, beneficiando a la población que se encuentra dentro del área de cobertura de la transmisión y que no pueden o quieren adquirir otro tipo de servicio de televisión (CATV, Satélite, etc.), debido por factores económicos u otros, adaptándose al consumo por señal abierta. Pero existen zonas dentro de una población que no tienen cobertura debido a los factores extrínsecos que son la interferencia geográfica (cerros, montañas, etc.), la interferencia urbana (edificios, etc.), variaciones climáticas que afectan a la recepción de la señal, la distancia entre el transmisor donde la señal es afectada por las interferencias de propagación como el ruido, pérdida de trayecto, atenuación, etc.; y los factores intrínsecos que son los parámetros de transmisión de la estación transmisora como la potencia de salida, altura de la antena, azimut y ubicación de la estación que dependen del diseño e implementación del sistema de transmisión.

Durante estos años, la emisión de televisión por señal abierta está pasando por una etapa de cesamiento de emisiones analógicas conocido como el apagón analógico, indicando que solo se podrá transmitir señales de audio y video codificadas mejorando su calidad y resolución. Muchos países han realizaron el apagón analógico durante un periodo de años como por ejemplo Alemania (2002 - 2018), Bélgica (2008 – 2010), Japón (2011 – 2012), Suecia (2005 – 2007), entre otros [1]. En américa latina países como Brasil, Uruguay y México, han realizaron el apagón analógico en todo su territorio; y países como Argentina, Chile, Paraguay se encuentran en pleno proceso. En Perú, el apagón analógico esta propuesto realizarse según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Decreto Supremo N°006-2020-MTC) desde el año 2022 hasta el año 2026 por territorios que son: Territorio I (Lima, Callao – 2022), Territorio

II (Arequipa, Cusco, Piura, Trujillo – 2023), Territorio III (Ica, Iquitos, Juliaca, Puno, Pucallpa, Tacna, Ayacucho – 2024) y Territorio IV (Chimbote – 2026) [2].

En el Perú, se inició la transmisión de televisión digital a partir del año 2010 más conocido como la Televisión Digital Terrestre (TDT) adoptando el estándar ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados), normativa creada por Japón para la implementación y emisión de TV digital. Actualmente existen 82 estaciones de TDT en 11 localidades, entre ellas la provincia del Cusco [3].

En la provincia del Cusco, las estaciones de TDT están implementadas en el cerro Picchu, Tica Tica – Distrito de Cusco, entre ellas son 8 canales nacionales (TV Perú, Latina, América, ATV, Global, Bethel, Panamericana, ATV Sur) y 1 canal local (CTC) [4]; pero se desconoce la situación actual de la cobertura de TV digital y no se conocen las zonas exactas donde la transmisión sufre interferencias provocando una baja recepción de intensidad de señal, debido a que no se ha realizado un estudio de cobertura que determina estos parámetros. La baja cobertura en Cusco solo es comentada por percepción de la población, pero no es suficiente para determinar un diagnóstico actual, se necesita de un estudio que valide la percepción y se pueda proponer una solución para mejorar la cobertura en las zonas con baja recepción de señal de TV.

Para mejorar la cobertura en la provincia del Cusco, se debe realizar un diagnóstico actual de la intensidad de señal recibida y diseñar un sistema de comunicación que pueda distribuir la señal de TV a todas las zonas que tienen baja cobertura, con la finalidad de mejorar el rendimiento de la transmisión de TDT con la normativa ISDB-T, la calidad de imagen y audio en la recepción y disminuir las interferencias que afectan a la señal transmitida. Actualmente la fibra óptica es una solución para la distribución de señales para diferentes servicios y es la más adecuada para poder mejorar la cobertura de TV digital en la provincia del Cusco.

## **1.1.2. Formulación del Problema**

### ***1.1.2.1. Problema General***

Se desconoce en qué medida influyen los factores intrínsecos y extrínsecos en la cobertura ISDB-T y como mejorar la transmisión y recepción de TV digital en la provincia del Cusco.

### ***1.1.2.2. Problemas Específicos***

- Se desconoce la situación actual de la cobertura ISDB-T dentro de la provincia del Cusco.
- Se desconocen cuales son las zonas dentro de la provincia que presentan una baja recepción de señal de TV digital.
- Inexistencia de un nuevo sistema viable para mejorar la cobertura en las zonas con baja recepción de TV digital.
- Se desconoce el proceso de diseño para adaptar el sistema de comunicación propuesto a la red actual ISDB-T.
- Desconocimiento de cómo sería el pronóstico de la cobertura ISDB-T utilizando el sistema de comunicación propuesto.

## **1.2. Objetivos del Proyecto**

### **1.2.1. Objetivo General**

Determinar la influencia de los factores intrínsecos y extrínsecos de la cobertura ISDB-T y proponer el diseño de una red utilizando los parámetros del sistema digital radio sobre fibra, para mejorar la cobertura en la provincia del Cusco.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el diagnóstico de la cobertura ISDB-T mediante un estudio de campo en toda la provincia del Cusco.



- Determinar las zonas que presentan una baja recepción de señal de TV digital y los factores que influyen en esta clase de recepción.
- Proponer como sistema viable la radio sobre fibra para mejorar la cobertura en las zonas con baja recepción de TV digital.
- Realizar el diseño de los enlaces de fibra óptica para la distribución de la señal de TV digital bajo los parámetros del sistema radio sobre fibra.
- Obtener el pronóstico de la cobertura ISDB-T mediante la simulación en software del diseño propuesto.

### **1.3. Justificación del Proyecto**

#### **1.3.1. Justificación Técnica**

Esta propuesta permitirá conocer el estado actual de la cobertura en las transmisiones de ISDB-T y evaluar los factores de la falta de cobertura en las zonas determinadas, para así plantear como solución una mejor distribución de la señal de TV digital. También es un aporte para las aplicaciones de los sistemas de comunicación que utilizan la fibra óptica como medio de transmisión en la solución de problemas que presentan las emisiones de radiodifusión como la cobertura. Por lo tanto, el sistema radio sobre fibra es una buena alternativa para mejorar la cobertura de los servicios de comunicación, no solo para ISDB-T, puede aplicarse para telefonía móvil (3G, 4G, 5G), comunicaciones satelitales, comunicaciones inalámbricas, comunicación en AM o FM.

#### **1.3.2. Justificación Social**

Esta propuesta será un aporte en beneficio de la población que actualmente no cuenta con cobertura de TV digital y también será un beneficio para mejorar la calidad de servicio de las empresas emisoras de televisión. También beneficiará a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica porque es un aporte al conocimiento de los alumnos que aspiran trabajar y ejercer la profesión en la rama de las telecomunicaciones.

## **1.4. Alcances y Limitaciones**

### **1.4.1. Alcances**

- Para el diagnóstico de la cobertura ISDB-T actual, el trabajo realiza el estudio de campo.
- El trabajo muestra geográficamente las zonas con baja cobertura ISDB-T.
- Se propone el equipamiento adecuado para el diseño de la red radio sobre fibra.
- Se realiza el diseño y simulación del enlace óptico propuesto mediante software.
- Se realiza el diseño y simulación de la red ISDB-T propuesta mediante software.
- Se realiza una comparación entre la cobertura actual y la cobertura predictiva utilizando la red propuesta.

### **1.4.2. Limitaciones**

- Dentro de las aplicaciones de radio sobre fibra, el trabajo se enfoca en el servicio de ISDB-T.
- El trabajo se encuentra en fase de diseño y simulación.

## **1.5. Variables e Indicadores**

### **1.5.1. Variables Dependientes**

- **Cobertura:**  
Porcentaje de la población que presenta la óptima recepción de señal recibida del servicio ISDB-T en la provincia del Cusco.
- **Intensidad de señal recibida:**  
Es el valor que indica el nivel de la señal radioeléctrica que llega al receptor donde existen interferencias en el medio, siendo la potencia recibida menor a la potencia de transmisión.
- **Factor Q:**

También de nominado factor de calidad, es el parámetro que indica la cantidad energética de pérdidas que existe en un sistema de comunicación, mientras las pérdidas sean mínimas, el factor de calidad indicará una buena eficiencia energética en el sistema.

#### ***1.5.1.1. Indicadores de Variables Dependientes***

- Porcentaje [%]
- Decibelio-mili vatio [dBm]
- Magnitud adimensional

#### **1.5.2. Variables Independientes**

- **Ubicación de los elementos de la red:**

Posición geográfica donde estarán implementados los elementos de la red propuesta para mejorar la cobertura ISDB-T actual.

- **Parámetros de transmisión:**

Especificaciones técnicas del equipamiento propuesto para una comunicación deseada desde un punto a otro; como la potencia de salida, altura de la antena, pérdidas de línea, tipo de antena, ganancia de la antena, etc.

- **Enlace óptico:**

Diseño y evaluación de la emisión óptica que ofrece el sistema radio sobre fibra con el equipamiento propuesto y sus respectivas especificaciones técnicas para enviar la señal ISDB-T desde la unidad central hasta puntos de acceso de radio.

#### ***1.5.2.1. Indicadores de Variables Independientes***

- Coordenadas Geográficas
- Decibelio-mili vatio [dBm], Altura en metros [m], Ganancia de la antena [dBi], Pérdidas de línea [dB]
- Unidad

### 1.5.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de Variables

<b>Cuadro de operacionalización de variables</b>			
<b>Variable</b>	<b>Descripción de la variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Item</b>
<b>Variables Dependientes</b>			
Cobertura	Porcentaje de la población que presenta la óptima recepción de señal recibida del servicio ISDB-T en la provincia del Cusco.	Porcentaje [%]	Objetivo 1 Objetivo 2 Objetivo 5
Intensidad de señal recibida	Es el valor que indica el nivel de la señal radioeléctrica que llega al receptor donde existen interferencias en el medio, siendo la potencia recibida menor a la potencia de transmisión.	Decibelio-milivatio [dBm]	Objetivo 1 Objetivo 2 Objetivo 5
Factor Q	También denominado factor de calidad, es el parámetro que indica la cantidad energética de pérdidas que existe en un sistema de comunicación, mientras las pérdidas sean mínimas, el factor de calidad indicará una buena eficiencia energética en el sistema.	Magnitud adimensional	Objetivo 4

<b>Variables Independientes</b>			
Ubicación de los elementos de la red	Posición geográfica donde estarán implementados los elementos de la red propuesta para mejorar la cobertura ISDB-T actual.	Coordenadas geográficas	Objetivo 3 Objetivo 4
Parámetros de transmisión	Especificaciones técnicas del equipamiento propuesto para una comunicación deseada desde un punto a otro; como la potencia de salida, altura de la antena, pérdidas de línea, etc.	Decibelio-milivatio [dBm] Altura en metros [m] Ganancia de la antena [dBi] Pérdidas de línea [dB]	Objetivo 3 Objetivo 4
Enlace óptico	Diseño y evaluación de la emisión óptica que ofrece el sistema radio sobre fibra con el equipamiento propuesto y sus respectivas especificaciones técnicas para enviar la señal ISDB-T desde la oficina central hasta puntos de acceso de radio.	Unidad	Objetivo 3 Objetivo 4

*Fuente.* Elaboración Propia.

## **1.6. Metodología**

### **1.6.1. Tipo y Diseño de Metodología**

Por el objetivo del trabajo de tesis, el estudio es de tipo exploratorio-descriptivo; exploratorio, porque se pretende incrementar el grado de conocimiento sobre la transmisión de señales de radiodifusión., y descriptiva, por cuanto a partir de la determinación de las condiciones del entorno y otras características particulares. Y para responder al problema del estudio el tipo es cualitativo-cuantitativo; cualitativo, porque se describe y se analiza información de hechos en entornos y casos específicos; cuantitativo, porque se utilizan predominantemente los diseños experimentales, encuestas sociales y estudios estadísticos.

### **1.6.2. Desarrollo del Proyecto**

- Se realizará el estudio del marco teórico, y se obtendrá los conocimientos respecto al sistema radio sobre fibra dentro del servicio ISDB-T.
- Se utilizará instrumentación electrónica (analizador de espectros) para el estudio de cobertura en la provincia del Cusco.
- Se ubicará los puntos donde se considerarán la unidad central (UC) y los puntos de acceso de radio (RAP) con los resultados obtenidos en el estudio de cobertura para el diseño de la red basado en el sistema radio sobre fibra.
- Se diseñará la red ISDB-T proponiendo equipamiento que es compatible con el sistema radio sobre fibra
- Se simulará la red diseñada con el equipamiento propuesto para ISDB-T, utilizando el software Optisystem para el enlace óptico y el software Radio Mobile para la cobertura.
- Se obtendrá los resultados finales y se validará el diseño de la red haciendo una comparación entre la cobertura actual y la pronosticada.
- Se planteará las conclusiones del trabajo.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Tesis

- **Título: “Sistema digital optimizado radio sobre fibra para una comunicación de medio alcance”**

Autores: Muhammad Usman Hadi, Hyun Jung, Salman Ghaffar, Pier Andrea

Traverso, Giovanni Tartarini

Optic Communications. Vol 443, 177-185, 2019

#### **Resumen:**

En los últimos años, la demanda de acceso inalámbrico eficiente y de banda ancha se ha intensificado, por lo que radio sobre fibra (RoF) se considera una solución adecuada. En este artículo se presenta una transmisión digitalizada de Señal LTE de 20 MHz con modulación de amplitud de 64 en cuadratura (64 QAM) en 70 km de fibra monomodo estándar (SSMF) para aplicaciones de transporte y distribución de señales inalámbricas de banda ancha. El análisis de rendimiento ha sido evaluado para radio analógica sobre fibra convencional (A-RoF) y radio digital sobre fibra propuesta (D-RoF). La técnica de muestreo de paso de banda se discute y se emplea para digitalizar la señal de RF. Como una figura por mérito, la evaluación del rendimiento de las dos arquitecturas se informa mediante el análisis de la magnitud del vector de error (EVM), relación señal / ruido y Diagrama de ojo. Se muestra que los enlaces ópticos digitales pueden mitigar las deficiencias presentes en enlaces A-RoF y pueden soportar la transmisión de hasta 70 km. Además, se muestra que se pueden obtener enlaces D-RoF eficientes con una cantidad relativamente baja de convertidor analógico digital (ADC). Se realiza una validación experimental del modelo analítico D-RoF propuesto para 30 km de SSMF, cuyos resultados experimentales están aproximados con los analíticos. Los parámetros evaluados están dentro de las especificaciones de LTE, lo que

demuestra que es una solución rentable y rentable para las redes inalámbricas de próxima generación.

- **Título: “Diseño de un enlace de radio sobre fibra para la próxima generación de sistemas inalámbricos”**

Autores: David Wake, Anthony Nkansah, y Nathan J. Gomes

Journal of Lightwave Technology. Vol 28, 2456-2464, 2010

**Resumen:**

El rendimiento de los enlaces de radio sobre fibra (RoF) que utilizan componentes optoelectrónicos de bajo costo se evalúa para aplicaciones de antenas distribuidas en sistemas inalámbricos de próxima generación. Se discuten cuestiones de diseño importantes y se presenta un ejemplo de diseño de enlace para un sistema inalámbrico que requiere la transmisión de cuatro canales de radio por dirección de enlace, cada uno con un ancho de banda de 100 MHz, utilizando una modulación de 256-QAM y subportadoras OFDM 2048. Mostramos que el ruido introducido por los enlaces RoF no tiene un impacto significativo en el alcance inalámbrico, siempre que el sistema inalámbrico tenga control de potencia de enlace ascendente. Finalmente, comparamos el costo y el rendimiento de los enlaces RoF para esta aplicación con tipos de enlaces alternativos que usan transmisión de radio digitalizada y muestran que RoF es la opción óptima desde una perspectiva de costos.



- **Título: “La caracterización de radio sobre fibra empleada en arquitectura GPON para la red de distribución inalámbrica”**

Autores: Affida M. Zin, Sevia M. Idrus y Nadiatulhuda Zulkifli  
International Journal of Machine Learning and Computing. Vol. 1, No. 5, Diciembre del 2011.

**Resumen:**

La tecnología radio sobre fibra (RoF) proporciona la plataforma base para la integración de sistemas inalámbricos y ópticos. Por otro lado, Gigabit Passive Optical Network (GPON) ha ganado mucho interés en las redes de hoy debido a la flexibilidad, conexión pasiva simple y de bajo costo. Por ejemplo, La tecnología GPON se ha implementado con éxito en Fibra hasta el hogar (FTTH) que admite los servicios Triple-Play que combinan los datos de Internet, la telefonía y el video para hogar a través de un solo cable. Así, muchos trabajos de investigación hoy se centran en acomodar RoF empleado en la arquitectura GPON para explotar el ancho de banda (BW), maximizar la capacidad y reducir el costo de desarrollo. Por lo tanto, este proyecto destinado a caracterizar la distribución de IEEE 802.11 WLAN servicio utilizando la técnica RoF en la arquitectura de red GPON por medio de simulación que se realizó en software comercial OptiSystem. La transmisión bidireccional se utilizó con fibra. la longitud varió de 2 a 20 km. El análisis se realizó en base a el rendimiento de BER, OSNR y la potencia recibida. Los resultados de la simulación muestran que el esquema del sistema presenta los estándares de desempeño.

- **Título: “Recomendación de ubicación de transmisores para una cobertura óptima de Televisión Digital Terrestre en la ciudad de Cuenca, basada en un modelo de propagación ajustado”**

Autores: Ismael Fabián Chacho Prado, Henry Vladimir Zamora Castro

Universidad de Cuenca – Ecuador, 2016

**Resumen:**

El presente trabajo se centra en el análisis de dos modelos de propagación radioeléctrica de uso para Televisión Digital Terrestre: el modelo de Okumura Hata y la recomendación ITU-R P. 1546-5. Estos modelos se implementan en el software denominado RadiUC desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, el mismo que permite la utilización de modelos digitales de elevaciones y permite predecir la intensidad de campo para un área determinada. El ajuste y validación del modelo de propagación se realizó considerando resultados de mediciones de campo mediante un Drive Test, en las ciudades de Quito y Cuenca con el sistema SACER. Se estimó el error entre predicciones del modelo radioeléctrico obtenido con RadiUC, y las mediciones de campo. Con dicha estimación se analizaron las posibles modificaciones o ajustes que se podrían realizar al modelo de propagación. Se realizó la validación de los ajustes del modelo en base a un análisis estadístico de errores, contrastando con el software de simulación ICS Telecom, con el objetivo de minimizar el error con las mediciones de campo. Se realiza un análisis de la situación actual del servicio de TDT en Cuenca simulando sitios actuales para evidenciar zonas de sombra. Con la finalidad de mejorar la cobertura, se modificaron las características del sistema de transmisión obteniendo notables mejoras. Para zonas en donde a pesar de las modificaciones no se obtienen mejoras, se analiza la posibilidad de ubicación de Gap Fillers para TDT.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética es un conjunto de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transmitiendo energía de un lugar a otro, a diferencia de otros tipos de onda la radiación se puede transmitir en el vacío. Los tipos más importantes de radiación electromagnética son los rayos X, las ondas de radio, los rayos gamma, los rayos infrarrojos y la luz visible y de acuerdo a la longitud de onda que contienen, forman el espectro electromagnético [5]. La longitud de onda de una onda electromagnética esta deducida en la siguiente formula:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1)$$

Donde:

$\lambda$  = Longitud de Onda [m].

C = Velocidad de la Luz [m/s] =  $3 \times 10^8$  m/s.

f = Frecuencia [Hertz].

#### 2.2.1.1. Factores que Influyen en la Radiación Electromagnética

- **Atenuación:**

La atenuación es la reducción de la fuerza de la señal sea de tipo analógico o digital producida en transmisiones de señales a grandes distancias [6].

- **Ruido:**

El ruido es la energía eléctrica, electromagnética o frecuencia de radio no deseada que puede degradar y distorsionar la calidad de las señales y comunicaciones de todo tipo [6].

- **Multi-trayecto:**

Los multi-trayectos son los obstáculos que reflejan las señales causando que múltiples copias con diferentes retardos sean recibidas [6].

- **Absorción:**

Es el efecto donde la señal sufre una pérdida de energía provocada por la viscosidad del aire y calor generado por el roce de las partículas del aire [6].

- **Refracción:**

La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la señal [6].

### 2.2.2. Espectro Electromagnético

El Espectro electromagnético es el conjunto de frecuencias donde se produce la radiación electromagnética y se extiende desde la radiación de menor longitud de onda ( $\lambda$ ), hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud. Así, el límite teórico inferior del espectro electromagnético es 0 porque no existen frecuencias negativas, y el teórico superior es  $\infty$ . Las ondas electromagnéticas pueden emplearse para la transmisión de información variando la onda original en amplitud, fase y frecuencia. la onda variada es transmitida por medios guiados como la fibra óptica, cable coaxial, par trenzado, etc. Y por medios no guiados como el vacío o el aire [7]. La Figura 1, muestra división del espectro electromagnético para cada radiación electromagnética medida en longitud de onda:

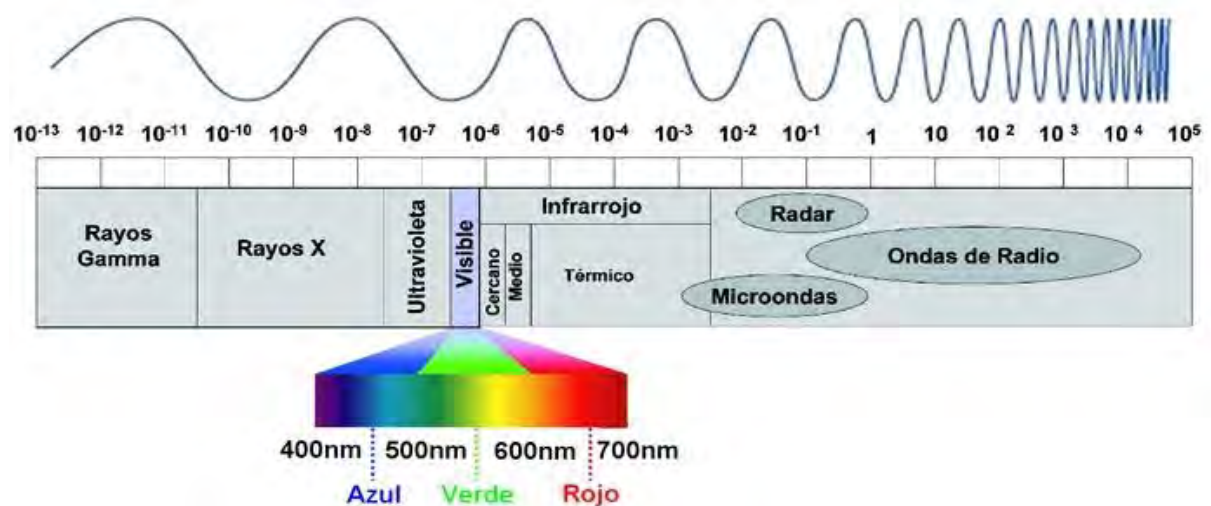


Figura 1. Espectro electromagnético  
Fuente. Espectro Electromagnético, UNAM.

### 2.2.3. Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico o radiofrecuencia (RF) es la porción o subconjunto del espectro electromagnético donde las frecuencias son usadas para los servicios de difusión y servicios móviles desde los 3 Hz hasta los 300 GHz. Este subconjunto viene determinado por dos factores: las características de propagación de las ondas electromagnéticas, y los avances tecnológicos producidos por el ser humano [7]. La Figura 2 muestra la división del espectro radioeléctrico para cada banda (con sus respectivos servicios de transmisión de información) medida en Hertz.

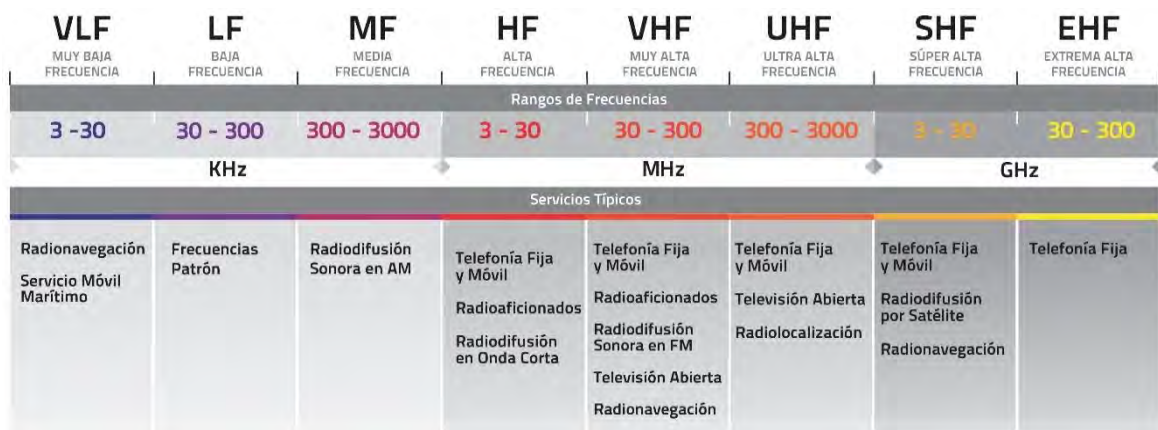


Figura 2. Espectro radioeléctrico  
Fuente. Espectro Radioeléctrico, CONATEL.

#### 2.2.3.1. Banda UHF

Por sus siglas: Ultra Alta Frecuencia, es una banda del espectro radioeléctrico donde se produce la propagación por onda espacial troposférica y ocupa el rango de frecuencias desde los 300 MHz hasta los 3 GHz. Dentro de esta banda se emiten los servicios de Televisión Digital Terrestre (TDT), los servicios de telefonía móvil terrestre (GSM, UMTS, etc.) y las tecnologías de redes inalámbricas con Wi-Fi (WLAN) o Bluetooth (WPAN) [7].

### 2.2.4. Técnicas de Modulación Digital

#### 2.2.4.1. Modulación QAM

La modulación QAM consiste en modular en amplitud de forma independiente, dos portadoras que tienen la misma frecuencia, pero con desfase entre sí de 90°. La señal modulada

QAM resulta de la suma de las dos señales portadoras, por lo que ofrece la posibilidad de operar por el mismo canal sin interferencia y transmitir dos señales en la misma frecuencia favoreciendo el aprovechamiento del ancho de banda disponible. La modulación QAM digital o cuantizada (M-QAM), tiene como entrada el flujo de datos binarios que son divididos en grupos de tantos bits para generar M estados de modulación que son representados en los diagramas de constelación, y mayor sea el número de M estados, es posible transmitir más bits por símbolo ( $2^{\text{bits}} = M$  estados de modulación) [8].

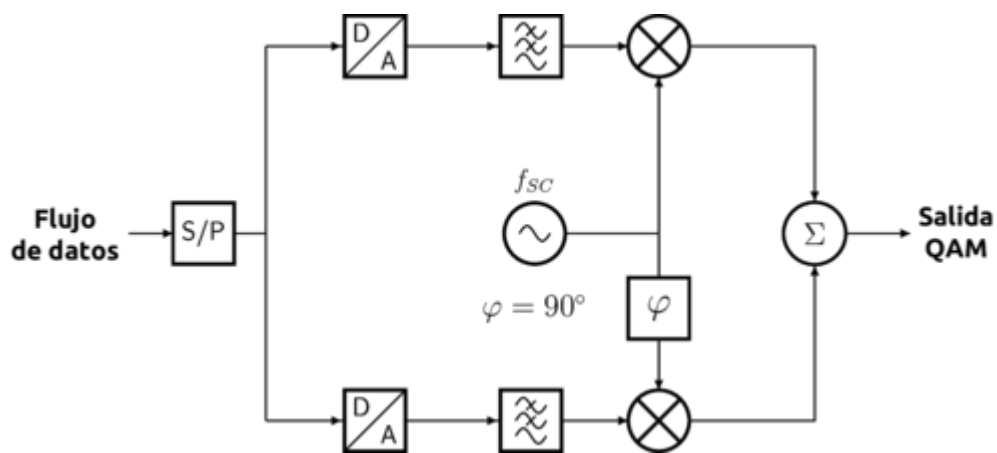


Figura 3. Transmisor QAM

Fuente. Modulación QAM, Inmaculada Hernández Rioja.

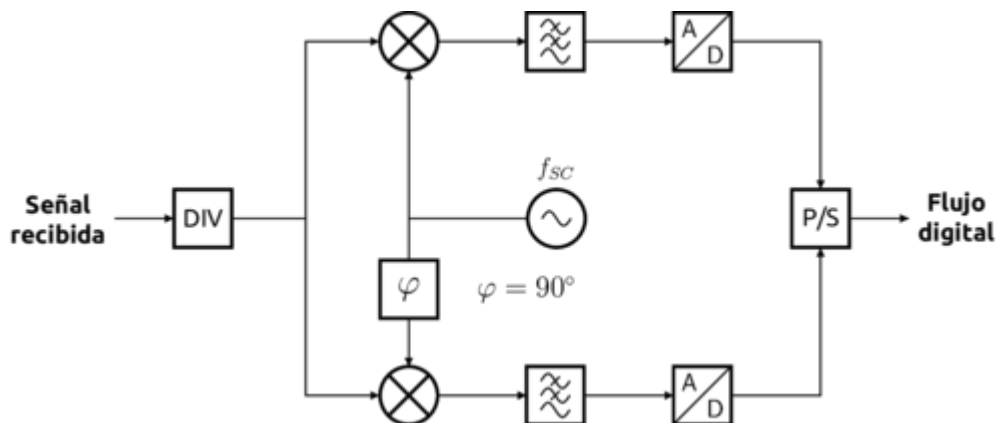


Figura 4. Receptor QAM

Fuente. Modulación QAM, Inmaculada Hernández Rioja.

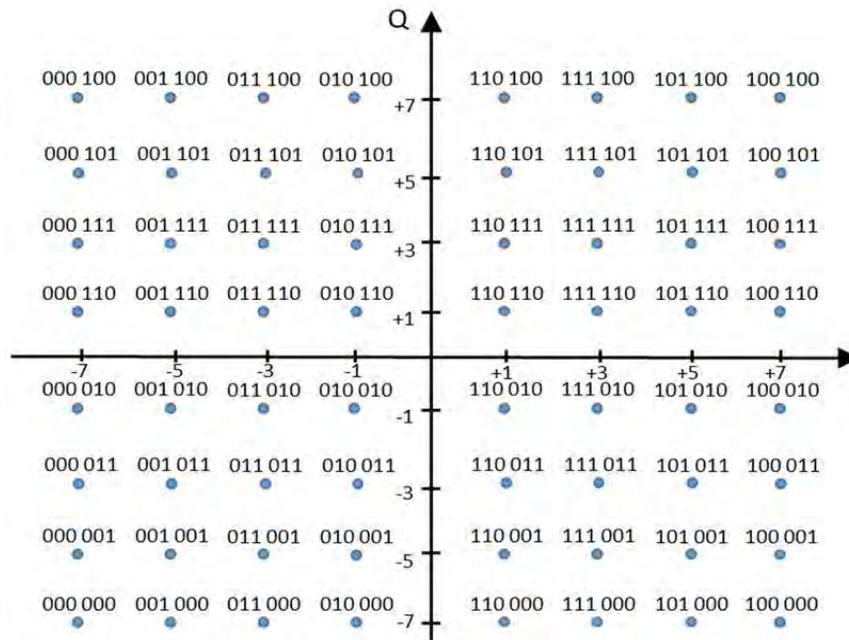


Figura 5. Diagrama de Constelación de 64-QAM  
Fuente. Modulación QAM, Karen Colon Caraballo.

Los usos más comunes en servicios de difusión son de 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM, depende de la norma que adapte cada país. Por ejemplo, la norma ISDB-T para Televisión digital Terrestre utiliza la modulación 64-QAM [8].

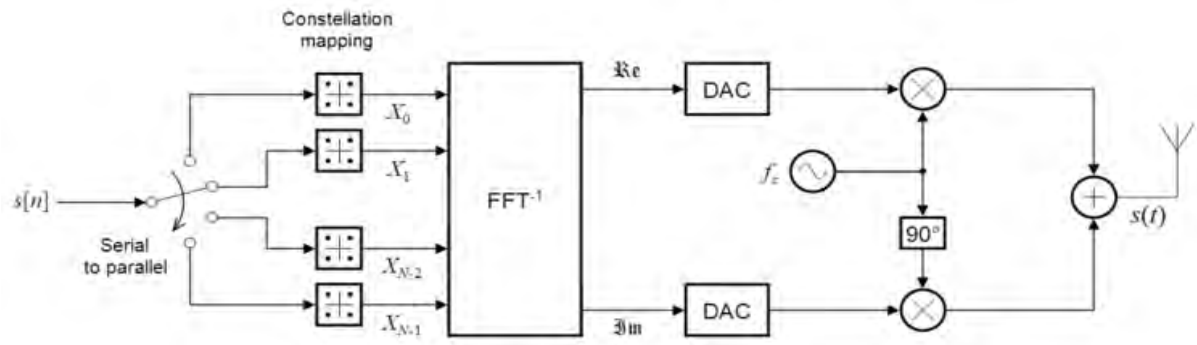
#### 2.2.4.2. Modulación OFDM

La modulación OFDM (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales) consiste en transmitir mediante la multiplexación un conjunto de subportadoras moduladas en QAM o en PSK de diferentes frecuencias con espectros superpuestos para transmitir datos. Los beneficios de OFDM son una eficiencia espectral alta, resistencia a interferencias de RF, y baja distorsión de multi-trayecto [9].

Es muy robusta frente a los desvanecimientos en frecuencia y a las interferencias de RF por lo tanto, las distintas señales con retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen a la recepción positivamente, por lo que es posible diseñar redes de radiodifusión de frecuencia única sin la existencia de problemas de interferencias [9].

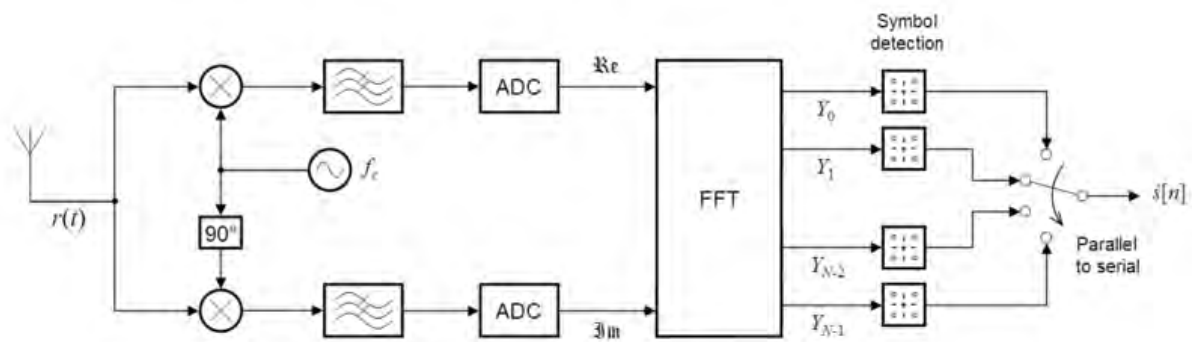
En la transmisión se calcula de transformada inversa de fourier del flujo de datos binarios demultiplexados generando muestras convertidas a señales analógicas mediante un

convertidor digital-analógico (DAC) y son moduladas en ondas de coseno y seno a la frecuencia portadora [9].



**Figura 6. Transmisor OFDM**  
Fuente. Técnicas de Modulación Digital, Fuqin Xiong.

En la recepción se calcula de transformada rápida de Fourier de las señales analógicas que son convertidas a señales digitales mediante un convertidores analógicos- digital (ADC), obteniendo el flujo de datos binarios, y se convierten en un flujo serial de salida mediante un multiplexor [9].



**Figura 7. Receptor OFDM**  
Fuente. Técnicas de Modulación Digital, Fuqin Xiong.

### 2.2.5. Televisión Digital Terrestre

La Televisión Digital Terrestre (TDT) o Televisión Digital Abierta (TDA) es la transmisión de imágenes y audios asociados mediante la codificación binaria a través de una red de transmisores terrestres y puede ser canalizado por distintos medios y distintos protocolos. Las canalizaciones o anchuras de banda asignadas pueden ser entre 6 a 8 MHz, y cada país dispone de una canalización específica. Otras características de la TDT son la facilidad y rapidez en implementación y la cobertura de la señal emitida es local [3].



Para la digitalización de señales TV se siguen los siguientes pasos: muestreo, cuantificación y codificación. Según la norma CCIR 601, la digitalización de señales de TV es compatible para los sistemas de televisión analógica (PAL, NTSC y SECAM), que mediante la digitalización de los componentes de luminancia y crominancia se logra una imagen de alta resolución [10].

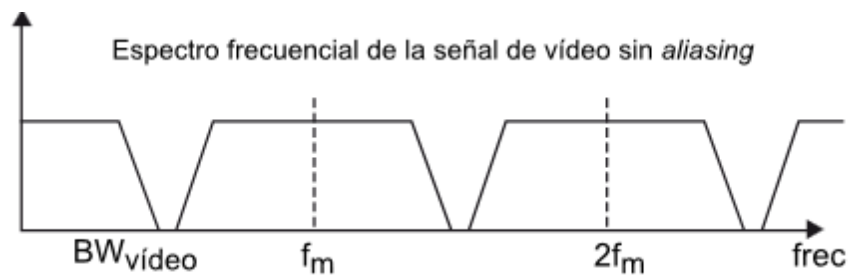
Para el muestreo se requiere cumplir el criterio de Nyquist que obliga a la frecuencia de muestreo ser igual o mayor al doble del ancho de banda de la señal que se desea muestrear, evitando el fenómeno de aliasing que se produce cuando la frecuencia de muestreo es inferior al doble del ancho de banda de la señal analógica digital [10].

$$f_m \geq 2x BW \quad (2)$$

Donde:

$f_m$  = frecuencia de muestreo

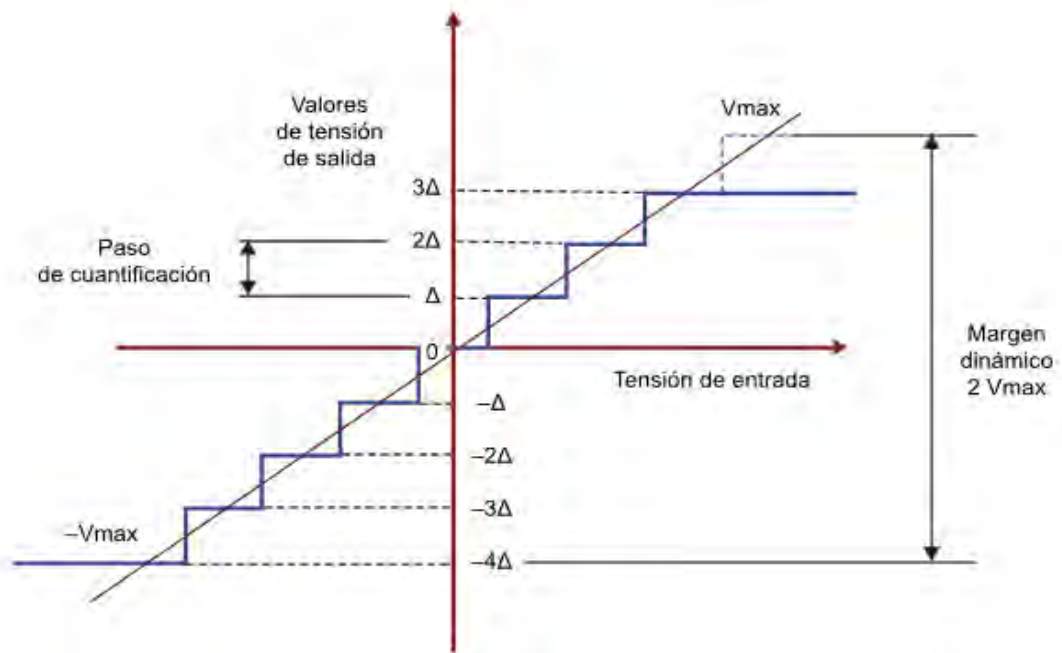
$BW$  = ancho de banda



**Figura 8. Espectro frecuencial cumpliendo el criterio de Nyquist**

*Fuente.* Digitalización de la señal de Televisión, Javier Gago Barrio.

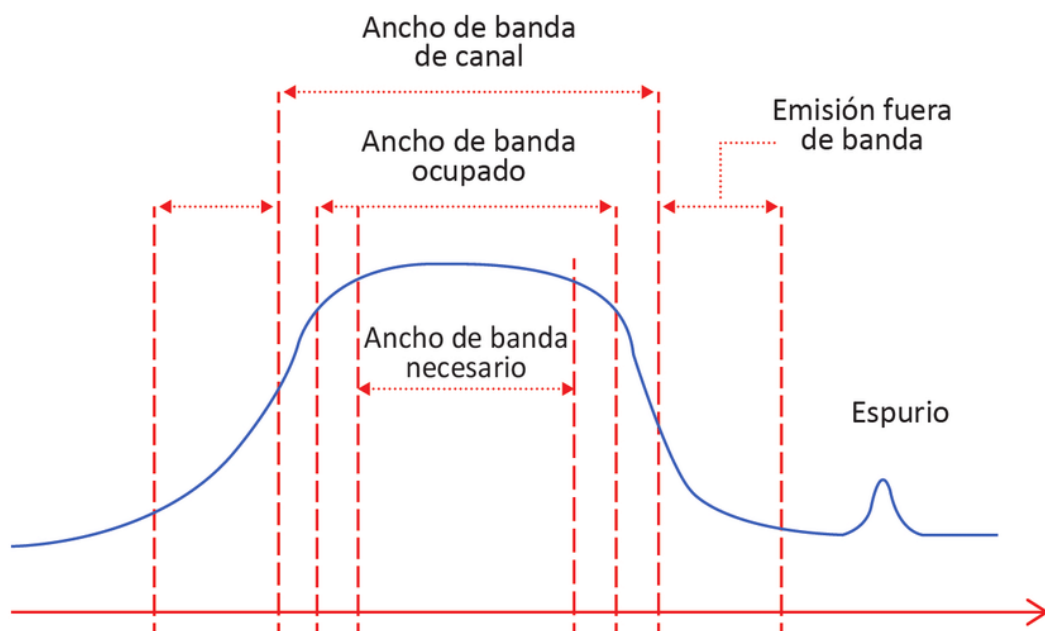
Para la cuantificación, se define un margen para discretizar el valor de la señal muestreada al valor más cercano dentro del conjunto de valores posibles según el número de bits. La Figura 9, muestra la curva de cuantificación uniforme de una señal bipolar que es utilizada para los sistemas de televisión [10].



**Figura 9. Curva de cuantificación uniforme**

*Fuente.* Digitalización de la señal de Televisión, Javier Gago Barrio.

Para la codificación, se asocia el valor de las muestras cuantificadas a un código binario con el número de bits correspondientes. Por ejemplo, para 8 bits (256 niveles) se dedican 220 niveles a la luminancia y 224 a cada de las dos señales de crominancia [10]. La Figura 10, muestra el espectro de la señal de televisión digital:



**Figura 10. Espectro de la señal de TV digital**

*Fuente.* Modelo metodológico para la coexistencia de las señales TDT y LTE, German Castellanos.

### **2.2.5.1. ISDB-T**

La Radiodifusión Digital de Servicios Integrados Terrestre (ISDB-T) Es el estándar normativo que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) adoptó para la implementación y transmisión de TDT en el Perú [11].

Las características de ISDB-T son:

- Transmisión de un canal HDTV con 6 MHz de ancho de banda.
- Robustez contra ruidos urbanos, desvanecimiento y cualquier otra interferencia.
- Flexibilidad en la recepción, cualquier sistema de recepción es posible, fijo o móvil en el mismo ancho de banda.
- Utilización efectiva del recurso de frecuencias.
- Armonización con la red.
- Transferencia de datos.
- Compatibilidad para la reducción de los costos de recepción.

### **2.2.5.2. TDT en el Perú**

De acuerdo al decreto supremo que modifica el plan maestro para la implementación de Televisión Digital Terrestre en el Perú, aprobado por decreto supremo N° 017-2010- MTC, modificado por decreto supremo N° 008-2011-MTC, conforme lo siguiente:

“Artículo 15.- Inicio de la transmisión con tecnología digital. 15.1 Los titulares de autorizaciones vigentes inician la transmisión de sus señales digitales, cualquiera fuera la modalidad, sujetos a los siguientes plazos” [12]. La Tabla 2 muestra el inicio de la transmisión de TDT con tecnología digital por territorios:

Tabla 2. Plan de Canalización de TDT en el Perú

Territorios	Localidades	Plazo máximo de aprobación del Plan de Canalización y Asignación de Frecuencias	Plazo máximo para el inicio de Transmisiones con tecnología digital	
			Transmisión Simultanea	Transmisión Directa
Territorio 01	Lima y Callao	II Trimestre 2010	IV Trimestre 2015	IV Trimestre 2019
Territorio 02	Arequipa, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Piura y Huancayo	I Trimestre 2011	III Trimestre 2018	IV Trimestre 2021
Territorio 03	Ayacucho, Chimbote, Ica, Iquitos, Juliaca, Pucallpa, Puno y Tacna	IV Trimestre 2011	IV Trimestre 2020	IV Trimestre 2023
Territorio 04	Localidades no incluidas en los territorios 01,02 y 03	I Trimestre 2013	I Trimestre 2022	I Trimestre 2025

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

### 2.2.5.3. Plan de Canalización en la Provincia del Cusco

Tabla 3. Emisoras de TDT en la Provincia del Cusco

Multiplex	Frecuencia	Razón Social	Canal	Nombre
16 UHF	485 MHz	Instituto Nacional de Radio y Televisión del Perú – IRTP	4	TV Perú
18 UHF	497 MHz	Andina de Radiodifusión S.A.C.	9	ATV
20 UHF	509 MHz	Compañía Latinoamericana de Radiodifusión S.A.	13	Latina
22 UHF	521 MHz	Empresa Radiodifusora S.A.	11	Global
24 UHF	533 MHz	Compañía Peruana de Radiodifusión S.A.	29	América
26 UHF	545 MHz	Panamericana Televisión S.A.	5	Panamericana
32 UHF	581 MHz	Televisión Nacional Peruana S.A.	7	ATV Sur
36 UHF	605 MHz	Asociación Cultural Bethel	19	Bethel
38 UHF	617 MHz	Compañía de Televisión Cusqueña S.A.C	2	CTC

Fuente. RVM 164-2019-MTC/03.

### 2.2.6. Medios de Trasmisión

#### 2.2.6.1. Cable Coaxial

Es un cable compuesto por dos conductores que son el núcleo formado por un trenzado de cobre, y el exterior forrado por una malla trenzada de cobre o aluminio y produce un efecto de blindaje y sirve como retorno de las corrientes [13]. Usualmente son aplicados a empresas de televisión por cable, las compañías telefónicas para el acceso mediante la red LAN. Sus características son las siguientes:

- Impedancia característica: 50, 75 o 93  $\Omega$ .
- Frecuencia de trabajo: 100 KHz – 3000 MHz.
- Atenuación máxima: de 1 a varios cientos de dB/100m.
- Potencia máxima: de unos pocos Watts hasta algún KWatt, dependiendo de la frecuencia de trabajo.
- Capacidad: 30 – 100 pF/m.

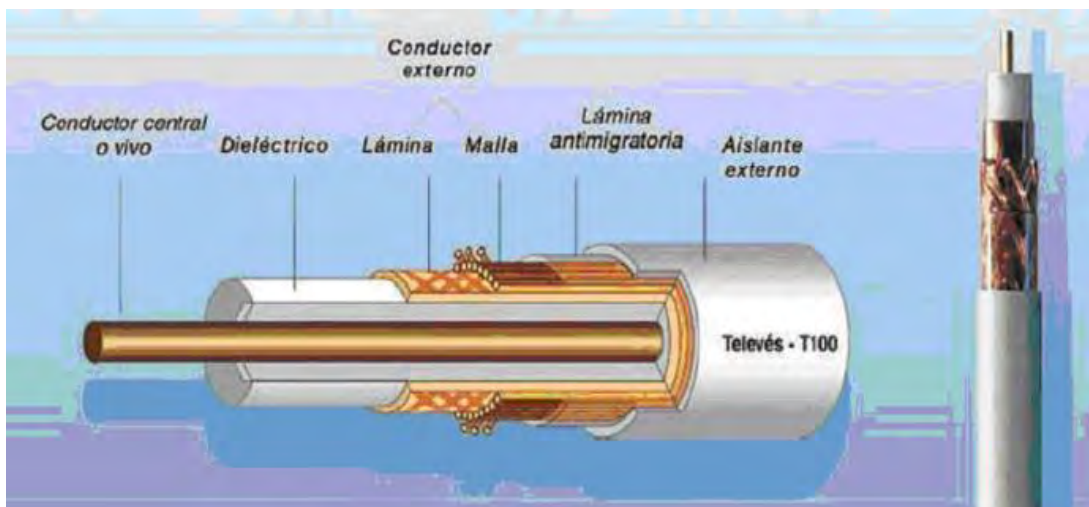


Figura 11. Constitución del Cable Coaxial  
Fuente. Cable Coaxial, UV.

### 2.2.6.2. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio dieléctrico transparente que permite el paso de la luz de un extremo a otro con mínimas pérdidas. Cada filamento consta de un núcleo de plástico o cristal con un alto índice de refracción y está rodeado por una capa de un material similar con el índice de refracción menor. Un haz de luz se transmite por el núcleo de la fibra, tal que no atraviese el núcleo, este se refleja y se sigue propagando consiguiendo que el índice de refracción del núcleo sea mayor al índice de refracción del revestimiento y el ángulo de incidencia es mayor al ángulo límite [14].

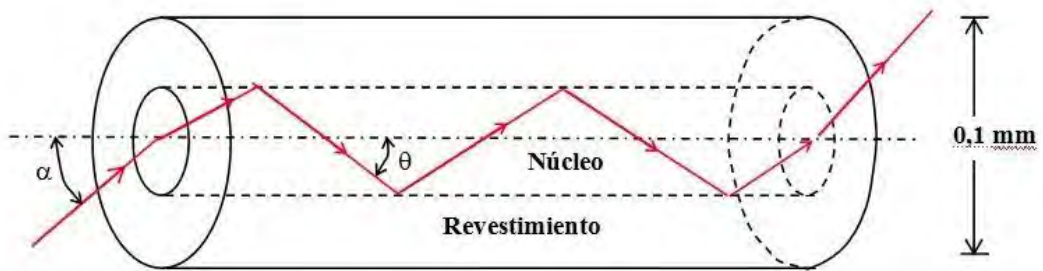


Figura 12. Interior de la Fibra óptica

Fuente. Fundamentos de la Fibra Óptica, Opteca.

Las características principales de la fibra óptica son:

- Gran ancho de banda.
- Bajas pérdidas.
- Inmunidad contra las perturbaciones electromagnéticas.
- Seguridad eléctrica.
- Seguridad de datos.
- Larga duración.
- Peso ligero.

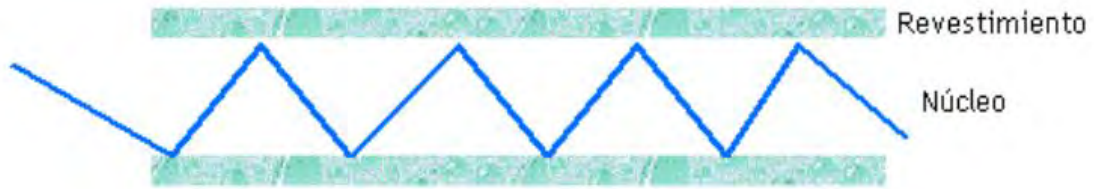
#### 2.2.6.2.1. Fibra Monomodo

Las fibras monomodo transmiten un haz de luz y se propaga a través de ella sin dispersión, se utilizan para transmitir a grandes velocidades, el ancho de banda es superior a 10 GHz/km. El diámetro del núcleo es de 9  $\mu\text{m}$  y la abertura numérica son tan débiles que los rayos luminosos se propagan en paralelo con tiempos de trayectos similares. La fibra monomodo es utilizada generalmente en servicios telefónicos a largas distancias [14].

Sus características principales son:

- Nodo de 9 – 10 micras.
- Láser con longitud de onda de 1310 a 1550 nm.
- Pérdidas de atenuación en 1310 nm: 0.3 – 0.5 dB/Km.

- Pérdidas de atenuación en 1550 nm: 0.17 – 0.4 dB/Km.
- Usado en telefonía, CATV a largas distancias.



**Figura 13. Fibra monomodo**

Fuente. Fundamentos de la Fibra Óptica, Opteca.

#### 2.2.6.2.2. Fibra Multimodo

La fibra multimodo transmite más de un haz de luz con un índice de refracción que sigue un trayecto sinusoidal, el ancho de banda es de 600 – 3000 MHz/Km. Los diámetros más frecuentes son de 62.5  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ . Generalmente la fibra multimodo es utilizada en redes privadas como servidores LAN [14].

Sus características principales son:

- Nodo 50 – 62,5 micras.
- Longitud de onda de 850 – 1310 nm.
- Pérdidas de atenuación en 850 nm: 3 – 3.5 dB/Km.
- Uso en redes de acceso.



**Figura 14. Fibra Multimodo**

Fuente. Fundamentos de la Fibra Óptica, Opteca.



### 2.2.7. Modulación Electro-Óptica

La modulación electro - óptica emplea un diodo laser como emisor de luz que puede ser modulada directamente del láser generando una portadora óptica o pasar por una etapa de modulación externa que modulan la luz radiada antes de su acoplo a fibra mediante dispositivos externos. Generalmente la modulación electro - óptica se utiliza para la conversión de señales de radiofrecuencia a señales ópticas para luego transmitir las mediante la fibra óptica [15].

#### 2.2.7.1. Modulación Directa

También su definición en inglés: Directly Modulated Lasers (DML), se basa en generar una corriente eléctrica que alimente al láser con los datos digitales o analógicos y los sincronice con un valor de corriente por debajo de su corriente umbral, de manera que no emita potencia óptica alguna. Por la tanto, en este tipo de modulación existe un efecto llamado ‘Chirp’ que incrementa el ancho de línea espectral de la señal óptica y que se produce cuando varía la potencia óptica que emite el láser [15].

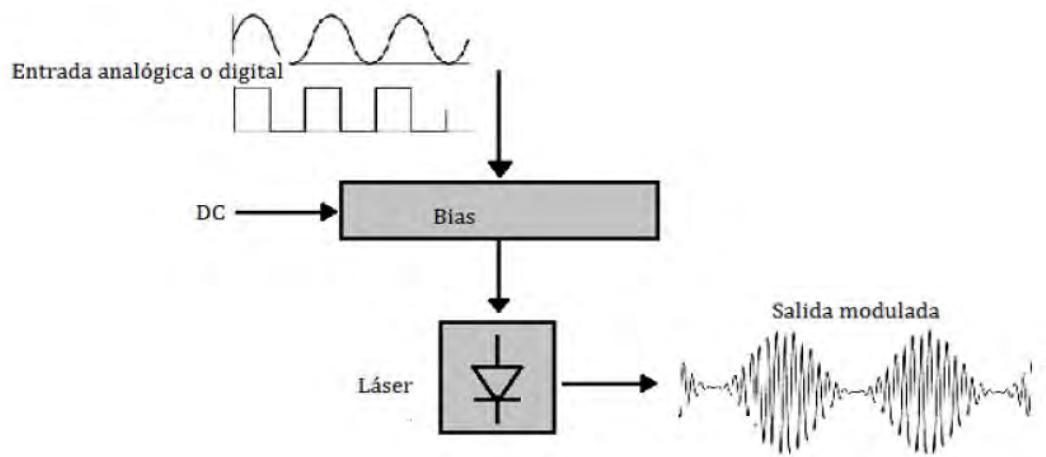


Figura 15. Modulación óptica directa

Fuente. Técnicas de Modulación Óptica, Universidad Politécnica de Catalunya.

La potencia óptica a la salida del diodo láser es captada por un fotodiodo receptor, que realiza la demodulación óptica recuperando la señal de radiofrecuencia original transmitida por el DML [15].

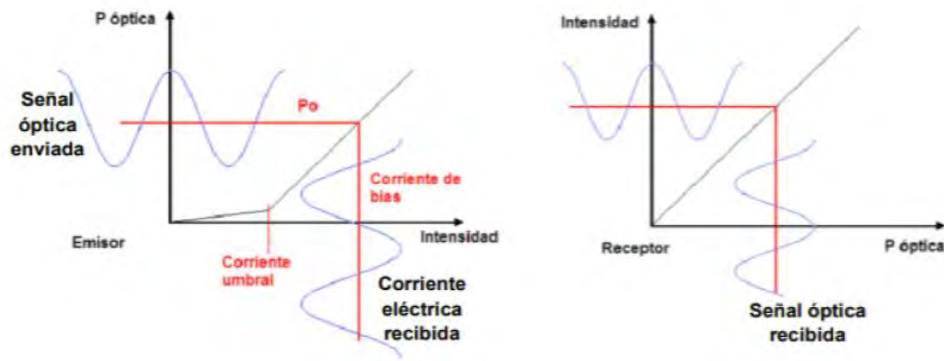


Figura 16. Variación de corriente/potencia sobre la curva del diodo láser provocadas por una señal RF  
Fuente. Técnicas de Modulación Óptica, Universidad Politécnica de Catalunya.

### 2.2.7.2. Modulación Externa

La modulación externa genera una intensidad óptica constante en el tiempo que pasa luego por un dispositivo óptico externo al que se hace llegar la señal moduladora para luego acoplarla a la fibra. El beneficio de la modulación externa es que ofrece proveer una señal óptica de mejor calidad debido a que no presenta los problemas como el Chirp [16]. La modulación externa más usada es el Mach Zehnder cuyas características son:

- Permite que la fuente óptica funcione con un nivel constante de alimentación con lo que se prolonga su vida media.
- Se consigue una mayor velocidad de modulación puesto que no se basa en movimiento de electrones en el diodo semiconductor.
- Reduce la modulación de fase residual o Chirp que tiene efectos indeseados en la transmisión.

El modulador Mach- Zehnder se basa en el fenómeno electro óptico que contiene los cristales en su interior como el niobato de litio ( $\text{LiNbO}_3$ ), lo cual provoca que la señal óptica viaje por el cristal sea sensible a un índice de refracción cuyo valor depende del campo eléctrico aplicado sobre el mismo [16].

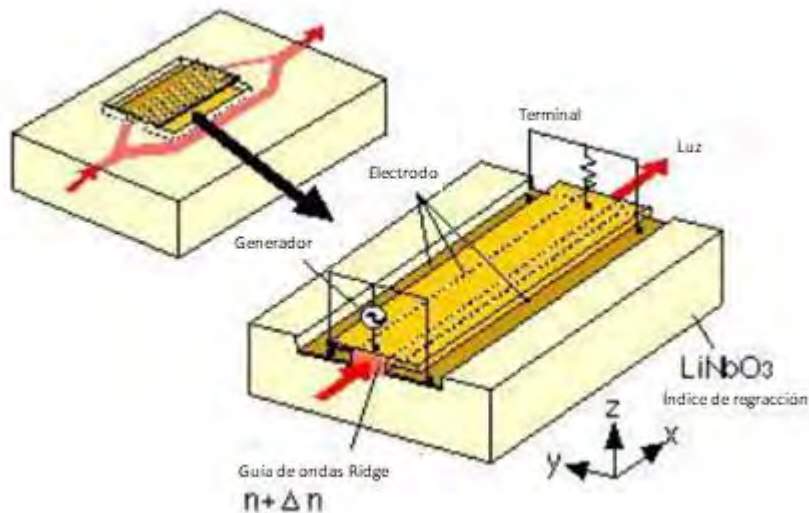


Figura 17. Composición de un electrodo en el modulador Mach-Zehnder – Modificado al español  
Fuente. Técnicas de Modulación Óptica, Universidad Politécnica de Catalunya.

## 2.2.8. Sistemas de Modulación en Fibra Óptica

### 2.2.8.1. WDM (Multiplexación por división de longitud de Onda)

Los sistemas WDM utilizan las longitudes de onda centrales como referencia para definir en cada uno de los canales, el límite de longitud de onda superior o inferior, definiendo los límites de longitud de onda del transmisor que cumplan las especificaciones de los multiplexores y demultiplexores ópticos [17]. Existe dos variaciones de sistemas WDM que son: CWDM (Multiplexación por división aproximada de longitud de onda) y DWDM (Multiplexación por división de longitud de onda densa) cuyas características son especificadas en la Tabla 4:

**Tabla 4. Características de los sistemas de modulación en fibra óptica**

<b>Aplicación/Parámetro</b>	<b>CWDM acceso/MAN</b>	<b>DWDM MAN/WAN</b>	<b>DWDM largo alcance</b>
Canales por fibra	4 - 16	32 - 80	80 – 160
Espéctro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espacio entre canales	20 nm (2500 GHz)	0.8 nm (100 GHz)	0.4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2.5 Gbps	10 Gbps	10 – 40 Gbps
Capacidad de la fibra	20 – 40 Gbps	100 – 1000 Gbps	>1 Tbps
Tipo de láser	DFB sin enfriamiento	DFB con enfriamiento	DFB con enfriamiento
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
Distancia	Hasta 80 Km	Cientos de Km	Miles de Km
Costo	Bajo	Medio	Alto
Amplificación óptica	Ninguna	EDFA	EDFA, Raman

*Fuente.* Sistemas de Comunicación, Universidad Nacional del Callao.

#### *2.2.8.1.1. CWDM (Multiplexación por división aproximada de longitud de onda)*

Los sistemas CWDM tiene la posibilidad de acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz, cada una a una longitud de onda diferente sobre una misma fibra óptica, la frecuencia que ocupa CWDM es de 2.5 GHz y soportan canales limitados de 2.5 Gbps [17].

La separación de longitudes de onda para CWDM es de 20 nm o (2.5 GHz) en el rango de 1270 a 1610 nm, pudiendo así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo, lo que permite emplear componentes ópticos más sencillos, incluyendo el diseño de red, implementación y operación [17].

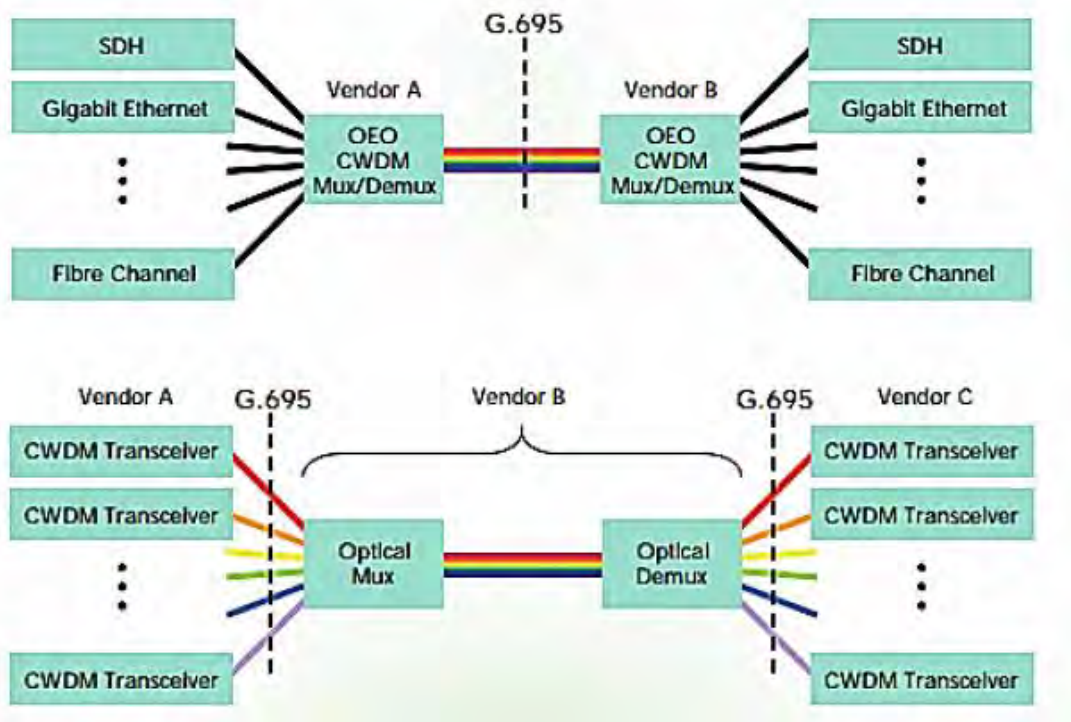


Figura 18. Sistema CWDM

Fuente. Sistemas de Comunicación, Universidad Nacional del Callao.

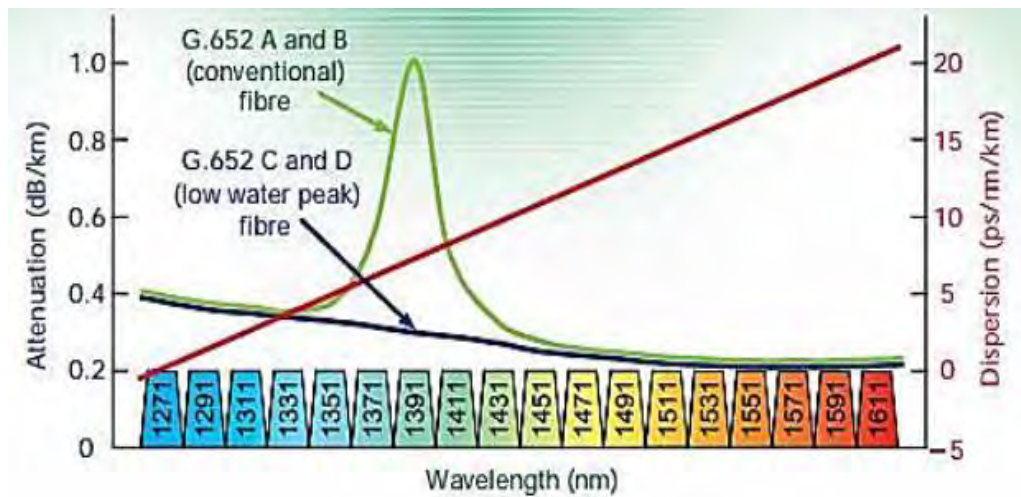


Figura 19. Rejilla espectral CWDM

Fuente. Sistemas de Comunicación, Universidad Nacional del Callao.

### 2.2.8.1.2. DWDM (Multiplexación por divisor de longitud de onda densa)

Los sistemas DWDM tienen la posibilidad de acoplar las salidas de diferentes fuentes emisoras de luz, cada una a una longitud de onda diferente, sobre una misma fibra óptica, por lo que luego de la transmisión las longitudes de onda pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final [17].

La separación de las longitudes de onda para DWDM es de 0.8 nm (10 GHz) y la capacidad para cada canal es de 10 Gbps, su alcance de implementación puede llegar a cientos de kilómetros [15].

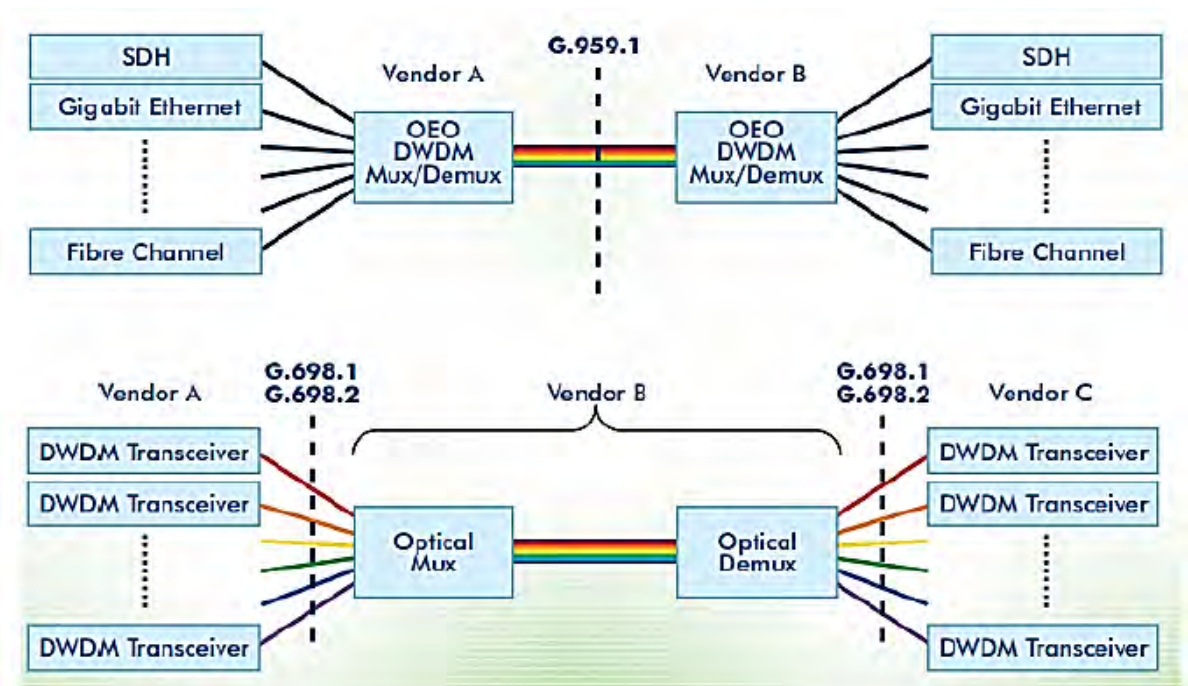


Figura 20. Sistema DWDM

Fuente. Sistemas de Comunicación, Universidad Nacional del Callao.

### 2.2.9. Radio Sobre Fibra (RoF)

El sistema radio sobre fibra es una técnica de distribución de señales en radiofrecuencia a través de un enlace de fibra óptica para transmitir las a un área de cobertura deseada. Este sistema propone solucionar problemas de cobertura de los servicios de radiodifusión y comunicaciones inalámbricas a largas distancias, trasladando la señal emitida por la fibra óptica desde una unidad central (CU) hasta un receptor denominado punto de acceso de radio (RAP), que retransmitirá la señal RF hacia una zona determinada [15].

Las ventajas del sistema radio sobre fibra son:

- Ancho de banda de la fibra grande: la fibra óptica ofrece un rango de longitud de onda suficiente para poder transmitir más de una señal RF [15].
- Atenuación baja de la fibra: cuando la señal RF es transmitida mediante señal abierta, la atenuación es considerable a partir de una distancia más lejana entre el transmisor y receptor; por lo tanto, la fibra óptica tiene una atenuación entre 0.2 dB/km – 0.5 dB/Km, lo que permite una mejor distribución de la señal RF para evitar mayor pérdida de trayecto [15].
- Eficiencia energética: La transmisión por señal abierta emite una potencia de salida considerable para cubrir toda una población, pero debido a las interferencias, existen sectores que tienen una baja cobertura. El sistema radio sobre fibra permite emitir la señal RF a una potencia inferior con el objetivo de cubrir todas las zonas con baja cobertura [15].
- Cobertura mejorada: a mayor implementación de puntos de acceso de radio, se minimiza las áreas con baja intensidad de señal, incrementando la calidad de transmisión de los servicios de radiodifusión y comunicaciones inalámbricas [15].

Los elementos del sistema radio sobre fibra son:

### **2.2.9.1. Unidad Central (CU)**

La unidad central se encarga de transmitir la señal RF mediante la fibra óptica, implementando una conversión electro-óptica (E-O) de la señal RF, convirtiéndola en una señal óptica con su respectiva longitud de onda. La señal óptica es enviada mediante el transmisor óptico que tiene una fuente de luz emisora y un modulador óptico directo o externo, depende del diseño de la red; hacia el receptor óptico. Esta señal óptica puede ser enviada por distribuidores ópticos para llevar a más de un receptor óptico. En el caso de haber más de una señal RF, se realizan la conversión E-O para cada una y se utilizan los sistemas de ópticos de multiplexación para enviar las señales ópticas por una sola vía de fibra óptica [18].

### **2.2.9.2. Enlace Óptico**

El enlace óptico es la vía por donde se transmite la señal óptica desde la unidad central hasta el punto de acceso de radio. Depende del diseño de la red la señal puede ser enviada por fibra óptica monomodo o multimodo, de acuerdo a la distancia, existirán pérdidas de trayecto que es inferior a comparación de otros medios de transmisión. Por lo tanto, el enlace óptico permite el traslado de la señal RF con menor pérdida [18].

### **2.2.9.3. Punto de Acceso de Radio (RAP)**

El punto de acceso de radio se encarga de recibir la transmisión óptica mediante receptores ópticos que tienen un fotodetector que permite la conversión óptica-eléctrica (O-E), recuperando la señal RF transmitida desde la unidad central. Esta señal RF recuperada es filtrada y amplificada para poder ser transmitida por un transmisor de baja potencia, debido a que el propósito del RAP emitir la señal RF a un área de cobertura determinada con mayor eficiencia energética [18].



Las Figuras 21 y 22 muestran el diagrama simplificado de un sistema radio sobre fibra:

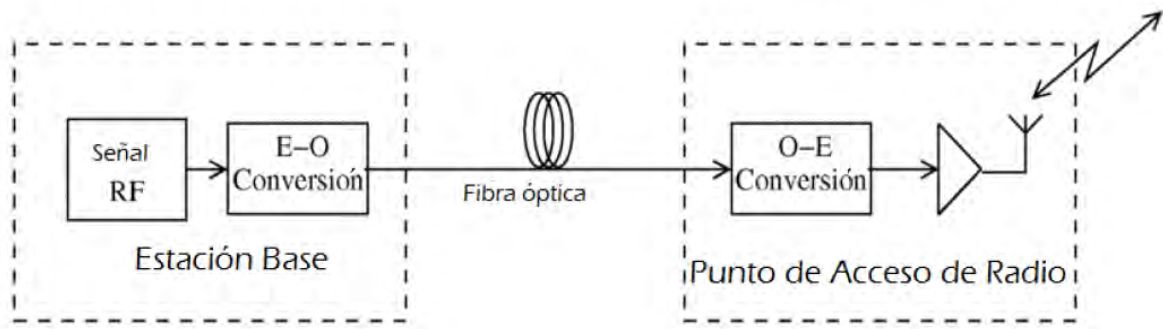


Figura 21. Diagrama de bloques simple de radio sobre fibra

Fuente. Radio sobre Fibra, Universidad Francisco José de Caldas.

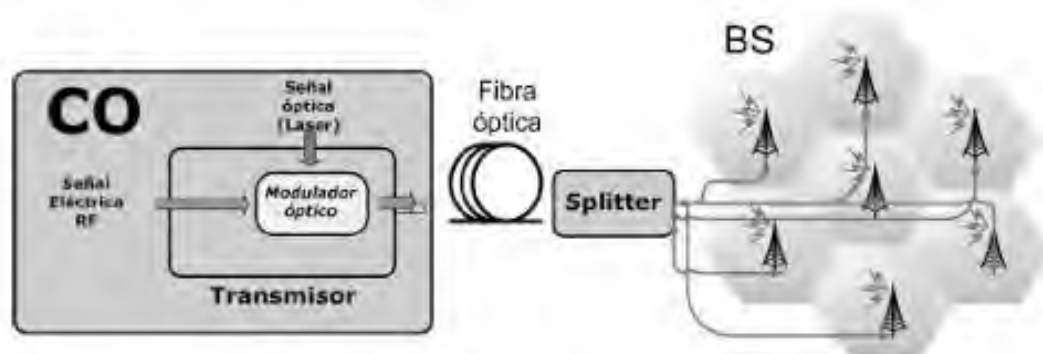


Figura 22. Sistema radio sobre fibra

Fuente. Radio sobre Fibra, Universidad Francisco José de Caldas.

#### 2.2.9.4. Aplicaciones de los Sistemas RoF

- **Comunicaciones Inalámbricas:** En los sistemas RoF señales inalámbricas son transportados en forma óptica entre una estación central y un conjunto de estaciones base antes de ser irradiada a través del aire. Cada unidad central está adaptada para comunicarse a través de un enlace de radio con la estación móvil del al menos un usuario situado dentro de la gama de radio de dicha estación base. La ventaja es que el equipo para Wi-Fi, 5G y otros protocolos puede ser centralizada en un lugar, con antenas remotas unidos a través de fibra óptica que sirve todos los protocolos. Reduce en gran medida el equipo y el costo de mantenimiento de la red [19].

- **Comunicaciones Satelitales:** En las comunicaciones por satélite, las señales principalmente de RF se emiten en el rango de frecuencia de banda L (950 MHz a 2150 MHz), entre una sala de control central y una antena de satélite a una estación terrena de satélite. Por lo general se considera los sistemas RoF para distancias de transmisión a partir de unos 50 metros, con el uso de DWDM, los sistemas de RoF transmiten de forma bidireccional múltiples señales de RF sobre una fibra óptica con las distancias de transmisión de hasta 100 km [20].
- **Televisión por Cable o Señal Abierta:** Un uso popular de RoF es para sistemas de radiodifusión de TV. Los proveedores de contenido pueden transportar la señal de TV a través de un cable de una sola fibra óptica, porque de esta manera se puede transportar la señal de cientos de km. Una señal de RF eléctrica por lo general se encuentra en el intervalo de 54 a 870 MHz y se convierte en luz modulada desde los 1310 nm hasta los 1550 nm. La luz viaja a través de fibra de modo único al receptor RF de fibra óptica, donde se convierte de nuevo a RF eléctrica [20]. La señal RF eléctrica es directamente conectado a un televisor o transmitida por un repetidor de Televisión (Gap Filler). Transmitir a 1550 nm es más usado porque tiene menos pérdidas en la fibra y mediante el uso de amplificador de fibra óptica es posible extender la distancia de transporte. En 1310 nm está perdiendo aproximadamente 0,35 dB / km de señal óptica, 1550 nm está perdiendo solamente 0,25 dB / km. del balance óptico entre el transmisor y el receptor varía, dependiendo de la sensibilidad de la potencia del transmisor y el receptor [20].

#### ***2.2.9.5. Emisión óptica en los sistemas RoF***

Los sistemas RoF que utilizan una modulación directa (DML), donde se emite una corriente eléctrica convirtiéndolo en potencia óptica y se realiza el proceso inverso en la recepción [15].

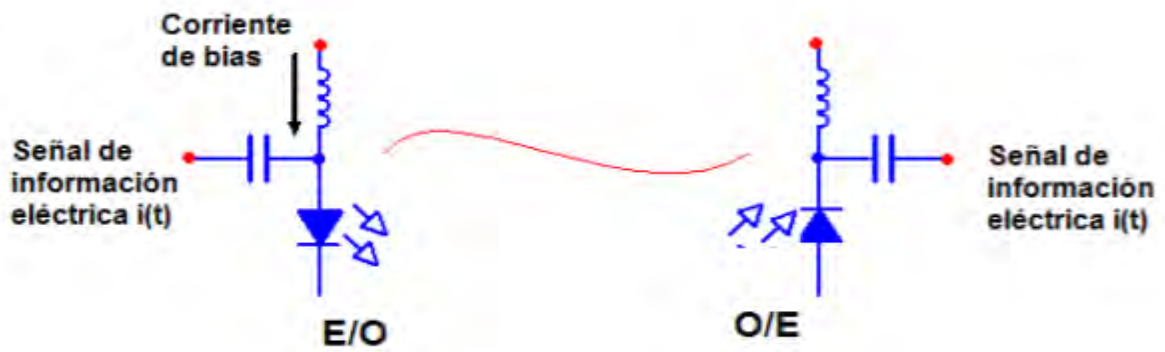


Figura 23. Esquema de un sistema DML para RoF

Fuente. Análisis de sistemas de RoF usando fibras ópticas de plástico, Jennifer Diaz.

La salida de la potencia óptica del emisor está compuesta por bandas laterales, réplicas de la señal modulada, definida en la expresión de potencia óptica de salida del láser [15]:

$$P_{out} = P_{bias} + P_{RF} \cdot \cos(wt) \quad (3)$$

Donde:

$P_{out}$  = Potencia óptica de salida.

$P_{bias}$  = Potencia a la que trabaja el láser.

$P_{RF}$  = Potencia en radiofrecuencia.

La Potencia a la que trabaja el láser ( $P_{bias}$ ) y potencia en radiofrecuencia ( $P_{RF}$ ) están definidos por:

$$P_{bias} = S_l \cdot (I_{bias} - I_{Thr}) \quad (4)$$

$$P_{RF} = G \cdot V_{RF} \quad (5)$$

Donde:

$S_l$  = Pendiente de la función de transferencia del láser [W/A].

$I_{bias}$  = Corriente a la que trabaja el láser.

$I_{Thr}$  = Corriente umbral.

$G$  = Transconductancia del Láser [A/V].

$V_{RF}$  = Amplitud máxima de la señal moduladora de RF [V].

Reemplazando los valores en la fórmula de potencia óptica de salida se tiene:

$$P_{out} = S_l(I_{bias} - I_{Thr}) + G \cdot V_{RF} \cdot \cos(\omega t)$$

Teniendo en cuenta que:

$$V_{RF} \cdot \cos(\omega t) = v(t)$$

$$m = \frac{G}{I_{bias} - I_{Thr}}$$

Se tiene:

$$P_{out} = P_{bias} \cdot (1 + m \cdot v(t)) \quad (6)$$

Donde ‘m’ es el índice de modulación de la señal moduladora del láser, por lo tanto, en un caso ideal el campo eléctrico a la salida del láser es la raíz cuadrada de la potencia óptica a la salida del láser [15].

$$E_{out} = \sqrt{P_{bias}} \cdot \sqrt{1 + m \cdot v(t)}$$

Finalmente, para determinar el espectro de la señal, se desarrolla la serie de Taylor que permite determinar cuantitativamente el número de bandas laterales. Para una señal en RF, cada término en Taylor dará lugar a armónicos de la frecuencia ‘w’, con amplitudes que decrecen mientras mayor sea el orden del armónico debido a que  $m < 1$ . Dando lugar a bandas laterales separadas por una distancia ‘n.w’ donde ‘n’ es el orden del armónico [15].

$$E_{out}(t) = 1 + \frac{m}{2} x(t) - \frac{m^2}{8} x^2(t) + \frac{m^3}{16} x^3(t) + \dots \quad (7)$$

La Figura 24, muestra la representación del espectro de una señal óptica con una modulación directa.



**Figura 24. Espectro de la señal óptica**

*Fuente.* Análisis de sistemas de RoF usando fibras ópticas de plástico, Jennifer Diaz.

## **CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE COBERTURA ISDB-T**

### **3.1. Introducción**

De acuerdo al plan de canalización por la MTC, en la provincia del Cusco se transmiten nueve señales ISDB-T implementadas en el cerro Picchu actualmente [4], por lo tanto, en este capítulo se desarrolló el estudio de cobertura de dichas señales para determinar el porcentaje de población que no tienen cobertura o baja recepción de señal, y ubicar en que zonas se encuentran dicho porcentaje para evaluar la influencia de los factores de propagación. El estudio de campo consistió en determinar el número de muestras de la población, se distribuyó las muestras para cada distrito, se visitó cada zona con su muestra respectiva y se midió la intensidad de señal recibida de las nueve señales ISDB-T utilizando la instrumentación electrónica adecuada, se recolectaron los datos y se evaluó el nivel de recepción de cada muestra con su respectiva ubicación. Finalmente, gracias a este estudio se encontraron las zonas sin cobertura en toda la provincia del Cusco.

### **3.2. Universo, Población y Muestra**

#### **3.2.1. Universo**

Para este estudio se consideró como universo al total de hogares en la provincia del Cusco determinadas por el último censo realizado por la INEI en el año 2017 [21].

##### ***3.2.1.1. Determinación del Universo***

Según el censo realizado en el año 2017, informa que el total de hogares en la provincia del Cusco que es de 126363 [21].

En la Tabla 5, se distribuye por distritos el total de hogares en la provincia del Cusco por zona urbana y rural:

Tabla 5. Total de hogares por zona

<b>Distrito</b>	<b>Total de Hogares</b>	<b>Zona Urbana</b>		<b>Zona Rural</b>	
Cusco	30821	30053	97.51%	768	2.49%
Ccorca	739	0	0%	739	100%
Poroy	676	0	0%	676	100%
San Jerónimo	15138	14685	97.01%	453	2.99%
San Sebastián	32798	32373	98.70%	425	1.30%
Santiago	27012	26462	97.96%	550	2.04%
Saylla	1479	935	63.22%	544	36.78%
Wanchaq	17700	17700	100%	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>126363</b>	<b>122208</b>	<b>96.71%</b>	<b>4155</b>	<b>3.29%</b>

Fuente. Censo 2017, INEI.

### 3.2.2. Población

Para este estudio se consideró como población al total de hogares que acceden a la televisión por señal abierta de la provincia del Cusco determinadas por el último censo realizado por la INEI en el año 2017 [21]. La conexión por señal abierta puede ser analógico y digital (ISDB-T), por lo tanto, se desconoce el total de hogares que acceden a la televisión digital abierta, pero en cuanto se proceda con el apagón analógico en la provincia del cusco, todos los hogares deberán acceder de manera digital, por eso en este estudio se consideró a todos los hogares con acceso analógico y digital.

#### 3.2.2.1. Determinación de la Población

En la Tabla 6, se distribuye por distritos el total de hogares dentro de la provincia del Cusco, divididas en la cantidad de viviendas con televisor y sin televisor:

Tabla 6. Total de hogares con o sin televisor

<b>Distrito</b>	<b>Hogares</b>	<b>Con Televisor</b>		<b>Sin Televisor</b>	
Cusco	30821	27361	88.77%	3460	11.23%
Ccorca	739	178	24.09%	561	75.91%
Poroy	676	444	65.68%	232	34.32%
San Jerónimo	15138	13139	86.79%	1999	13.21%
San Sebastián	32798	28642	87.33%	4156	12.67%
Santiago	27012	23991	88.82%	3021	11.18%
Saylla	1479	1051	71.06%	428	28.95%
Wanchaq	17700	16812	94.98%	888	5.02%
<b>TOTAL</b>	<b>126363</b>	<b>111618</b>	<b>88.33%</b>	<b>14745</b>	<b>11.67%</b>

Fuente. Censo 2017 – INEI.

En la Tabla 7, se distribuye por distritos, el tipo de conexión a la televisión del total de viviendas que poseen televisor en la provincia del Cusco:

Tabla 7. Total de hogares por tipo de conexión a la televisión

<b>Distrito</b>	<b>Con Televisor</b>	<b>Conexión TV Cable/Satelital</b>		<b>Conexión TV señal abierta</b>	
Cusco	27361	10802	39.48%	16559	60.52%
Ccorca	178	8	4.49%	170	95.51%
Poroy	444	95	21.40%	349	78.60%
San Jerónimo	13139	4249	32.34%	8890	67.66%
San Sebastián	28642	9479	33.09%	19163	66.91%
Santiago	23991	7671	31.97%	16320	68.03%
Saylla	1051	229	21.79%	822	78.21%
Wanchaq	16812	10355	61.59%	6457	38.41%
<b>TOTAL</b>	<b>111618</b>	<b>42888</b>	<b>38.42%</b>	<b>68730</b>	<b>61.58%</b>

Fuente. Censo 2017 – INEI.

En la Tabla 7, se observa que el total de viviendas que acceden a la televisión digital abierta es de 68730, el cual representa a la población que se utilizó para este estudio.

En la Tabla 8, se distribuye por distritos, el total de viviendas que acceden a la televisión digital abierta por zona urbana y rural:

Tabla 8. Total de hogares por tipo de zona con conexión a la televisión por señal abierta

Distrito	TV Señal Abierta	Zona Urbana		Zona Rural	
		Hogares	%	Hogares	%
Cusco	16559	16148	97.52%	411	2.48%
Ccorca	170	0	0.00%	170	100.00%
Poroy	349	0	0.00%	349	100.00%
San Jerónimo	8890	8639	97.18%	251	2.82%
San Sebastián	19163	18930	98.78%	233	1.22%
Santiago	16320	16110	98.71%	210	1.29%
Saylla	822	519	63.14%	303	36.86%
Wanchaq	6457	6457	100.00%	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>68730</b>	<b>66803</b>	<b>97.20%</b>	<b>1927</b>	<b>2.80%</b>

Fuente. Censo 2017 – INEI.

### 3.2.3. Muestra

Para este estudio se consideró como muestra a las coordenadas geográficas de un punto en la superficie terrestre de la provincia del Cusco que representa al conjunto de hogares ubicados en una determinada zona.

#### 3.2.3.1. Determinación del Número de muestras

Se utilizó la ecuación del tamaño de muestra con población finita cualitativa deducida de la siguiente manera:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q} \quad (8)$$

Donde:

n = Número de muestras.

N = Población.

Z $\alpha$  = Parámetro que depende del nivel de confianza.

e = Margen de error.

p = Probabilidad de éxito.

q = Probabilidad de fracaso.



Para el estudio de cobertura, se determinó en la sección 3.2.2.1, la población que es de 68730 viviendas que acceden a la televisión digital abierta. Se consideró un nivel de confianza del 90% cuyo coeficiente es de 1.65 y un margen de error del 5%. Como no se realizó antes un estudio de cobertura ISDB-T, las probabilidades de éxito y fracaso son del 50%.

Reemplazando los valores en la fórmula:

$$n = \frac{68730 * 1.65^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (68730 - 1) + 1.65^2 * 0.5 * 0.5} = 273 \approx 300$$

Sobre este valor hallado, se aumentó hasta 300 muestras para poder considerar a todas las comunidades campesinas dentro de la provincia del Cusco, Por lo tanto, en la Tabla 9, se distribuye por distritos el número de muestras por zonas:

Tabla 9. Número de muestras por zona

DISTRITOS	Muestras	Zona Urbana	Zona Rural
Cusco	70	62	8
Ccorca	7	0	7
Poroy	6	0	6
San Jerónimo	35	26	9
San Sebastián	80	64	16
Santiago	65	58	7
Saylla	7	4	3
Wanchaq	30	30	0
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>	<b>244</b>	<b>56</b>

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.2.3.2. Ubicación y Distribución de la Muestras

Se utilizó la herramienta Google Earth para determinar la ubicación geográfica para cada muestra. Por lo tanto, en la Tabla 10, se distribuye por distritos las muestras con sus respectivas coordenadas geográficas y referencias para cada zona:

Tabla 10. Coordenadas geográficas y referencias de cada muestra

MUESTRA	COORDENADAS		REFERENCIA
	LATITUD	LONGITUD	
<b>Distrito de Cusco -Zona Urbana:</b>			
CU001	13°31'31.40"S	71°56'40.30"O	Av. Brasil – Av. Panamá
CU002	13°31'26.70"S	71°57'5.10"O	Jirón Sacsayhuaman – Calle Pucapucara
CU003	13°31'17.70"S	71°57'22.50"O	Av. Víctor Raúl Haya de la Torre - UNSAAC
CU004	13°31'17.90"S	71°57'52.00"O	Av. Mariscal Gamarra – Av. La Cultura
CU005	13°31'3.80"S	71°58'8.40"O	Callejón Retiro - Recoleta
CU006	13°30'58.3"S	71°58'5.00"O	Mateo Pumacahua – Tupac Yupanqui
CU007	13°31'5.50"S	71°57'42.60"O	Av. Brasil – Av. Argentina
CU008	13°31'10.10"S	71°57'21.50"O	Av. Antisuyo – Los Andenes
CU009	13°31'16.40"S	71°56'56.00"O	Drigentes – Capilla San José Obrero
CU010	13°31'1.90"S	71°57'5.50"O	Calle los Cronistas – Av. Antisuyo
CU011	13°30'57.30"S	71°57'32.70"O	Av. Chinchaysuyo – Huaca de Pachacutecq
CU012	13°30'51.00"S	71°58'0.90"O	Av. Circunvalación – Balconcillo
CU013	13°30'48.60"S	71°58'9.20"O	Av. Teteccacca – Jardines del Inca
CU014	13°30'39.70"S	71°57'51.00"O	Balconcillo – Cervecería Artesanal de los Andes
CU015	13°30'39.40"S	71°57'30.40"O	A.h. Ayuda Mutua – Cervecería Edelman
CU016	13°30'49.80"S	71°57'14.80"O	Huayra Punco – El Calvario
CU017	13°31'27.52"S	71°58'32.72"O	Calle Centenario – Calle San Miguel
CU018	13°31'21.15"S	71°58'56.09"O	Monjaspata – Cascaparo
CU019	13°31'13.84"S	71°59'13.21"O	Calle Umachata – Parque Umachata
CU020	13°31'6.28"S	71°59'1.89"O	Nueva Baja – Calle Desamparados
CU021	13°31'14.51"S	71°58'39.71"O	Calle Carmen Quicillo – Calle San Andres
CU022	13°31'3.27"S	71°58'48.77"O	Heladeros – Plaza Regocijo
CU023	13°30'50.01"S	71°59'2.78"O	Calle Quillichapata – Meloc
CU024	13°30'44.77"S	71°58'44.76"O	Av. Don Bosco – Yacimiento Arqueológico Colcampata
CU025	13°30'59.32"S	71°58'31.97"O	Av. Ruinas – Av. Tullumayo
CU026	13°31'0.93"S	71°58'20.64"O	Recoleta – Pumapaccha
CU027	13°30'41.19"S	71°58'25.12"O	Av. Circunvalación – Restaurante Qosqolacta
CU028	13°30'31.48"S	71°58'7.71"O	Villa San Blas
CU029	13°30'45.25"S	71°59'16.13"O	Av. De la Raza – Calle Los Libertadores
CU030	13°30'37.06"S	71°59'30.29"O	Urb. Chinchero – Av. Humberto Vidal Hunda
CU031	13°30'27.58"S	71°59'37.20"O	A.h. Unión Callana – Mercado Tica Tica

CU032	13°30'23.96"S	71°59'51.33"O	Av. 8 de junio – Cooperativa Miraflores Tica Tica
CU033	13°30'11.78"S	72° 0'2.38"O	Poblado de Tica Tica 1 – Arco Tica Tica
CU034	13°30'12.95"S	72° 0'13.47"O	Poblado de Tica Tica 2 – Arco Tica Tica
CU035	13°30'4.03"S	72° 0'24.16"O	Poblado de Tica Tica 3 – Arco Tica Tica
CU036	13°30'15.66"S	72° 0'35.31"O	Poblado de Tica Tica 4 – Arco Tica Tica
CU037	13°30'11.37"S	72° 0'59.50"O	Poblado de Tica Tica 5 – Grifo Pecsá
CU038	13°30'27.15"S	72° 0'51.11"O	Poblado de Picchu 1 – Detrás del Cerro Picchu
CU039	13°30'42.64"S	72° 0'35.37"O	Poblado de Picchu 2 – Detrás del Cerro Picchu
CU040	13°30'35.44"S	72° 0'24.38"O	Poblado de Picchu 3 – Detrás del Cerro Picchu
CU041	13°30'30.72"S	72° 0'12.73"O	Calle El Pedregal – Calle Pachacutec – Picchu
CU042	13°30'50.20"S	72° 0'14.50"O	Poblado de Picchu 4 – Cerro Picchu
CU043	13°30'37.69"S	72° 0'5.31"O	Poblado de Picchu 5 – Cerro Picchu
CU044	13°30'43.33"S	71°59'51.43"O	Poblado de Picchu 6 – Cerro Picchu
CU045	13°30'2.27"S	72° 1'20.92"O	Poblado de Tica Tica 6 – Grifo Pecsá
CU046	13°30'59.84"S	71°59'55.54"O	Poblado de Picchu 7 – Cerro Picchu
CU047	13°31'2.79"S	71°59'44.47"O	Av. Antonio Lorena – Cerro Picchu
CU048	13°30'55.95"S	71°59'38.99"O	Poblado de Picchu 8 – Cerro Picchu
CU049	13°30'52.59"S	71°59'29.25"O	Av. Antonio Lorena – El Mirador
CU050	13°30'55.93"S	71°59'20.43"O	09 de noviembre – Av. Vista Alegre
CU051	13°31'6.41"S	71°59'24.42"O	Calle Simón Bolívar – Calle José A. de Sucre
CU052	13°31'16.44"S	71°59'23.17"O	Av. Túpac Amaru – Cahuide
CU053	13°31'27.64"S	71°59'29.80"O	Av. Independencia – Calle Bolívar – Av. Antonio Lorena
CU054	13°31'35.80"S	71°59'42.73"O	Asoc. Villa el Sol – Alto Cusco
CU055	13°31'46.83"S	71°59'53.48"O	Poblado de Alto Cusco 1 – Asoc. Alto Cusco
CU056	13°32'0.65"S	72° 0'6.21"O	Poblado de Alto Cusco 2 – Alto Cusco
CU057	13°31'41.91"S	72° 0'5.46"O	Poblado de Alto Cusco 3 – Alto Cusco
CU058	13°31'35.28"S	71°59'52.93"O	Poblado de Alto Cusco 4 – Alto Cusco
CU059	13°30'41.63"S	71°59'4.02"O	Calle Saphy – Don Bosco
CU060	13°31'21.22"S	71°59'43.99"O	Av. Antonio Lorena – Los Pinos
CU061	13°31'11.16"S	71°59'39.18"O	Av. Antonio Lorena – Hotel Red Hill House
CU062	13°31'14.54"S	71°59'31.36"O	Los Jazmines – Los Pinos
<b>Distrito de Cusco -Zona Rural:</b>			
CU063	13°29'49.41"S	71°59'8.75"O	Comunidad Campesina Fortaleza
CU064	13°28'32.58"S	71°59'36.10"O	Comunidad Campesina Salkantay
CU065	13°30'7.22"S	71°58'59.00"O	Centro Poblado Fortaleza Sacsayhuaman

CU066	13°30'24.49"S	71°58'35.59"O	Centro Poblado Mollococha
CU067	13°29'20.90"S	71°57'51.35"O	Comunidad Campesina Huayllarcocha
CU068	13°29'22.70"S	71°56'44.36"O	Comunidad Campesina Yuncaypata
CU069	13°27'49.45"S	71°56'9.58"O	Comunidad Campesina Seqqueraccay
CU070	13°28'6.45"S	71°56'24.64"O	Comunidad Campesina Qorimarca
<b>Distrito de Ccorca -Zona Rural:</b>			
CC001	13°35'4.90"S	72° 3'34.14"O	Pueblo de Ccorca
CC002	13°34'58.74"S	72° 4'17.52"O	Comunidad Campesina Ccorca Ayllu
CC003	13°34'4.91"S	72° 4'5.14"O	Comunidad Campesina Huayllay
CC004	13°32'42.07"S	72° 4'41.93"O	Comunidad Campesina Cusibamba
CC005	13°36'13.54"S	72° 4'2.67"O	Comunidad Campesina Corimarca
CC006	13°36'22.34"S	72° 2'40.99"O	Comunidad Campesina San Isidro de Cearhuis
CC007	13°34'43.05"S	72° 1'16.63"O	Comunidad Campesina Tamborpuquio
<b>Distrito de Poroy -Zona Rural:</b>			
PR001	13°29'44.99"S	72° 2'27.69"O	Pueblo de Poroy – Municipalidad Distrital de Poroy
PR002	13°29'24.45"S	72° 2'31.97"O	Comunidad Campesina Huampar
PR003	13°29'34.34"S	72° 2'53.19"O	Pueblo de Poroy – Quinta Campestre Rumalis
PR004	13°28'45.41"S	72° 1'31.32"O	Comunidad Campesina Cruz Verde
PR005	13°29'42.20"S	72° 2'41.64"O	Pueblo de Poroy – Estadio Distrital de Poroy
PR006	13°29'0.17"S	72° 1'20.28"O	Comunidad Campesina Sencca
<b>Distrito de San Jerónimo -Zona Urbana:</b>			
SJ001	13°31'35.69"S	71°53'45.88"O	Calle 6 – Larapa
SJ002	13°31'53.57"S	71°54'2.97"O	Av. 8 San Agustín – Larapa
SJ003	13°32'10.94"S	71°54'15.98"O	Av. 2 – Universidad Andina del Cusco
SJ004	13°32'21.23"S	71°54'2.25"O	Santa Mónica – Av. la Cultura
SJ005	13°32'33.03"S	71°53'45.09"O	Ricardo Palma – Cesar Vallejo
SJ006	13°32'33.68"S	71°53'22.94"O	Prolongación Ramon Castilla – Abancay
SJ007	13°32'49.19"S	71°53'12.51"O	Av. La Cultura – Agustín Gamarra
SJ008	13°32'36.10"S	71°53'2.51"O	24 de junio – Suarez
SJ009	13°32'54.86"S	71°52'52.80"O	Av. La Cultura – Romeritos
SJ010	13°32'50.93"S	71°52'29.91"O	Calle Coronel la Torre – Comisaria de Carreteras
SJ011	13°33'8.32"S	71°52'1.67"O	Ccollana – Av. La Cultura
SJ012	13°33'5.20"S	71°51'19.64"O	Poblado de Ccollana 1 – C.P Ccollana
SJ013	13°32'57.55"S	71°51'44.68"O	Poblado de Ccollana 2 – C.P Ccollana
SJ014	13°32'40.75"S	71°52'0.59"O	Poblado de Ccollana 3 – C.P Ccollana

SJ015	13°32'22.57"S	71°52'47.02"O	Av. Almudena – Huayllapampa
SJ016	13°32'10.10"S	71°53'7.31"O	Av. Almudena – Carretera para Huaccoto
SJ017	13°32'59.07"S	71°54'21.95"O	Av. Huanacaure – Parque Vallecito
SJ018	13°32'49.07"S	71°54'28.82"O	Calle Girasoles – Subestación Electrica Rep Perú
SJ019	13°32'42.09"S	71°54'15.98"O	Susucalle – Vía de Evitamiento
SJ020	13°32'48.34"S	71°53'59.02"O	Av. Primavera – Susucalle
SJ021	13°32'54.26"S	71°53'47.71"O	Av. 4 de octubre – Susucalle
SJ022	13°33'12.71"S	71°53'49.24"O	Ladrillos el Mirador – Susucalle
SJ023	13°33'1.40"S	71°53'30.08"O	Petroperu – Vía de Evitamiento
SJ024	13°33'8.38"S	71°53'13.63"O	Av. Pachaqtec – Vía de Evitamiento
SJ025	13°33'13.85"S	71°52'56.97"O	Auxiliar Vía de Evitamiento - Chimpahuaylla
SJ026	13°33'13.51"S	71°52'38.27"O	Puente Chimpahuaylla – Vía de Evitamiento
<b>Distrito de San Jerónimo -Zona Rural:</b>			
SJ027	13°32'14.63"S	71°52'13.40"O	Cancha deportiva Huayllapampa
SJ028	13°32'19.47"S	71°52'32.91"O	Poblado de Huayllapampa
SJ029	13°30'43.44"S	71°50'59.35"O	Centro Poblado Huaccoto
SJ030	13°33'32.14"S	71°54'51.32"O	Comunidad Campesina Pillao Matao
SJ031	13°33'39.09"S	71°52'46.21"O	Comunidad Campesina Kayrapampa 1
SJ032	13°34'9.86"S	71°52'49.55"O	Comunidad Campesina Kayrapampa 2
SJ033	13°35'14.41"S	71°53'9.91"O	Comunidad Campesina Suncco
SJ034	13°36'7.75"S	71°51'35.37"O	Comunidad Campesina Conchacalla
SJ035	13°36'39.41"S	71°51'0.14"O	Comunidad Campesina Ccachupata
<b>Distrito de San Sebastián - Zona Urbana:</b>			
SS001	13°31'23.87"S	71°56'35.91"O	Av. Manantiales – Calle Hatum Plaza
SS002	13°31'29.19"S	71°56'24.42"O	Calle Iquique -Villa Los Rosales
SS003	13°31'40.72"S	71°56'24.30"O	Av. La Cultura – Jirón Tarapaca
SS004	13°31'53.70"S	71°56'13.90"O	Calle Mariscal Castilla – Garcilaso
SS005	13°31'33.93"S	71°56'12.08"O	Calle Bolivar – Calle José Olaya
SS006	13°31'21.18"S	71°56'9.73"O	Apv. Sansebastián – Asoc Alto San Sebastián
SS007	13°31'27.65"S	71°56'1.06"O	Intiraymi – Asoc Pachacutec
SS008	13°31'40.74"S	71°56'4.95"O	Calle Flor de la Cantuta – Calle Unión
SS009	13°31'54.87"S	71°56'3.14"O	Av. Garcilaso – Calle Trujillo
SS010	13°31'52.96"S	71°55'52.06"O	Calle Arco Iris – Av. Cusco
SS011	13°31'40.70"S	71°55'49.38"O	Camino Real – Av. La Cultura
SS012	13°31'28.69"S	71°55'47.38"O	Poblado de Checarayocpampa 1

SS013	13°31'48.47"S	71°55'39.60"O	Asoc. Sumac Soncco – Av. La Cultura
SS014	13°31'45.18"S	71°55'29.26"O	Calle los Andenes – Asoc. Sumac Soncco
SS015	13°31'52.23"S	71°55'19.47"O	José Carlos Mariátegui – Triunfo
SS016	13°31'42.46"S	71°55'2.91"O	Néstor Valenzuela – Los Salvadores
SS017	13°31'37.65"S	71°55'17.33"O	Poblado en Ununchis
SS018	13°31'31.77"S	71°55'29.86"O	Poblado de Checarayocpampa 2
SS019	13°31'15.86"S	71°55'39.52"O	Poblado de Checarayocpampa 3
SS020	13°31'10.40"S	71°55'52.98"O	Poblado de Alto San Sebastián 1
SS021	13°30'57.65"S	71°55'53.12"O	Poblado de Alto San Sebastián 2
SS022	13°30'56.20"S	71°55'32.36"O	Los Próceres – Alto San Sebastián
SS023	13°31'19.43"S	71°55'21.65"O	Poblado de Checarayocpampa 4
SS024	13°31'6.78"S	71°55'10.02"O	Poblado de Alto Qosqo 1
SS025	13°31'29.04"S	71°55'6.37"O	Poblado de Alto Qosqo 2
SS026	13°31'15.55"S	71°54'55.29"O	Poblado de Alto Qosqo 3
SS027	13°31'31.60"S	71°54'48.11"O	Poblado de Alto Qosqo 4
SS028	13°32'0.19"S	71°55'5.55"O	Av. Alemania Federal – Francia
SS029	13°31'51.84"S	71°54'45.46"O	Urb. Coviduc – Sol de Oro
SS030	13°32'26.01"S	71°56'9.23"O	Jr. Chimu – Suryhyalla
SS031	13°32'28.80"S	71°55'46.94"O	Calle México – Suryhualla
SS032	13°32'25.57"S	71°55'27.15"O	Calle La Amistad – Urb. Las Joyas
SS033	13°32'18.07"S	71°54'51.98"O	Campo Zonal III – Urb. Tupac Amaru
SS034	13°32'23.35"S	71°54'39.82"O	Calle Tupac Katari – Urb. Tupac Amaru
SS035	13°32'6.90"S	71°54'44.77"O	Calle Tomas Katari – Vía Expresa
SS036	13°32'11.52"S	71°54'27.34"O	Mariano Tupac Amaru – Av. La Cultura
SS037	13°31'30.10"S	71°54'2.04"O	Calle de Orquideas - Urb. Santa María
SS038	13°31'54.62"S	71°54'23.83"O	Calle Kiswar – Urb. La Planicie
SS039	13°31'31.65"S	71°54'24.31"O	Colegio Monteverde – Urb. Santa María
SS040	13°31'59.30"S	71°54'35.59"O	Calle Esmeralda – Av. Las Flores – Enaco
SS041	13°31'5.57"S	71°54'28.50"O	Av. Las Flores – Ticapata
SS042	13°32'36.76"S	71°57'16.28"O	Calle Huáscar – Wimpillay
SS043	13°32'41.54"S	71°56'5.22"O	Poblado de Surihuaylla Alta 1
SS044	13°32'48.52"S	71°55'46.52"O	Poblado de Surihuaylla Alta 2
SS045	13°32'39.91"S	71°55'36.84"O	Poblado de Surihuaylla Alta 3
SS046	13°32'49.31"S	71°55'28.34"O	Poblado de Surihuaylla Alta 4
SS047	13°32'38.97"S	71°54'47.81"O	Calle Luis Nieto Miranda – Urb. Uvima 5

SS048	13°32'31.26"S	71°55'17.61"O	Auxiliar Vía de Evitamiento – Uvima 2
SS049	13°32'48.76"S	71°55'14.64"O	Av. Karamascara – Uvima 7
SS050	13°32'30.69"S	71°55'1.92"O	Auxiliar Vía de Evitamiento – Uvima 5
SS051	13°32'47.31"S	71°55'0.74"O	Poblado en Uvima Etapa 5 – 1
SS052	13°32'41.88"S	71°54'36.13"O	Calle Pedro Mendigure – Uvima 5
SS053	13°32'30.33"S	71°54'27.41"O	Auxiliar Vía de Evitamiento – Mariano Tupac Amaru
SS054	13°32'56.11"S	71°54'46.79"O	Poblado en Uvima Etapa 5 – 2
SS055	13°33'27.43"S	71°55'4.86"O	Poblado detrás de Uvima Etapa 5
SS056	13°33'9.51"S	71°57'13.52"O	Poblado en Wimpillay 1
SS057	13°32'48.47"S	71°57'14.27"O	Poblado en Wimpillay 2 – Muyu Urqu
SS058	13°32'24.81"S	71°57'10.10"O	Av. Luis V Santoni – Wimpillay
SS059	13°32'29.31"S	71°56'55.34"O	Calle Tankarpata – Niño Manuelito
SS060	13°32'46.26"S	71°56'52.71"O	Urb. Qosqo Runas
SS061	13°32'31.74"S	71°56'44.00"O	Urb. Los Laureles
SS062	13°32'35.04"S	71°56'24.64"O	Vía de Evitamiento – Parque Agua Buena
SS063	13°32'42.06"S	71°56'35.45"O	Urb. Qosqo Runas – Qotakalli 1
SS064	13°32'56.67"S	71°56'36.75"O	Urb. Qosqo Runas – Camino al Colegio la Salle
<b>Distrito de San Sebastián - Zona Rural:</b>			
SS065	13°30'14.09"S	71°55'21.79"O	Comunidad Campesina Pumamarca
SS066	13°28'57.18"S	71°55'17.00"O	Comunidad Campesina Ccorao – Entrada
SS067	13°28'39.30"S	71°55'27.56"O	Comunidad Campesina Ccorao – Salida
SS068	13°33'2.58"S	71°54'58.87"O	Poblado en el cerro de Uvima Etapa 5
SS069	13°33'20.77"S	71°55'18.77"O	Poblado en el cerro de Uvima Etapa 5
SS070	13°33'37.18"S	71°55'23.17"O	Poblado detrás del cerro de Uvima Etapa 5
SS071	13°33'18.45"S	71°56'34.17"O	Poblado en el nuevo Colegio La Salle 1
SS072	13°33'13.75"S	71°56'18.80"O	Poblado en el nuevo Colegio La Salle 2
SS073	13°33'43.83"S	71°56'44.11"O	Comunidad Campesina Huillkarpay 1
SS074	13°34'3.52"S	71°56'19.82"O	Comunidad Campesina Huillkarpay 2
SS075	13°34'6.03"S	71°56'2.15"O	Comunidad Campesina Quesallay
SS076	13°35'19.36"S	71°55'37.49"O	Comunidad Campesina Punacancha
SS077	13°35'12.70"S	71°54'40.09"O	Comunidad Campesina Kircas
SS078	13°34'33.52"S	71°54'36.76"O	Comunidad Campesina Kircas Chico
SS079	13°33'0.12"S	71°57'34.04"O	Asoc. Raurau – Muyu Urqu
<b>Distrito de Santiago - Zona Urbana:</b>			
ST001	13°31'44.75"S	71°58'20.28"O	Sucre – Av. Cnel. Paz Soldán – Huancaro

ST002	13°31'41.14"S	71°58'33.71"O	Parque el Bosque – Calle El Rosal
ST003	13°31'34.92"S	71°58'51.92"O	Plazoleta Belén – Av. Clorinda Matto de Turner
ST004	13°31'34.62"S	71°59'2.18"O	Av. Tambopata – Plazoleta de Santiago
ST005	13°31'32.38"S	71°59'17.33"O	Av. Antonio Lorena – Calle Francisco Pizarro
ST006	13°31'42.60"S	71°59'20.88"O	Av. Antonio Lorena – Calle Marcona
ST007	13°31'45.10"S	71°59'34.96"O	Calle 1 de diciembre – Calle La Pradera
ST008	13°31'56.01"S	71°59'40.57"O	Asoc. Virgen de Concepción – Jaquira
ST009	13°32'8.30"S	71°59'38.37"O	Asoc. San Pedro - Jaquira
ST010	13°32'14.85"S	71°59'29.44"O	Asoc. Los Jardines - Jaquira
ST011	13°31'54.32"S	71°59'22.23"O	Calle Juan V. Alvarado – Jaquira
ST012	13°31'57.33"S	71°59'9.99"O	Av. Pedro Ruiz Caro – Pje. José Balta
ST013	13°31'46.83"S	71°59'7.49"O	Av. Micaela Bastidas – Calle Emiliano Huamantica
ST014	13°31'47.86"S	71°58'54.75"O	Calle Ramón Castilla – Jirón 1 de mayo
ST015	13°31'46.98"S	71°58'46.05"O	Prolongación Grau – Av. Carlos Ugarte
ST016	13°31'50.61"S	71°58'13.26"O	Calle Simón Bolívar – Calle 2 de mayo
ST017	13°31'59.23"S	71°58'14.37"O	Calle Ramón Castilla – Av. Industrial
ST018	13°32'0.01"S	71°58'27.55"O	Calle Bellavista – Av. Industrial
ST019	13°32'0.52"S	71°58'38.57"O	Av. Agustín Gamarra – Hospital Antonio Lorena
ST020	13°32'1.08"S	71°58'53.43"O	Av. Perú – Av. Agustín Gamarra
ST021	13°32'9.58"S	71°59'1.66"O	Av. Libertadores – Pje. Santiago
ST022	13°32'9.90"S	71°59'13.47"O	Av. 31 de enero – Pje. Santiago
ST023	13°32'27.35"S	71°59'15.03"O	Av. 31 de enero – Parque la Estrella
ST024	13°32'3.66"S	71°59'6.16"O	Av. Agustín Gamarra – Colegio Cecilia Tupac Amaru
ST025	13°32'36.97"S	71°59'13.85"O	Colegio Luis Vallejo Santoni – Huancaro
ST026	13°32'42.68"S	71°59'9.99"O	Av. José Luis de Orbegozo – Cementerio Huancaro
ST027	13°32'33.85"S	71°59'2.97"O	Av. José Luis de Orbegozo – Calle Apurimac
ST028	13°32'21.85"S	71°59'3.76"O	Calle Domingo Guevara – Calle Quillabamba
ST029	13°32'16.15"S	71°58'53.23"O	Condominio Villa Huancaro – Prolongación Grau
ST030	13°32'9.43"S	71°58'49.29"O	Prolongación Grau - Av. José Luis de Orbegozo
ST031	13°32'17.70"S	71°58'48.15"O	Av. Barrio de Dios – Mercado Huancaro
ST032	13°32'29.16"S	71°58'52.80"O	Av. Barrio de Dios – Puente Iscayrumichayoc
ST033	13°32'39.00"S	71°58'42.77"O	Av. México – Asoc. Las Américas
ST034	13°32'39.70"S	71°58'53.01"O	Calle Walkantaki – Puente Capulichayoc
ST035	13°32'43.51"S	71°59'1.13"O	Calle Nihuapampa – Tinoc
ST036	13°32'53.72"S	71°59'9.72"O	C.P. Nihuapampa Ccachona – Tinoc



ST037	13°33'6.51"S	71°59'13.75"O	C.P. Nihuapampa Ccachona – Carretera a Paruro
ST038	13°31'52.26"S	71°58'30.18"O	Av. Carlos Ugarte – Av. Agustin Gamarra
ST039	13°33'14.09"S	71°59'26.13"O	Sector Huattampampa – Carretera a Paruro
ST040	13°31'56.48"S	71°59'0.76"O	Av. Agustin Gamarra – Centro de Salud Zarzuela alta
ST041	13°32'15.20"S	71°57'44.95"O	Av. La Unión – Av. Urubamba
ST042	13°32'9.29"S	71°58'33.36"O	Calle Arahua – Calle F
ST043	13°32'18.84"S	71°58'24.90"O	Calle Sacsayhuaman – Calle B
ST044	13°32'20.87"S	71°58'16.64"O	Primero de Enero – Calle E
ST045	13°32'10.18"S	71°58'20.16"O	Bajada de la Calle B – Primero de Enero
ST046	13°32'14.28"S	71°58'13.36"O	Primero de Enero – Capilla Virgen del Carmen
ST047	13°32'16.72"S	71°58'6.96"O	Poblado en la ruta a Pachacutec
ST048	13°32'4.91"S	71°58'7.53"O	Av. La Unión – Ruta a Pachacutec
ST049	13°32'10.90"S	71°57'57.94"O	Av. La Unión – Calle Acomayo
ST050	13°32'20.54"S	71°57'50.66"O	Av. Urubamba – Viva el Perú 1
ST051	13°32'30.45"S	71°57'54.57"O	Av. Urubamba – Viva el Perú 2
ST052	13°32'31.36"S	71°57'47.78"O	Calle 1ro de mayo – Viva el Perú 1
ST053	13°32'35.39"S	71°57'38.85"O	Calle 1ro de mayo – Viva el Perú 2
ST054	13°32'22.18"S	71°57'36.57"O	Colegio Viva el Perú – Calle Viva el Perú
ST055	13°32'21.23"S	71°57'21.26"O	Calle coronel Francisco Bolognesi – Luis V Santoni
ST056	13°32'26.62"S	71°57'28.19"O	Av. Sinchi Roca – Calle Mariano Melgar
ST057	13°32'39.57"S	71°57'30.39"O	Poblado cerca del pico Muyu Urqu
ST058	13°31'26.47"S	71°59'7.37"O	Calle Saucipata – Av. Malampata Ccochirihuaylla
<b>Distrito de Santiago - Zona Rural:</b>			
ST059	13°32'23.98"S	71°59'40.24"O	Poblado detrás de la Asoc. San Pedro 1
ST060	13°32'26.24"S	71°59'33.37"O	Poblado detrás de la Asoc. San Pedro 2
ST061	13°34'42.71"S	71°59'38.06"O	Comunidad Campesina Ancaschaca
ST062	13°35'38.13"S	71°58'29.59"O	Centro Poblado Occopata
ST063	13°32'54.36"S	71°58'47.95"O	Centro Poblado Chocco 1
ST064	13°33'34.45"S	71°58'40.54"O	Centro Poblado Chocco 2
ST065	13°35'12.36"S	71°56'57.40"O	Comunidad Campesina Ccoyllorpuquio
<b>Distrito de Saylla - Zona Urbana:</b>			
SA001	13°33'11.86"S	71°51'31.36"O	Poblado en Angostura – Estadio de Angostura
SA002	13°34'5.76"S	71°49'57.79"O	Poblado en la entrada de Saylla
SA003	13°34'10.06"S	71°49'34.99"O	Municipalidad Distrital de Saylla
SA004	13°34'23.39"S	71°49'26.86"O	Estadio de Saylla

<b>Distrito de Saylla - Zona Rural:</b>			
SA005	13°33'42.52"S	71°50'25.93"O	Comunidad Campesina de Ccatca
SA006	13°33'49.95"S	71°49'54.27"O	Comunidad Campesina de Condebamba
SA007	13°33'56.79"S	71°49'23.23"O	Comunidad Campesina de Condebambilla
<b>Distrito de Wanchaq - Zona Urbana:</b>			
WC001	13°31'15.46"S	71°58'19.36"O	Av. Huáscar – Colegio Galileo
WC002	13°31'26.22"S	71°58'8.34"O	Av. Manco Capac – Av. Tacna
WC003	13°31'29.46"S	71°57'53.58"O	Av. Huayrupopata – Estadio Garcilaso de la Vega
WC004	13°31'42.98"S	71°57'53.62"O	Jr. Cusco – Calle Piura
WC005	13°31'41.52"S	71°58'9.39"O	Av. Confraternidad – Calle Primavera
WC006	13°31'59.77"S	71°57'57.89"O	Av. Jorge Chávez – Calle San Martín
WC007	13°31'52.77"S	71°57'42.03"O	Av. Las Gardenias – Parque Las Palmeras
WC008	13°31'57.18"S	71°57'28.30"O	Av. 28 de Julio – Calle Juventud
WC009	13°32'4.68"S	71°57'43.26"O	Av. Costanera – Calle Indoamérica
WC010	13°32'8.39"S	71°57'25.61"O	Av. Costanera – Calle Vilcanota
WC011	13°32'14.50"S	71°57'7.05"O	Av. Velasco Astete – Calle Alfonso Ugarte
WC012	13°32'19.04"S	71°56'48.67"O	Av. Velasco Astete – Calle Rodríguez Ballón
WC013	13°32'23.64"S	71°56'35.04"O	Av. Velasco Astete – Aeropuerto Velasco Astete
WC014	13°32'19.11"S	71°56'20.37"O	Av. Queuña – Calle Amancaes
WC015	13°32'8.43"S	71°55'20.34"O	Vía Expresa – Calle Los Robles
WC016	13°32'6.41"S	71°55'34.63"O	Vía Expresa – Jirón Las Magnolias
WC017	13°32'5.45"S	71°55'52.41"O	Vía Expresa – Calle Pacífico
WC018	13°32'4.96"S	71°56'9.74"O	Vía Expresa – Calle República de Perú
WC019	13°31'59.85"S	71°56'25.50"O	Vía Expresa – Calle Republica de Paraguay
WC020	13°31'58.49"S	71°56'41.18"O	Av. Las Américas – Calle Republica de Ecuador
WC021	13°31'57.14"S	71°56'58.09"O	Vía Expresa – Calle Republica de Colombia
WC022	13°31'53.21"S	71°57'15.53"O	Av. Libertad – Av. Saylla
WC023	13°31'42.43"S	71°57'26.93"O	Jirón Libertad – Jirón el Honor
WC024	13°31'36.68"S	71°57'40.74"O	Jirón Libertad – Calle Atlántidas
WC025	13°31'26.36"S	71°57'40.54"O	Av. Micaela Bastidas – SENATI
WC026	13°31'32.64"S	71°57'28.01"O	Av. Micaela Bastidas – Coliseo Cerrado Casa de la Juventud
WC027	13°31'38.30"S	71°57'11.84"O	Av. Diagonal Angamos – IPD
WC028	13°31'40.88"S	71°56'57.97"O	Calle Cedros – Calle Roberto Acosta
WC029	13°31'44.45"S	71°56'43.85"O	Parque Cerveceros – Av. Cerveceros
WC030	13°31'43.79"S	71°56'32.59"O	Parque Urb. Santa Úrsula – Prolongación Tupac Amaru

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.3. Instrumentación Electrónica

#### 3.3.1. Analizador de Espectros

El analizador de espectros es un equipo de medición electrónica que permite ver y analizar mediante un interfaz el comportamiento de una señal eléctrica, acústica u óptica en el dominio de la frecuencia. Para este estudio se utilizó el analizador de espectros Tektronix RSA306B cuyas características son:

- Rango de frecuencia: 9KHz – 6.2GHz.
- Rango de medición: +20 dBm a -160 dBm.
- Interfaz mediante conexión USB 3.0 a la PC.
- Software de Interfaz y Configuración: Tektronix SignalVu-PC.
- Conexión para la Antena Tipo N – Hembra.



*Figura 25. Analizador de espectros Tektronik RSA306B*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

### 3.3.1.1. Configuración del Software

Para realizar las mediciones se utilizó el detector CISPR (Quasi-peak detector) que es usada normalmente para medir la intensidad de señal recibida, y se utilizó la función RMS para indicar el valor medio entre los valores positivos y negativos, también para reducir la presencia de interferencia en la señal recibida. Por lo tanto, el ruido oscila entre los -84 dBm a -78 dBm. El ancho de banda o span es de 60 MHz y por último se habilitó la barra del navegador de canales con sus frecuencias respectivas.

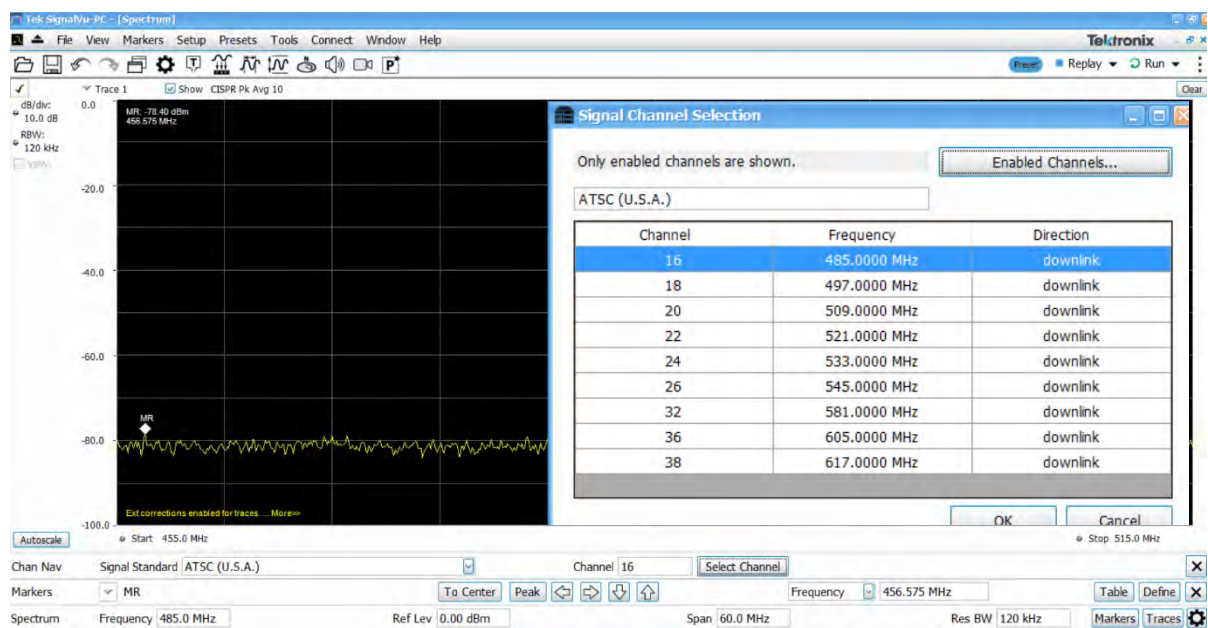


Figura 26. Interfaz configurado para el estudio de cobertura  
Fuente. Elaboración Propia.

### 3.3.2. Antena Receptora

La antena receptora es un dispositivo diseñado para recibir ondas electromagnéticas desde el espacio libre y transformarlas en energía eléctrica. Para este estudio se utilizó la antena digital Greentek UVR-AV304N, cuyas características son:

- Rango de frecuencia VHF: 47 MHz – 230 MHz
- Rango de frecuencia UHF: 470 MHz – 862 MHz
- Ganancia: 4 – 5 dBi
- Impedancia: 75Ω

- Conexión tipo Coaxial

Adicionalmente se requirió de un adaptador coaxial a tipo N macho para la conexión entre el analizador de espectros y la antena receptora.



*Figura 27. Antena TV digital Greentek UVR-AV304N*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

### **3.3.2.1. Niveles de Recepción**

Según el informe anual de evaluación del proceso de implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en el Perú por la MTC, la recepción de la señal debe ser entre -77dBm a -20 dBm (Intensidad de campo mínima de 51 dB $\mu$ V/m) [22]. Dentro de este rango, en la Tabla 11 se muestran los niveles de recepción:

*Tabla 11. Niveles de cobertura de la señal ISDB-T*

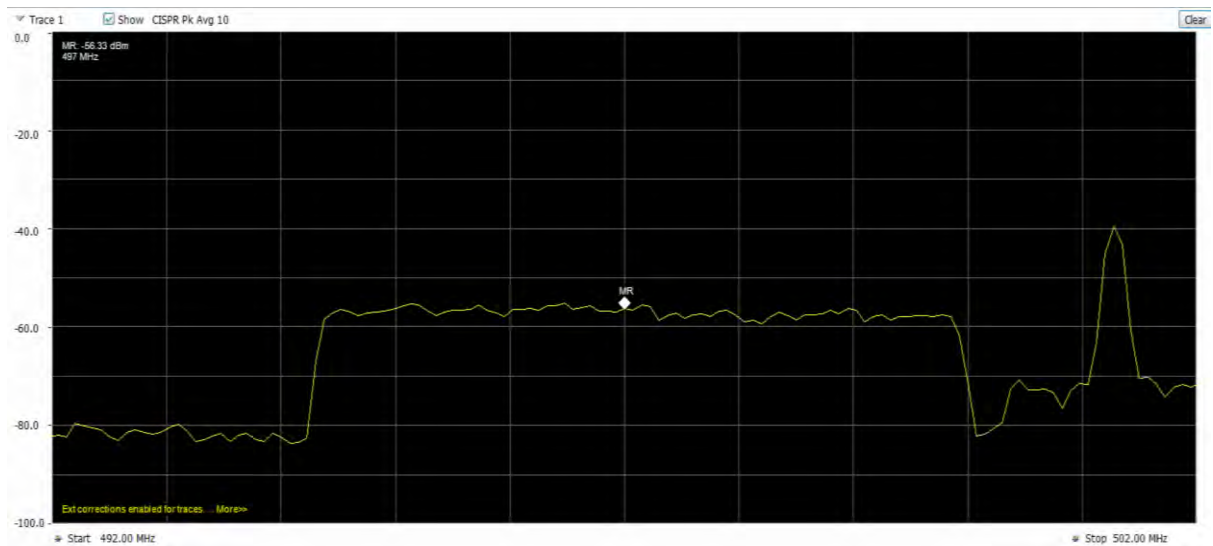
<b>Potencia Rx</b>		<b>Nivel de Cobertura</b>
<b>dBm</b>	<b>dB<math>\mu</math>V</b>	
<-20 dBm, -61 dBm>	<88 dB $\mu$ V, 47 dB $\mu$ V>	Óptima
<-62 dBm, -70 dBm>	<46 dB $\mu$ V, 38 dB $\mu$ V>	Regular
<-71 dBm, -77 dBm>	<37 dB $\mu$ V, 31 dB $\mu$ V>	Mínima
Menor o igual a -78 dBm	Menor o igual a 30 dB $\mu$ V	Baja

*Fuente. Informe TDT 2011 – MTC.*

Para este estudio, la cobertura mínima  $\langle -71 \text{ dBm}, -77 \text{ dBm} \rangle$  es vulnerable a las interferencias en la calidad de imagen, debido a que el ruido oscila en un promedio de  $-81 \text{ dBm}$  y la SNR dentro de este rango sería entre los  $4 \text{ dB}$  a  $10 \text{ dB}$ , lo cual indica vulnerabilidad a interferencias [23], además que en la provincia del Cusco suele haber clima lluvioso y la recepción se pierde en este tipo de climas.

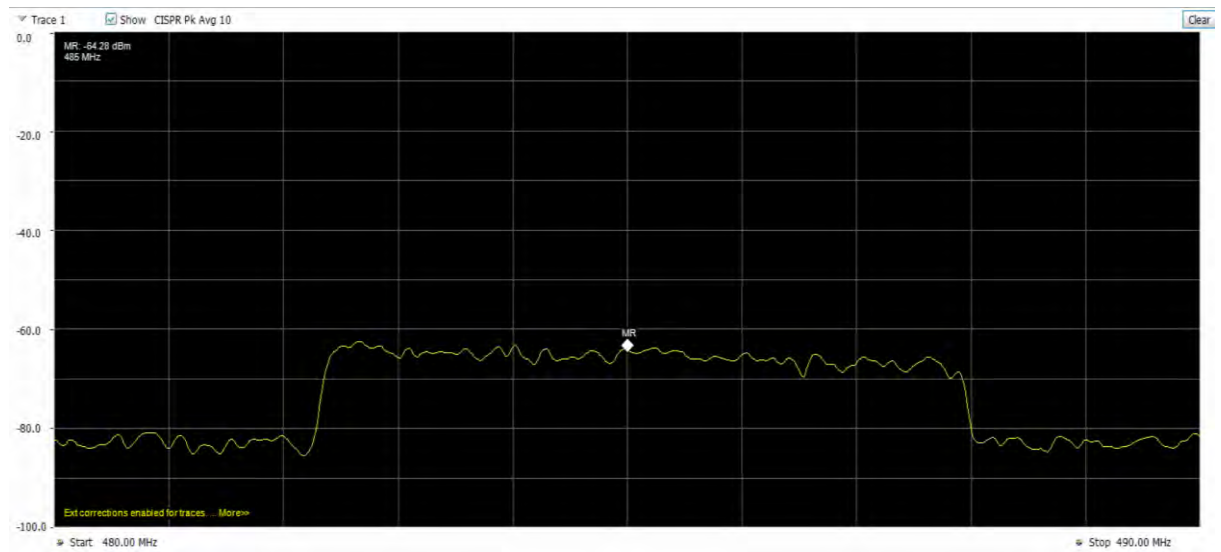
Por lo tanto, la señal tiene el siguiente comportamiento en el analizador de espectros para cada rango:

- Nivel de cobertura óptima:  $\langle -20 \text{ dBm}, -61 \text{ dBm} \rangle$



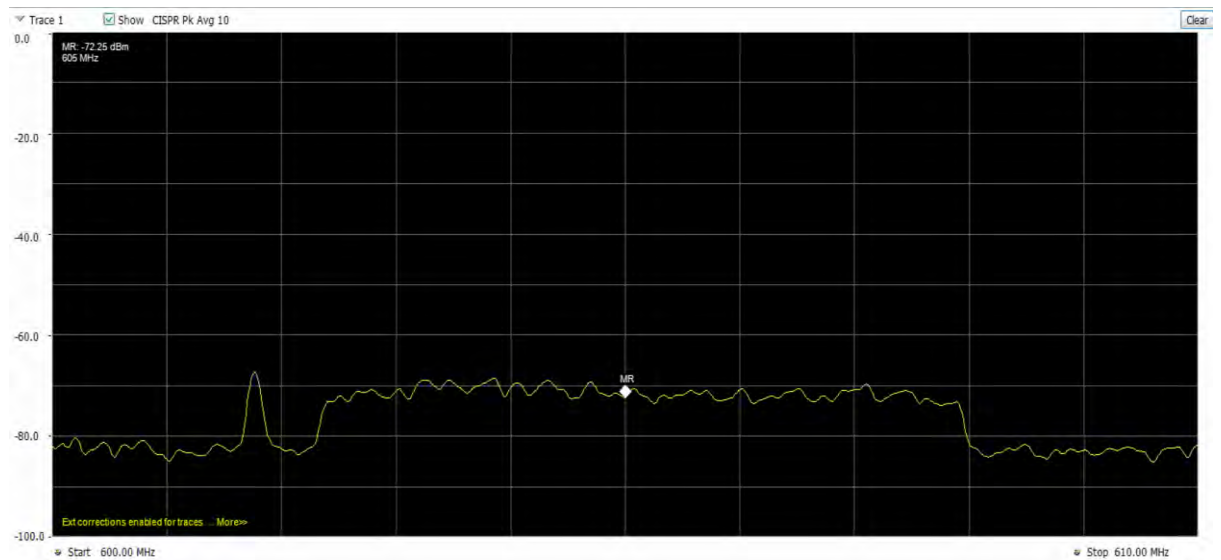
*Figura 28. Nivel de cobertura buena de  $-56.33 \text{ dBm}$  en  $497 \text{ MHz}$   
Fuente. Elaboración Propia.*

- Nivel de cobertura regular: <-62 dBm, -70 dBm>



*Figura 29. Nivel de cobertura Regular de -64.28 dBm en 485 MHz*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

- Nivel de cobertura mínima: <-71 dBm, -77 dBm>



*Figura 30. Nivel de cobertura Mínima de -72.25 dBm en 605 MHz*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

- Nivel de cobertura baja: Menor o igual a -78 dBm

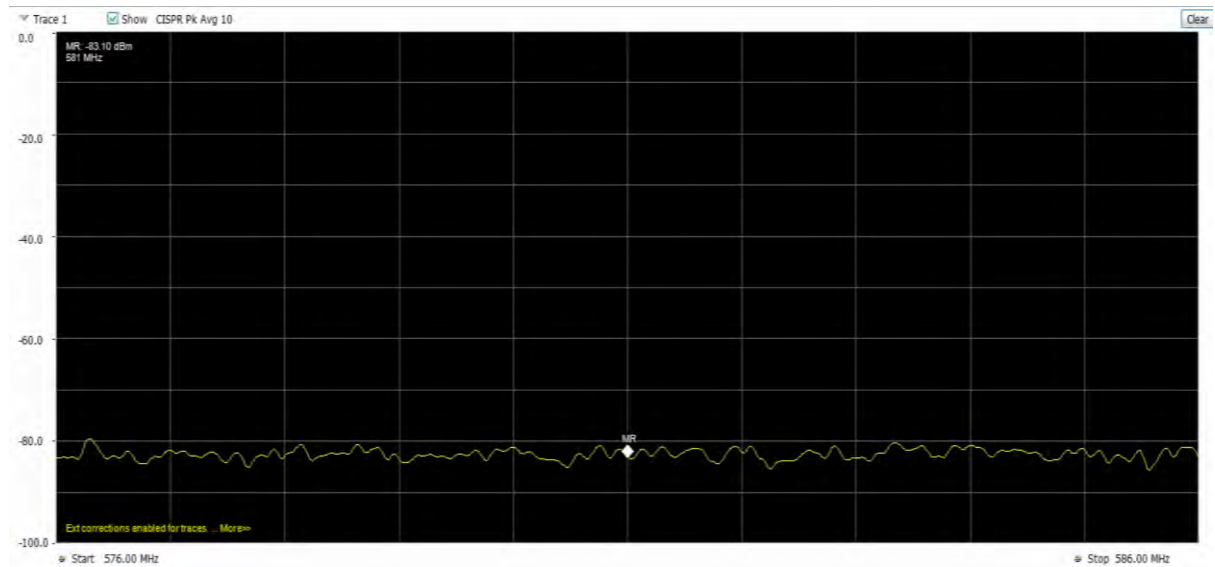


Figura 31. Nivel de cobertura Baja de -83.10 dBm en 581 MHz  
Fuente. Elaboración Propia.

### 3.3.2.2. Calidad de Imagen

De acuerdo a la Tabla 12, la calidad de imagen para cada rango es la siguiente:

- Nivel de cobertura óptima: <-20 dBm, -61 dBm>



Figura 32. Calidad de Imagen - Óptima  
Fuente. Estudio de Cobertura ISDB-T en la ciudad de Trujillo, UPAO.



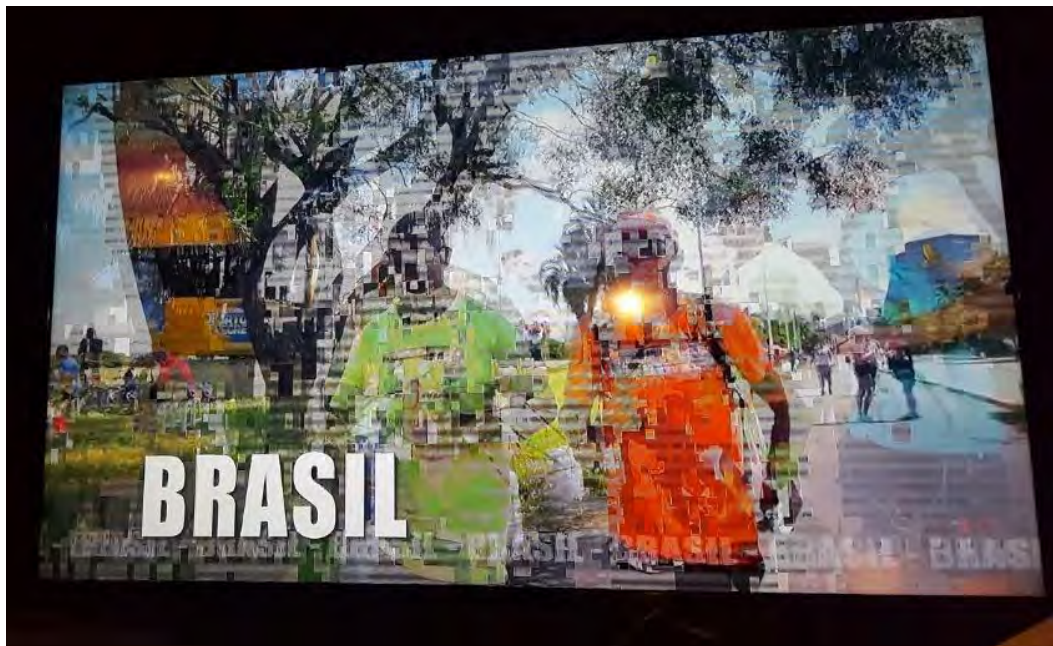
- Nivel de cobertura regular: <-62 dBm, -70 dBm>



*Figura 33. Calidad de Imagen – Regular*

*Fuente.* Estudio de Cobertura ISDB-T en la ciudad de Trujillo, UPAO.

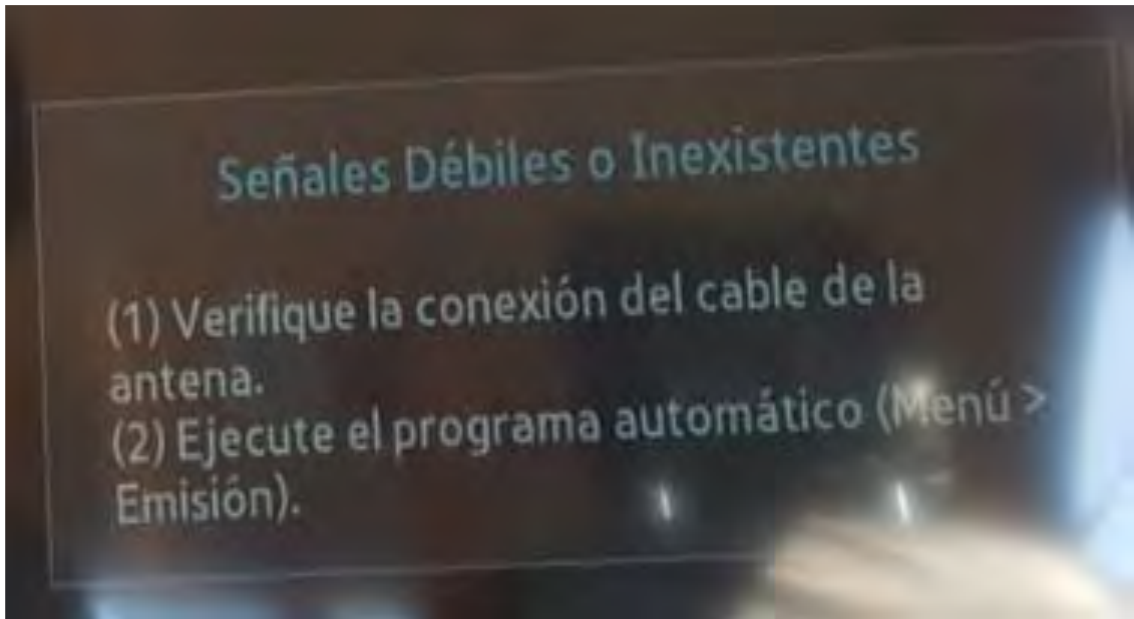
- Nivel de cobertura mínima: <-71 dBm, -77 dBm>



*Figura 34. Calidad de Imagen – Deficiente*

*Fuente.* Estudio de Cobertura ISDB-T en la ciudad de Trujillo, UPAO.

- Nivel de cobertura baja: Menor o igual a -78 dBm



*Figura 35. Calidad de Imagen – Inexistente*

*Fuente.* Estudio de Cobertura ISDB-T en la ciudad de Trujillo, UPAO.

### 3.4. Recolección de Datos de la Intensidad de Señal Recibida

#### 3.4.1. Distrito de Cusco

Tabla 12. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Cusco

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA URBANA</b>										
CU001	-74.01	-71.95	-75.12	-71.76	-75.06	-70.88	-72.10	-74.54	-71.04	-72.94
CU002	-65.51	-66.91	-74.91	-65.37	-68.88	-73.67	-67.55	-62.04	-64.54	-67.71
CU003	-68.17	-67.79	-72.67	-70.71	-65.15	-66.19	-62.43	-64.61	-63.34	-66.78
CU004	-57.66	-50.23	-58.42	-49.17	-52.23	-50.32	-49.23	-47.49	-44.04	-50.98
CU005	-61.74	-70.15	-70.73	-67.58	-70.43	-53.72	-64.31	-65.57	-63.80	-65.34
CU006	-63.11	-64.38	-69.46	-67.65	-66.50	-63.55	-62.76	-59.48	-63.97	-64.54
CU007	-62.26	-72.45	-74.22	-61.22	-65.33	-68.31	-63.77	-69.43	-60.75	-66.42
CU008	-59.21	-71.33	-73.97	-67.65	-71.64	-58.78	-63.02	-67.46	-57.21	-65.59
CU009	-68.26	-64.13	-70.74	-64.15	-65.62	-67.60	-70.20	-64.36	-66.15	-66.80
CU010	-64.13	-60.37	-66.66	-55.83	-67.20	-55.52	-65.38	-52.72	-54.70	-60.28
CU011	-82.14	-81.28	-82.63	-81.04	-82.63	-82.77	-83.29	-82.49	-81.28	-82.17
CU012	-69.57	-68.66	-71.97	-71.83	-69.93	-72.31	-67.97	-71.14	-64.69	-69.79
CU013	-66.58	-63.94	-72.65	-60.45	-65.13	-68.94	-63.06	-60.50	-61.08	-64.70
CU014	-70.40	-66.52	-73.71	-73.23	-72.37	-72.63	-71.41	-69.48	-66.64	-70.71
CU015	-81.76	-83.85	-83.63	-80.63	-82.14	-82.09	-80.93	-79.61	-82.14	-81.86
CU016	-82.39	-83.09	-81.51	-82.31	-82.50	-83.52	-82.01	-82.85	-81.96	-82.46
CU017	-57.98	-60.85	-71.80	-58.68	-71.15	-68.99	-56.00	-65.89	-70.51	-64.65
CU018	-68.14	-61.76	-69.60	-57.65	-65.42	-69.65	-51.50	-73.37	-70.21	-65.26
CU019	-63.61	-67.00	-74.38	-65.41	-72.96	-73.42	-64.63	-68.89	-65.82	-68.46
CU020	-70.00	-70.10	-75.90	-67.65	-75.31	-75.25	-73.71	-74.84	-74.57	-73.04
CU021	-71.41	-66.10	-74.62	-65.16	-68.55	-67.14	-68.47	-72.13	-74.18	-69.75
CU022	-72.82	-67.18	-72.41	-74.62	-75.59	-74.64	-68.68	-74.17	-71.84	-72.44
CU023	-62.70	-60.28	-72.48	-63.57	-71.32	-72.71	-67.05	-72.35	-73.49	-68.44
CU024	-65.89	-66.77	-74.33	-61.23	-71.48	-65.25	-67.34	-67.22	-71.08	-67.84
CU025	-68.36	-62.45	-70.59	-64.17	-76.25	-72.43	-63.51	-75.37	-74.06	-69.69
CU026	-70.95	-67.74	-71.36	-68.98	-70.07	-65.99	-70.03	-71.18	-69.22	-69.50
CU027	-62.08	-63.42	-67.43	-68.70	-69.76	-62.30	-63.35	-53.88	-63.58	-63.83
CU028	-70.57	-64.31	-71.56	-73.60	-72.35	-70.99	-73.66	-65.36	-69.72	-70.24
CU029	-62.89	-58.95	-71.81	-64.94	-71.64	-67.10	-67.63	-65.54	-64.42	-66.10
CU030	-63.86	-71.95	-68.97	-69.62	-66.56	-68.35	-68.61	-64.09	-59.05	-66.78
CU031	-82.46	-79.97	-81.30	-81.98	-78.92	-81.78	-79.50	-80.45	-83.27	-81.07

CU032	-81.05	-79.06	-81.65	-82.65	-79.97	-80.94	-79.47	-81.96	-82.18	-80.99
CU033	-74.52	-69.70	-51.06	-68.79	-58.93	-73.94	-63.80	-74.09	-64.80	-66.63
CU034	-75.71	-59.16	-45.66	-66.95	-58.45	-70.87	-63.25	-73.86	-69.32	-64.80
CU035	-82.59	-82.09	-83.10	-81.60	-82.99	-82.88	-82.04	-81.61	-83.26	-82.46
CU036	-75.96	-74.94	-65.49	-75.71	-73.16	-76.73	-74.00	-73.97	-74.88	-73.87
CU037	-80.62	-81.52	-80.98	-84.65	-82.33	-82.36	-82.46	-82.53	-82.62	-82.23
CU038	-82.79	-80.95	-81.66	-81.74	-81.92	-81.65	-83.59	-84.19	-82.74	-82.36
CU039	-82.99	-82.68	-83.28	-82.67	-82.18	-82.89	-81.22	-83.59	-82.82	-82.70
CU040	-83.86	-82.68	-78.46	-82.28	-82.11	-83.18	-83.65	-82.05	-81.83	-82.23
CU041	-82.82	-83.19	-79.52	-83.07	-80.92	-83.97	-83.10	-83.71	-82.80	-82.57
CU042	-82.68	-82.18	-82.21	-81.72	-83.41	-84.34	-82.97	-83.08	-82.10	-82.74
CU043	-81.47	-79.40	-81.77	-82.79	-82.78	-84.71	-82.34	-80.50	-81.71	-81.94
CU044	-53.34	-38.41	-48.20	-41.92	-56.91	-50.60	-40.15	-44.98	-32.03	-45.17
CU045	-82.29	-81.68	-81.19	-84.70	-81.53	-82.28	-81.13	-83.55	-83.11	-82.38
CU046	-70.80	-70.55	-69.94	-67.98	-66.50	-61.27	-67.91	-74.79	-59.88	-67.74
CU047	-72.04	-71.81	-75.81	-73.22	-72.67	-61.38	-69.90	-73.96	-73.71	-71.61
CU048	-57.41	-70.08	-76.35	-72.35	-72.05	-55.27	-70.20	-67.49	-67.66	-67.65
CU049	-66.40	-71.18	-74.13	-72.31	-71.66	-66.10	-73.90	-72.66	-69.44	-70.86
CU050	-54.01	-63.39	-72.03	-67.86	-61.47	-64.90	-65.61	-69.35	-68.83	-65.27
CU051	-48.99	-47.99	-64.61	-52.39	-69.51	-60.46	-54.43	-62.43	-60.01	-57.87
CU052	-52.79	-68.05	-68.10	-68.86	-66.79	-54.10	-62.40	-63.77	-54.00	-62.10
CU053	-57.64	-68.02	-72.09	-68.95	-57.97	-62.01	-66.02	-65.60	-62.44	-64.53
CU054	-61.36	-67.40	-74.52	-74.73	-69.23	-64.43	-72.33	-71.60	-67.00	-69.18
CU055	-68.07	-69.69	-66.58	-71.86	-58.77	-61.07	-72.28	-68.88	-63.16	-66.71
CU056	-70.15	-70.10	-70.34	-66.45	-72.20	-48.45	-73.97	-65.80	-62.87	-66.70
CU057	-63.64	-68.13	-65.35	-73.31	-55.74	-50.30	-74.51	-72.56	-68.66	-65.80
CU058	-69.00	-71.25	-66.79	-71.86	-58.07	-46.73	-64.29	-74.79	-62.91	-65.08
CU059	-70.27	-68.80	-73.77	-66.78	-74.82	-71.98	-67.07	-67.35	-73.75	-70.51
CU060	-75.50	-73.56	-74.65	-74.95	-74.95	-68.72	-76.84	-73.69	-73.90	-74.08
CU061	-60.88	-72.39	-73.65	-66.37	-70.01	-48.60	-70.34	-65.16	-49.98	-64.15
CU062	-66.40	-74.78	-75.30	-75.03	-75.71	-60.83	-74.50	-73.22	-65.21	-71.22
<b>ZONA RURAL</b>										
CU063	-65.44	-65.82	-56.52	-68.43	-61.61	-54.00	-65.59	-53.88	-62.46	-61.53
CU064	-69.34	-71.94	-65.50	-69.74	-62.23	-64.94	-70.53	-65.55	-71.17	-67.88
CU065	-59.76	-58.15	-47.85	-59.47	-67.00	-53.95	-59.64	-46.78	-57.93	-56.73
CU066	-57.89	-56.29	-59.95	-60.77	-61.01	-49.34	-60.66	-49.28	-57.58	-56.97
CU067	-80.13	-82.02	-83.45	-82.11	-83.39	-81.63	-83.78	-82.45	-82.08	-82.34
CU068	-82.62	-81.59	-83.19	-79.56	-82.76	-80.35	-82.71	-82.49	-81.09	-81.82
CU069	-82.21	-81.89	-84.69	-82.53	-81.15	-81.09	-82.50	-81.71	-83.22	-82.33

CU070	-81.69	-82.04	-80.22	-83.47	-83.74	-81.55	-80.51	-80.61	-82.61	-81.83
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.4.2. Distrito de Ccorca

Tabla 13. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Ccorca

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA RURAL</b>										
CC001	-79.91	-80.91	-83.28	-81.71	-82.67	-79.95	-81.85	-81.30	-80.30	-81.32
CC002	-82.13	-81.98	-82.02	-81.11	-80.68	-82.74	-81.83	-81.95	-82.62	-81.90
CC003	-82.02	-81.55	-81.09	-82.18	-80.98	-82.05	-80.13	-81.87	-82.53	-81.60
CC004	-82.96	-79.50	-80.57	-81.50	-83.59	-82.25	-80.55	-81.73	-83.67	-81.81
CC005	-81.80	-81.16	-81.70	-82.26	-82.06	-81.99	-81.35	-81.63	-82.55	-81.83
CC006	-83.14	-81.32	-81.01	-82.83	-81.24	-83.36	-82.07	-82.31	-82.49	-82.20
CC007	-80.64	-81.67	-82.20	-84.24	-83.19	-81.61	-81.65	-80.61	-83.67	-82.16

Fuente. Elaboración Propia

### 3.4.3. Distrito de Poroy

Tabla 14. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Poroy

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA RURAL</b>										
PR001	-83.57	-82.47	-83.39	-81.29	-82.48	-81.07	-82.98	-82.29	-83.37	-82.55
PR002	-81.81	-82.12	-80.72	-82.17	-81.47	-81.33	-81.10	-82.32	-83.37	-81.82
PR003	-75.73	-75.38	-70.07	-75.18	-75.20	-76.69	-77.29	-75.23	-74.25	-75.00
PR004	-81.44	-81.40	-82.72	-80.74	-82.07	-80.35	-83.03	-83.60	-83.96	-82.15
PR005	-82.93	-81.25	-82.39	-84.29	-80.90	-81.97	-79.36	-82.18	-80.70	-81.77
PR006	-75.14	-74.09	-63.22	-74.05	-68.71	-74.29	-75.17	-72.22	-70.97	-71.98

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.4.4. Distrito de San Jerónimo

Tabla 15. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de San Jerónimo

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA URBANA</b>										
SJ001	-68.84	-64.24	-69.52	-66.88	-74.32	-73.07	-67.35	-75.57	-70.55	-70.04
SJ002	-73.96	-70.25	-73.61	-69.34	-73.02	-75.40	-72.58	-72.84	-66.67	-71.96
SJ003	-72.12	-67.47	-71.91	-68.60	-71.33	-73.71	-68.85	-71.21	-73.48	-70.96
SJ004	-74.19	-73.77	-75.53	-74.43	-75.90	-72.54	-69.72	-72.46	-74.64	-73.69
SJ005	-82.22	-81.56	-82.60	-82.69	-81.38	-80.25	-79.98	-80.81	-81.21	-81.41

SJ006	-71.83	-70.55	-74.44	-70.99	-74.04	-71.18	-71.59	-71.97	-68.95	-71.73
SJ007	-80.38	-82.42	-79.03	-82.37	-80.16	-83.14	-79.38	-80.40	-80.72	-80.89
SJ008	-81.77	-80.16	-80.98	-82.51	-82.13	-81.47	-78.42	-78.38	-79.86	-80.63
SJ009	-83.60	-81.37	-80.75	-80.82	-82.28	-83.46	-82.26	-81.26	-82.37	-82.02
SJ010	-81.83	-80.92	-82.37	-81.96	-81.86	-83.29	-79.04	-81.24	-83.14	-81.74
SJ011	-81.25	-76.78	-78.36	-77.44	-79.96	-80.15	-79.97	-78.11	-79.04	-79.01
SJ012	-66.11	-62.38	-68.79	-67.34	-68.54	-69.05	-62.89	-64.78	-66.66	-66.28
SJ013	-68.33	-64.57	-70.08	-63.56	-70.37	-68.20	-62.12	-64.82	-68.26	-66.70
SJ014	-64.31	-60.31	-71.18	-62.56	-68.72	-67.55	-63.22	-65.72	-64.52	-65.34
SJ015	-71.58	-67.73	-70.57	-71.22	-74.24	-71.52	-69.86	-69.42	-68.65	-70.53
SJ016	-83.88	-81.89	-81.24	-81.91	-82.36	-80.99	-80.35	-82.50	-81.67	-81.87
SJ017	-82.06	-77.56	-80.46	-79.29	-82.04	-83.57	-80.42	-83.02	-82.09	-81.17
SJ018	-70.41	-65.56	-70.23	-65.43	-68.65	-72.49	-68.68	-62.32	-65.65	-67.71
SJ019	-69.52	-64.81	-71.53	-66.11	-68.62	-67.75	-63.64	-61.94	-61.82	-66.19
SJ020	-83.15	-81.95	-81.32	-81.33	-80.30	-80.73	-82.00	-79.31	-81.00	-81.23
SJ021	-82.68	-82.15	-82.24	-84.23	-82.34	-80.64	-81.71	-82.03	-82.02	-82.23
SJ022	-81.73	-81.45	-81.27	-82.55	-81.26	-80.36	-81.74	-81.31	-81.66	-81.48
SJ023	-72.60	-66.66	-69.58	-66.59	-69.18	-70.32	-64.86	-66.28	-64.33	-67.82
SJ024	-74.29	-73.70	-74.90	-70.35	-72.53	-75.06	-70.83	-70.54	-74.44	-72.96
SJ025	-71.52	-67.82	-70.11	-65.60	-69.93	-64.67	-67.20	-64.50	-64.37	-67.30
SJ026	-80.75	-79.02	-81.26	-81.70	-80.26	-80.70	-80.37	-78.66	-82.83	-80.62
<b>ZONA RURAL</b>										
SJ027	-82.31	-82.38	-82.35	-82.66	-83.32	-81.32	-82.08	-82.11	-81.30	-82.20
SJ028	-81.13	-82.43	-82.26	-80.91	-82.69	-82.66	-82.83	-81.62	-82.60	-82.13
SJ029	-80.99	-82.13	-83.02	-83.00	-80.99	-81.65	-83.04	-81.62	-80.95	-81.93
SJ030	-81.42	-82.58	-81.14	-80.66	-82.84	-82.56	-80.02	-81.90	-82.12	-81.69
SJ031	-82.97	-82.23	-83.17	-83.01	-82.76	-80.45	-81.77	-81.00	-81.07	-82.05
SJ032	-84.32	-82.68	-81.43	-80.90	-82.97	-80.44	-81.82	-81.52	-80.15	-81.80
SJ033	-83.14	-83.82	-81.88	-82.08	-81.03	-82.73	-84.37	-81.39	-81.48	-82.44
SJ034	-80.53	-81.48	-84.15	-82.07	-80.12	-83.08	-81.35	-81.29	-81.60	-81.74
SJ035	-83.08	-81.55	-80.40	-81.03	-83.25	-80.21	-81.25	-81.78	-82.21	-81.64

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.4.5. Distrito de San Sebastián

Tabla 16. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de San Sebastián

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA URBANA</b>										
SS001	-67.12	-65.73	-64.30	-56.51	-65.39	-58.28	-58.40	-57.62	-57.20	-61.17
SS002	-65.08	-67.03	-71.52	-66.68	-71.24	-65.11	-68.84	-69.81	-61.43	-67.42
SS003	-65.15	-60.74	-70.00	-65.19	-66.73	-67.23	-60.85	-60.91	-56.13	-63.66
SS004	-71.08	-70.27	-74.19	-68.27	-69.92	-70.06	-67.69	-70.29	-66.38	-69.79
SS005	-66.94	-64.17	-70.47	-63.36	-66.11	-69.21	-63.10	-65.40	-57.19	-65.11
SS006	-69.22	-69.82	-70.61	-68.24	-68.93	-70.23	-64.01	-64.15	-64.19	-67.71
SS007	-72.70	-69.11	-73.14	-72.01	-71.63	-72.73	-65.84	-71.52	-70.13	-70.98
SS008	-82.43	-78.60	-80.15	-80.10	-81.41	-79.77	-80.05	-82.56	-79.42	-80.50
SS009	-73.54	-68.45	-72.86	-70.65	-75.01	-71.11	-71.18	-68.90	-68.22	-71.10
SS010	-81.58	-80.93	-79.89	-80.82	-79.70	-78.47	-80.45	-82.25	-80.33	-80.49
SS011	-75.17	-73.31	-71.76	-71.70	-72.78	-73.33	-71.70	-70.92	-68.72	-72.15
SS012	-58.63	-54.76	-68.64	-61.86	-63.21	-61.62	-57.80	-62.43	-62.81	-61.31
SS013	-82.40	-81.34	-85.01	-80.98	-83.38	-82.51	-82.13	-84.19	-81.74	-82.63
SS014	-72.31	-73.22	-75.50	-74.12	-74.52	-73.40	-73.00	-73.07	-70.50	-73.29
SS015	-81.98	-81.15	-82.68	-79.97	-78.35	-81.17	-78.83	-80.42	-80.77	-80.59
SS016	-69.85	-73.71	-75.51	-75.81	-74.64	-72.44	-73.42	-72.32	-74.45	-73.57
SS017	-79.09	-78.76	-82.12	-79.05	-80.23	-81.91	-78.45	-79.72	-78.87	-79.80
SS018	-75.47	-70.15	-74.15	-73.17	-75.49	-73.73	-74.69	-76.39	-75.79	-74.34
SS019	-70.15	-66.77	-71.88	-70.56	-74.90	-75.41	-68.28	-76.42	-69.70	-71.56
SS020	-57.39	-56.16	-63.62	-62.65	-67.53	-71.84	-61.95	-66.67	-69.84	-64.18
SS021	-64.38	-66.32	-72.64	-67.95	-72.15	-65.91	-66.12	-73.53	-65.09	-68.23
SS022	-83.29	-82.18	-82.20	-81.00	-83.81	-81.21	-82.95	-81.21	-83.61	-82.38
SS023	-70.57	-69.63	-74.63	-71.10	-68.49	-76.06	-70.06	-72.58	-72.84	-71.77
SS024	-71.72	-70.40	-74.83	-72.45	-74.60	-76.20	-70.46	-73.96	-75.04	-73.30
SS025	-83.52	-80.72	-80.99	-82.29	-83.81	-81.83	-81.42	-83.31	-80.81	-82.08
SS026	-82.56	-80.70	-81.81	-81.74	-82.55	-82.48	-84.05	-83.89	-83.86	-82.63
SS027	-78.80	-68.33	-74.13	-73.77	-76.68	-74.13	-74.23	-74.93	-77.15	-74.68
SS028	-81.52	-81.61	-81.04	-84.19	-82.75	-81.60	-81.47	-80.50	-81.93	-81.85
SS029	-81.87	-82.46	-82.76	-80.37	-83.39	-82.18	-83.81	-83.44	-81.96	-82.47
SS030	-74.95	-74.36	-73.39	-74.53	-72.49	-74.43	-70.52	-68.28	-71.17	-72.68
SS031	-70.09	-71.24	-75.18	-72.79	-75.16	-74.81	-74.04	-73.54	-70.05	-72.99
SS032	-73.32	-74.57	-74.57	-73.74	-71.54	-72.65	-74.08	-71.02	-71.36	-72.98
SS033	-74.05	-68.48	-73.75	-65.63	-71.67	-73.94	-66.22	-69.33	-69.27	-70.26

SS034	-80.28	-79.33	-82.84	-81.88	-81.56	-81.88	-81.01	-82.22	-81.17	-81.35
SS035	-80.57	-80.90	-81.84	-82.49	-81.45	-81.07	-79.77	-81.42	-81.77	-81.25
SS036	-81.10	-82.22	-82.14	-81.74	-81.75	-82.09	-78.62	-82.19	-81.19	-81.45
SS037	-81.53	-80.37	-81.26	-83.36	-80.74	-82.64	-80.24	-82.86	-81.50	-81.61
SS038	-80.74	-78.41	-82.72	-79.13	-79.30	-80.52	-80.81	-81.47	-79.54	-80.29
SS039	-82.93	-83.00	-80.46	-79.79	-83.14	-83.29	-82.99	-83.91	-80.65	-82.24
SS040	-80.47	-80.51	-81.34	-81.01	-80.25	-82.26	-79.26	-81.51	-80.89	-80.83
SS041	-82.20	-82.98	-81.49	-81.89	-83.64	-82.45	-81.13	-83.03	-80.70	-82.17
SS042	-80.93	-82.47	-81.90	-83.41	-79.50	-83.27	-82.43	-81.96	-83.08	-82.11
SS043	-71.76	-69.58	-76.92	-73.68	-72.28	-75.07	-67.56	-71.72	-71.74	-72.26
SS044	-83.26	-80.29	-81.24	-79.92	-82.16	-80.70	-81.74	-81.42	-80.92	-81.29
SS045	-81.95	-82.35	-80.92	-80.10	-81.60	-83.17	-81.33	-82.72	-81.04	-81.69
SS046	-71.05	-69.90	-72.42	-68.10	-74.61	-74.19	-70.13	-67.02	-70.18	-70.84
SS047	-75.76	-73.73	-75.65	-74.17	-77.72	-73.84	-72.52	-73.95	-74.78	-74.68
SS048	-73.67	-70.94	-71.91	-69.56	-72.48	-73.07	-74.86	-69.84	-70.19	-71.84
SS049	-69.98	-65.18	-70.32	-63.81	-71.64	-72.93	-72.27	-64.97	-68.66	-68.86
SS050	-81.04	-81.00	-80.20	-81.18	-82.69	-81.98	-82.88	-80.76	-80.83	-81.40
SS051	-82.38	-80.24	-83.00	-82.95	-84.72	-82.40	-80.86	-82.40	-81.81	-82.31
SS052	-82.57	-82.73	-81.73	-82.98	-81.41	-83.94	-83.76	-81.17	-82.57	-82.54
SS053	-71.77	-74.75	-74.37	-70.24	-74.08	-74.48	-72.28	-71.27	-70.47	-72.63
SS054	-70.62	-64.81	-70.07	-64.56	-68.71	-72.41	-66.73	-66.91	-66.71	-67.95
SS055	-82.63	-82.35	-82.98	-81.86	-82.72	-82.19	-82.28	-82.14	-80.88	-82.23
SS056	-83.92	-80.41	-83.27	-81.42	-83.39	-82.89	-81.39	-82.21	-82.96	-82.43
SS057	-80.01	-84.89	-83.87	-79.79	-82.78	-83.74	-82.25	-82.08	-81.70	-82.35
SS058	-58.84	-60.37	-63.02	-66.33	-67.27	-64.67	-68.89	-70.19	-58.58	-64.24
SS059	-69.85	-63.81	-65.67	-58.05	-57.10	-67.98	-54.10	-76.04	-53.24	-62.87
SS060	-71.83	-69.40	-74.74	-69.26	-73.30	-70.77	-65.18	-65.55	-61.66	-69.08
SS061	-69.23	-60.20	-66.42	-57.35	-59.80	-63.36	-65.71	-71.36	-69.97	-64.82
SS062	-74.32	-71.85	-74.65	-73.49	-68.37	-75.38	-68.02	-74.97	-73.18	-72.69
SS063	-82.21	-81.28	-81.79	-80.50	-82.31	-81.93	-78.93	-83.19	-79.55	-81.30
SS064	-79.16	-82.07	-82.27	-80.66	-80.99	-83.30	-80.33	-81.32	-81.14	-81.25
<b>ZONA RURAL</b>										
SS065	-84.84	-83.19	-82.66	-84.34	-83.25	-82.44	-79.85	-83.04	-81.29	-82.77
SS066	-72.94	-71.90	-73.03	-71.22	-75.64	-76.47	-70.62	-73.34	-73.80	-73.22
SS067	-82.54	-81.43	-79.86	-83.24	-80.97	-81.18	-79.21	-80.83	-82.50	-81.31
SS068	-79.83	-81.82	-78.50	-82.67	-81.05	-79.38	-82.64	-81.96	-80.62	-80.94
SS069	-82.60	-81.49	-81.60	-81.44	-81.75	-83.22	-80.05	-81.08	-81.94	-81.69
SS070	-82.60	-80.53	-81.45	-81.46	-81.79	-82.63	-80.77	-82.51	-82.51	-81.81
SS071	-82.38	-82.52	-83.25	-81.96	-83.02	-81.88	-81.00	-83.84	-83.15	-82.56



SS072	-82.42	-83.76	-81.66	-81.88	-82.02	-80.00	-81.70	-82.07	-80.77	-81.81
SS073	-70.59	-70.07	-74.95	-68.30	-75.07	-72.09	-66.89	-69.51	-72.55	-71.11
SS074	-81.71	-81.32	-80.56	-81.41	-80.80	-81.69	-80.47	-82.35	-79.97	-81.14
SS075	-82.42	-79.65	-81.32	-83.94	-83.39	-81.68	-82.02	-79.67	-82.40	-81.83
SS076	-82.95	-79.59	-82.71	-83.08	-80.34	-82.54	-81.46	-81.92	-80.84	-81.71
SS077	-83.96	-81.99	-81.40	-83.49	-81.18	-82.98	-82.92	-82.97	-82.62	-82.61
SS078	-74.83	-70.50	-73.53	-69.81	-74.80	-72.27	-70.48	-69.94	-73.08	-72.14
SS079	-68.40	-64.10	-71.93	-69.32	-73.00	-73.49	-65.73	-68.05	-70.21	-69.36
SS080	-66.67	-61.01	-68.58	-63.95	-69.74	-66.54	-64.25	-64.00	-64.60	-65.48

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.4.6. Distrito de Santiago

Tabla 17. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Santiago

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA URBANA</b>										
ST001	-67.73	-68.51	-74.21	-72.71	-72.50	-65.48	-68.34	-70.28	-75.46	-70.58
ST002	-69.82	-65.55	-69.36	-65.63	-75.34	-67.16	-70.07	-69.70	-73.46	-69.57
ST003	-65.64	-65.06	-74.66	-62.94	-73.11	-65.89	-59.33	-64.44	-70.77	-66.87
ST004	-63.84	-64.81	-72.46	-60.21	-70.94	-62.22	-62.33	-60.62	-65.06	-64.72
ST005	-58.85	-47.55	-65.90	-51.97	-65.31	-56.69	-48.89	-65.25	-59.34	-57.75
ST006	-63.17	-59.28	-72.88	-57.97	-66.70	-60.73	-58.23	-55.21	-65.47	-62.18
ST007	-69.63	-62.70	-68.90	-68.10	-69.26	-56.99	-58.74	-55.70	-60.46	-63.39
ST008	-75.09	-70.34	-73.96	-73.04	-72.77	-63.25	-71.28	-61.53	-70.04	-70.14
ST009	-68.86	-59.48	-65.66	-61.83	-66.19	-57.24	-67.25	-56.79	-67.61	-63.43
ST010	-63.97	-56.18	-65.58	-56.15	-67.97	-58.78	-55.68	-48.07	-67.34	-59.97
ST011	-59.61	-54.66	-65.03	-62.10	-55.24	-49.44	-58.07	-46.83	-61.40	-56.93
ST012	-61.06	-55.89	-71.34	-62.26	-59.38	-52.34	-64.10	-55.04	-65.55	-60.77
ST013	-64.65	-57.39	-73.13	-59.85	-57.60	-66.39	-57.27	-49.62	-59.38	-60.59
ST014	-71.47	-68.75	-69.80	-68.81	-67.45	-69.05	-64.07	-60.80	-69.11	-67.70
ST015	-60.74	-61.07	-67.21	-68.28	-68.99	-59.69	-62.69	-60.63	-68.89	-64.24
ST016	-67.67	-67.86	-73.60	-74.22	-74.18	-71.16	-67.50	-71.13	-73.80	-71.24
ST017	-69.51	-64.45	-73.32	-64.22	-67.47	-59.26	-67.72	-58.04	-71.97	-66.22
ST018	-74.03	-68.64	-70.28	-71.04	-69.39	-67.65	-71.68	-62.70	-75.16	-70.06
ST019	-64.94	-61.69	-71.77	-64.64	-66.11	-57.64	-71.25	-54.73	-66.37	-64.35
ST020	-75.15	-73.69	-77.25	-73.29	-75.63	-75.94	-70.37	-66.67	-74.06	-73.56
ST021	-75.18	-68.50	-73.90	-73.70	-71.52	-64.91	-73.03	-67.47	-73.64	-71.32
ST022	-82.44	-81.63	-81.70	-81.69	-84.27	-80.88	-82.22	-80.79	-81.40	-81.89
ST023	-80.55	-82.57	-83.02	-83.12	-80.59	-83.62	-81.49	-80.68	-81.14	-81.86

ST024	-83.64	-81.12	-80.58	-80.80	-81.72	-82.56	-81.68	-81.61	-81.73	-81.72
ST025	-82.69	-83.28	-83.32	-82.45	-82.98	-84.08	-82.48	-81.15	-82.10	-82.73
ST026	-82.93	-82.18	-83.80	-81.51	-84.68	-80.85	-81.73	-81.97	-80.09	-82.19
ST027	-75.15	-73.32	-76.21	-73.52	-74.83	-74.50	-75.39	-69.20	-74.72	-74.09
ST028	-82.09	-81.46	-81.84	-84.91	-82.97	-82.80	-82.64	-82.36	-81.79	-82.54
ST029	-82.11	-81.22	-80.97	-81.71	-81.07	-80.99	-83.58	-80.76	-80.42	-81.43
ST030	-70.31	-71.66	-72.38	-72.66	-71.72	-74.50	-72.78	-66.61	-73.25	-71.76
ST031	-71.31	-64.24	-73.12	-65.19	-71.39	-64.12	-65.19	-65.16	-75.79	-68.39
ST032	-82.80	-79.75	-82.96	-80.85	-82.39	-80.35	-82.86	-79.26	-81.40	-81.40
ST033	-83.94	-83.49	-81.87	-84.82	-81.40	-80.99	-81.59	-79.43	-82.34	-82.21
ST034	-75.45	-74.21	-73.53	-70.45	-73.14	-61.59	-72.25	-62.72	-71.88	-70.58
ST035	-67.85	-59.75	-70.27	-69.00	-66.66	-52.72	-67.24	-48.06	-68.69	-63.36
ST036	-83.15	-82.24	-80.36	-82.02	-78.89	-81.90	-81.67	-81.67	-81.50	-81.49
ST037	-82.34	-81.51	-81.28	-83.26	-81.91	-82.50	-82.16	-81.19	-80.94	-81.90
ST038	-63.27	-68.01	-72.75	-69.00	-69.68	-58.43	-67.32	-70.61	-73.71	-68.09
ST039	-81.64	-82.04	-80.42	-83.80	-80.86	-81.20	-80.58	-81.62	-81.24	-81.49
ST040	-53.12	-50.44	-55.70	-48.79	-54.99	-49.31	-57.23	-61.65	-55.46	-54.08
ST041	-71.21	-70.21	-74.34	-69.96	-71.51	-68.81	-68.61	-72.01	-69.95	-70.73
ST042	-65.05	-61.10	-71.00	-60.06	-63.99	-58.90	-58.14	-52.27	-72.11	-62.51
ST043	-74.70	-70.29	-72.73	-72.06	-71.44	-70.36	-68.66	-63.09	-70.60	-70.44
ST044	-64.53	-58.49	-68.64	-59.40	-69.84	-58.97	-57.09	-51.95	-68.94	-61.98
ST045	-73.63	-67.86	-71.91	-73.76	-71.31	-65.20	-71.26	-66.84	-72.39	-70.46
ST046	-72.39	-67.18	-74.53	-68.88	-69.85	-70.13	-74.52	-66.76	-75.74	-71.11
ST047	-63.41	-63.60	-67.69	-60.42	-65.60	-68.93	-62.71	-60.37	-63.58	-64.03
ST048	-72.91	-53.94	-66.08	-69.67	-60.22	-63.53	-59.64	-55.06	-60.55	-62.40
ST049	-67.27	-60.64	-69.71	-62.65	-66.86	-61.25	-60.39	-62.04	-61.68	-63.61
ST050	-83.17	-81.08	-82.16	-81.60	-83.30	-83.11	-82.63	-79.65	-82.32	-82.11
ST051	-82.68	-81.15	-81.79	-82.15	-80.81	-82.51	-81.08	-81.09	-82.06	-81.70
ST052	-83.65	-82.20	-83.61	-84.28	-82.13	-82.14	-79.68	-81.13	-81.68	-82.28
ST053	-83.50	-82.68	-81.75	-83.11	-83.85	-81.59	-81.52	-79.57	-81.87	-82.16
ST054	-76.62	-74.46	-74.64	-71.83	-73.73	-70.06	-71.33	-74.06	-73.67	-73.38
ST055	-74.50	-68.49	-73.12	-70.84	-73.70	-74.12	-73.86	-72.27	-69.98	-72.32
ST056	-71.69	-70.08	-71.80	-67.69	-71.89	-64.75	-62.99	-68.13	-65.17	-68.24
ST057	-63.32	-52.98	-65.88	-53.60	-58.02	-56.14	-52.59	-51.39	-57.09	-56.78
ST058	-53.72	-53.66	-49.68	-56.47	-66.69	-64.46	-57.58	-71.81	-64.48	-59.84
<b>ZONA RURAL</b>										
ST059	-81.95	-80.18	-81.30	-80.84	-80.99	-81.66	-80.82	-81.32	-81.84	-81.21
ST060	-82.78	-82.58	-82.77	-79.81	-82.50	-82.91	-82.35	-81.48	-81.60	-82.09
ST061	-82.97	-82.71	-81.74	-79.72	-80.20	-82.30	-81.05	-83.22	-82.25	-81.80

ST062	-82.91	-81.83	-82.83	-83.44	-83.82	-81.91	-83.65	-81.41	-82.18	-82.66
ST063	-80.73	-81.53	-83.90	-82.00	-80.18	-90.71	-83.87	-80.99	-83.11	-83.00
ST064	-76.48	-70.77	-73.65	-72.91	-73.49	-67.43	-72.24	-67.84	-72.74	-71.95
ST065	-83.41	-81.85	-82.03	-81.42	-80.63	-80.53	-81.27	-83.21	-81.69	-81.78

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.4.7. Distrito de Saylla

Tabla 18. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Saylla

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA URBANA</b>										
SA001	-81.50	-82.53	-81.68	-82.93	-81.26	-84.16	-82.36	-82.73	-83.92	-82.56
SA002	-83.81	-82.22	-82.32	-82.19	-82.22	-81.76	-80.34	-80.38	-82.94	-82.02
SA003	-82.23	-81.36	-82.80	-80.20	-81.75	-81.40	-81.44	-81.60	-80.87	-81.52
SA004	-84.54	-81.00	-81.01	-82.02	-80.81	-83.12	-83.69	-81.59	-82.56	-82.26
<b>ZONA RURAL</b>										
SA005	-82.10	-81.87	-81.87	-79.17	-79.53	-83.18	-80.85	-80.79	-83.81	-81.46
SA006	-83.54	-81.74	-81.94	-83.22	-83.19	-81.11	-81.92	-80.65	-83.26	-82.29
SA007	-81.83	-82.14	-81.88	-82.04	-80.23	-82.27	-83.22	-83.00	-81.62	-82.03

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.4.8. Distrito de Wanchaq

Tabla 19. Intensidad de señal recibida (dBm) en el distrito de Wanchaq

N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
<b>ZONA URBANA</b>										
WC001	-66.56	-60.19	-68.28	-66.09	-64.82	-64.64	-61.55	-62.10	-67.20	-64.60
WC002	-65.31	-64.67	-66.21	-61.27	-64.46	-60.29	-62.34	-61.54	-64.89	-63.44
WC003	-70.46	-67.27	-73.61	-70.39	-70.07	-68.53	-65.44	-64.87	-70.13	-68.97
WC004	-72.04	-70.81	-76.60	-74.15	-73.94	-71.42	-71.53	-72.31	-67.61	-72.27
WC005	-65.59	-58.69	-68.71	-65.06	-62.73	-65.39	-64.53	-68.67	-65.20	-64.95
WC006	-66.33	-67.27	-73.43	-67.89	-69.71	-70.98	-62.50	-70.38	-61.44	-67.77
WC007	-70.16	-68.43	-74.55	-68.63	-69.00	-68.96	-69.19	-72.34	-70.49	-70.19
WC008	-70.84	-71.37	-73.28	-72.44	-69.05	-72.62	-69.81	-69.38	-62.19	-70.11
WC009	-69.00	-63.33	-72.28	-66.12	-69.20	-70.06	-66.25	-73.47	-65.70	-68.38
WC010	-69.36	-69.46	-72.52	-66.14	-70.10	-68.95	-68.00	-72.69	-63.55	-68.97
WC011	-71.82	-67.33	-72.03	-68.21	-71.01	-72.16	-68.60	-71.45	-66.62	-69.91
WC012	-71.88	-67.81	-72.90	-71.20	-74.57	-75.43	-67.33	-71.00	-68.97	-71.23
WC013	-69.19	-66.56	-73.14	-70.90	-72.03	-72.53	-68.40	-67.97	-66.42	-69.68

WC014	-71.35	-72.31	-73.44	-65.25	-72.33	-72.75	-72.40	-64.21	-71.80	-70.65
WC015	-73.27	-71.42	-77.04	-74.30	-73.90	-74.48	-68.48	-71.45	-68.43	-72.53
WC016	-72.30	-74.17	-75.44	-73.51	-74.17	-73.34	-72.33	-67.96	-70.65	-72.65
WC017	-73.28	-72.96	-72.20	-73.58	-74.25	-72.82	-69.75	-67.78	-71.76	-72.04
WC018	-73.17	-71.14	-74.37	-72.10	-71.83	-75.39	-68.17	-69.73	-69.04	-71.66
WC019	-70.59	-67.21	-72.30	-69.99	-70.43	-67.61	-71.08	-70.14	-69.16	-69.83
WC020	-72.77	-68.18	-73.88	-71.86	-71.18	-72.87	-71.42	-72.98	-70.04	-71.69
WC021	-69.09	-62.19	-70.32	-68.72	-64.85	-69.82	-66.09	-66.38	-61.58	-66.56
WC022	-69.61	-70.32	-71.10	-67.30	-66.01	-67.71	-67.71	-63.56	-64.65	-67.55
WC023	-65.38	-62.24	-69.13	-65.58	-63.42	-66.07	-59.46	-60.67	-61.16	-63.68
WC024	-65.66	-60.39	-72.48	-70.06	-68.09	-68.72	-69.34	-59.34	-59.93	-66.00
WC025	-70.47	-60.66	-68.46	-63.76	-61.90	-58.85	-62.81	-64.73	-63.69	-63.93
WC026	-62.04	-57.16	-64.38	-62.82	-63.73	-58.57	-58.24	-59.63	-56.39	-60.33
WC027	-64.67	-62.41	-68.50	-60.94	-65.34	-62.72	-58.46	-62.01	-58.06	-62.57
WC028	-73.71	-67.01	-71.58	-64.88	-64.46	-68.16	-64.92	-61.00	-68.04	-67.08
WC029	-66.27	-66.04	-74.66	-69.19	-70.34	-64.93	-67.81	-64.18	-62.23	-67.29
WC030	-72.27	-66.71	-72.20	-69.85	-68.36	-69.71	-71.47	-70.90	-69.53	-70.11

Fuente. Elaboración Propia.

### **3.5. Diagnóstico de la Cobertura ISDB-T actual**

#### **3.5.1. Cobertura de la Intensidad de Señal Recibida**

##### ***3.5.1.1. Procesamiento de las muestras***

Luego de la recolección de datos, se contabilizó y se determinó el nivel de recepción de la potencia recibida promedio para cada muestra, por lo tanto, en las Tablas 20 y 21, se distribuye por distritos, el nivel de recepción de todas las muestras para cada zona:

- Zona Urbana:

Tabla 20. Cobertura de la zona urbana en la provincia del Cusco

ZONA URBANA										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL MUESTRAS
DISTRITOS	CUSCO	6	10%	32	52%	10	16%	14	23%	62
	SAN JERONIMO	0	0%	8	31%	6	23%	12	46%	26
	SAN SEBASTIAN	2	3%	14	22%	19	30%	29	45%	64
	SANTIAGO	8	14%	23	40%	11	19%	16	28%	58
	SAYLLA	0	0%	0	0%	0	0%	4	100%	4
	WANCHAQ	1	3%	21	70%	8	27%	0	0%	30
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>17</b>	<b>7%</b>	<b>98</b>	<b>40%</b>	<b>54</b>	<b>22%</b>	<b>75</b>	<b>31%</b>	<b>244</b>

Fuente. Elaboración Propia.

- Zona Rural:

Tabla 21. Cobertura de la zona rural en la provincia del Cusco

ZONA RURAL										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL MUESTRAS
DISTRITOS	CUSCO	2	25%	2	25%	0	0%	4	50%	8
	CCORCA	0	0%	0	0%	0	0%	7	100%	7
	POROY	0	0%	0	0%	2	33%	4	67%	6
	SAN JERONIMO	0	0%	0	0%	0	0%	9	100%	9
	SAN SEBASTIAN	0	0%	2	13%	3	19%	11	69%	16
	SANTIAGO	0	0%	0	0%	1	14%	6	86%	7
	SAYLLA	0	0%	0	0%	0	0%	3	100%	3
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>2</b>	<b>4%</b>	<b>4</b>	<b>7%</b>	<b>6</b>	<b>11%</b>	<b>44</b>	<b>79%</b>	<b>56</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5.1.2. Cobertura ISDB-T de la Población

De acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas 21 y 22, se calculó la cantidad de población (total de viviendas que acceden a la televisión digital abierta) que tienen y no tienen cobertura. En las Tablas 22 y 23, se distribuye por distritos la cobertura de la población para cada zona, y en la 24, se distribuye por distritos la cobertura total de toda provincia del Cusco.

- Zona Urbana:

Tabla 22. Cobertura de la población en zona urbana de la provincia del Cusco

ZONA URBANA										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL POBLACIÓN
DISTRITOS	CUSCO	1563	10%	8334	52%	2605	16%	3646	23%	16148
	SAN JERONIMO	0	0%	2658	31%	1994	23%	3987	46%	8639
	SAN SEBASTIAN	592	3%	4141	22%	5620	30%	8578	45%	18930
	SANTIAGO	2222	14%	6388	40%	3055	19%	4444	28%	16110
	SAYLLA	0	0%	0	0%	0	0%	519	100%	519
	WANCHAQ	215	3%	4520	70%	1722	27%	0	0%	6457
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>4592</b>	<b>7%</b>	<b>26042</b>	<b>39%</b>	<b>14995</b>	<b>22%</b>	<b>21174</b>	<b>32%</b>	<b>66803</b>

Fuente. Elaboración Propia.

- Zona Rural:

Tabla 23. Cobertura de la población en zona rural de la provincia del Cusco

ZONA RURAL										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL POBLACIÓN
DISTRITOS	CUSCO	103	25%	103	25%	0	0%	206	50%	411
	CCORCA	0	0%	0	0%	0	0%	170	100%	170
	POROY	0	0%	0	0%	116	33%	233	67%	349
	SAN JERONIMO	0	0%	0	0%	0	0%	251	100%	251
	SAN SEBASTIAN	0	0%	29	13%	44	19%	160	69%	233
	SANTIAGO	0	0%	0	0%	30	14%	180	86%	210
	SAYLLA	0	0%	0	0%	0	0%	303	100%	303
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>103</b>	<b>5%</b>	<b>132</b>	<b>7%</b>	<b>190</b>	<b>10%</b>	<b>1502</b>	<b>78%</b>	<b>1927</b>

Fuente. Elaboración Propia.

- Toda la Provincia:

Tabla 24. Cobertura de toda la provincia del Cusco

ZONAS: URBANO Y RURAL										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL POBLACIÓN
DISTRITOS	CUSCO	1665	10%	8437	51%	2605	16%	3852	23%	16559
	CCORCA	0	0%	0	0%	0	0%	170	100%	170
	POROY	0	0%	0	0%	116	33%	233	67%	349
	SAN JERONIMO	0	0%	2658	30%	1994	22%	4238	48%	8890
	SAN SEBASTIAN	592	3%	4170	22%	5664	30%	8738	46%	19163
	SANTIAGO	2222	14%	6388	39%	3085	19%	4624	28%	16320
	SAYLLA	0	0%	0	0%	0	0%	822	100%	822
	WANCHAQ	215	3%	4520	70%	1722	27%	0	0%	6457
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>4694</b>	<b>7%</b>	<b>26174</b>	<b>38%</b>	<b>15185</b>	<b>22%</b>	<b>22677</b>	<b>33%</b>	<b>68730</b>

Fuente. Elaboración Propia.

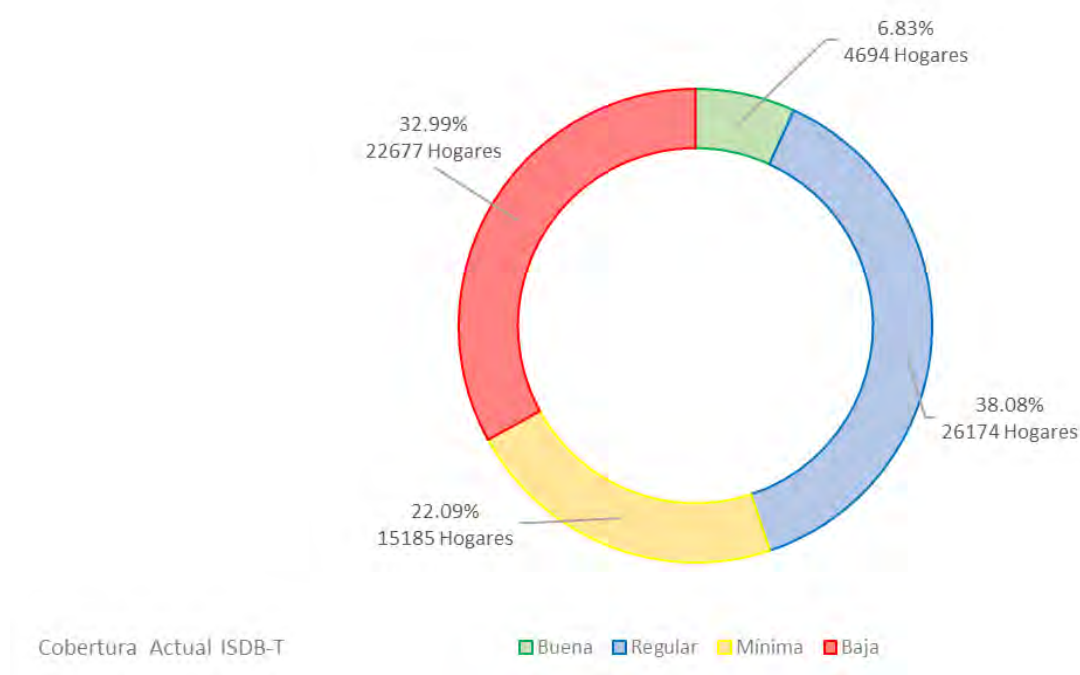


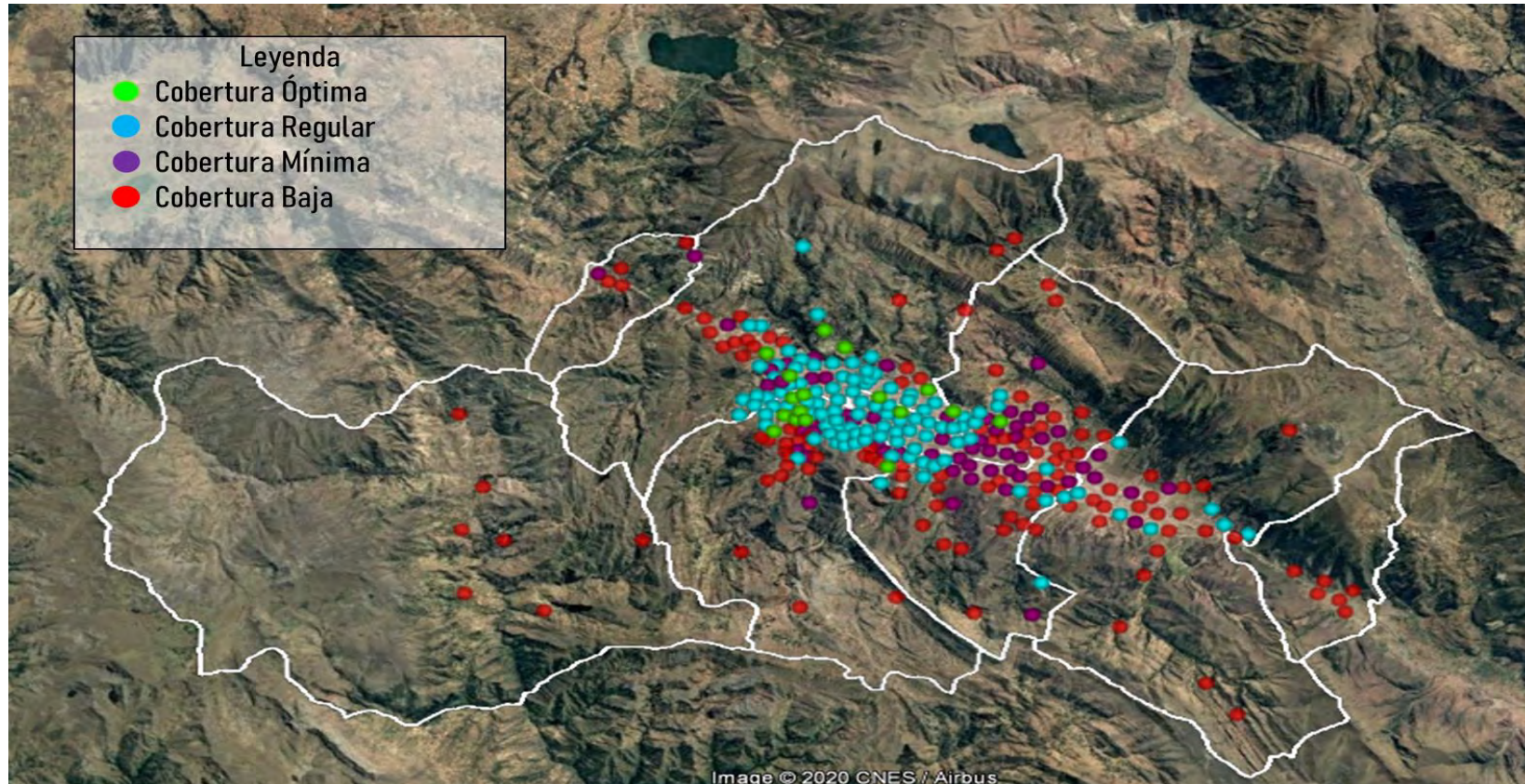
Figura 36. Cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco

Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 36, indica que el 33% de la población cusqueña que se conectan a la televisión por señal abierta tienen baja cobertura con una calidad de imagen borrosa o muy deficiente.

### 3.5.1.2.1. Mapa de Cobertura ISDB-T

Se utilizó la herramienta 'Google Earth' para ubicar geográficamente las muestras del estudio de cobertura con su respectivo nivel de cobertura según la medición de la intensidad de señal recibida.



*Figura 37. Mapa de cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco*  
*Fuente. Elaboración Propia.*



### 3.5.2. Zonas con Baja Cobertura

De acuerdo a la Figura 37, se determinó la ubicación de las zonas con baja recepción de señal con su respectivo factor que influye la baja cobertura ISDB-T, sin embargo, el distrito de Wanchaq no presenta zonas con baja cobertura. Por lo tanto, se distribuirá por distritos cada zona con baja cobertura:

Tabla 25. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito del Cusco

Nº	ZONA	Nº MUESTRAS	FACTORES DE BAJA RECEPCION
1	Huayracpunco	3	Interferencia geográfica de un cerro en la misma zona
2	Av. Antonio Lorena – Tica Tica	5	Interferencia geográfica de cerros detrás del cerro Picchu
3	Poblado detrás del Cerro Picchu	6	Interferencia geográfica de cerros detrás del cerro Picchu
4	Comunidades Campesinas: - C.C Huayllarcocha - C.C Yuncaypata - C.C Seqqueraccay - C.C Ccorimarca	4	Fuera del área de cobertura
TOTAL		18	

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 26. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Ccorca

Nº	ZONA	Nº MUESTRAS	FACTORES DE BAJA RECEPCION
1	Pueblo de Ccorca	1	Fuera del área de cobertura
2	Comunidades Campesinas: - C.C Ccorca Ayllu - C.C Huayllay - C.C Totora - C.C Corimarca - C.C Ccarhuis - C.C Tamborpuquio	6	Fuera del área de cobertura
TOTAL		7	

Fuente. Elaboración Propia.

**Tabla 27. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Poroy**

Nº	ZONA	Nº MUESTRAS	FACTORES DE BAJA RECEPCION
1	Pueblo de Poroy	2	Interferencia geográfica de cerros detrás del cerro Picchu
2	Comunidades Campesinas: - C.C Huampar - C.C Cruz Verde	2	Interferencia geográfica de cerros detrás del cerro Picchu y el cerro de Tica Tica Huaynacorcor
TOTAL		4	

Fuente. Elaboración Propia.

**Tabla 28. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de San Jerónimo**

Nº	ZONA	Nº MUESTRAS	FACTORES DE BAJA RECEPCION
1	Retamales – Aproveite, Miraflores, Los trionfadores	5	Interferencia de edificios
2	C.P San Jerónimo - Huayllapampa, Patapata, C.P Collanan	5	Interferencia de edificios
3	Susucalle – Via de Evitamiento, C.C Pillao Matao	5	Interferencia de edificios y cerros
4	C.P Kayrapampa	2	Interferencia geográfica del cerro en la misma zona
5	C.P Huaccoto	1	Fuera del área de cobertura
6	Comunidades Campesinas: - C.C Suncco - C.C Cconchacalla - C.C Ccachupata	3	Fuera del área de cobertura
TOTAL		21	

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 29. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de San Sebastián

Nº	ZONA	Nº MUESTRAS	FACTORES DE BAJA RECEPCION
1	Urb. San Sebastián – Av. Cusco, Asoc. Los Rosales	3	Interferencia de edificios
2	Confraternidad – Sumac Soncco, Unuchis, Nueva Esperanza, Ato Qosqo	5	Interferencia geografía de cerro del C.P Checarayocpampa e interferencia de edificios cerca a la Av. La Cultura
3	Acos. Sol de Oro, Urb. Cachimayo, Sachaca	4	Interferencia geográfica del cerro de Alto Qosqo
4	Urb. Santa Maria - Ticapata	4	Interferencia geográfica del cerro de Alto Qosqo
5	Urb. Tupac Amaru	2	Interferencia de edificios
6	Uvima 5	7	Interferencia geográfica de cerro en la misma zona e interferencia de edificios cerca Vía Evitamiento
7	Urb. Las Joyas, Suryhualla	2	Interferencia de edificios
8	Agua buena, Colegio la Salle	3	Interferencia geográfica de cerro de la Urb. Qosqo Runas
9	Wimpillay	3	Interferencia geográfica del cerro Muyu Urqu
10	Comunidades Campesinas: - C.C Pumacancha - C.C Ccorao - C.C Quillahuata - C.C Willkarpay	7	Fuera del área de cobertura
TOTAL		40	

Fuente. Elaboración Propia.

**Tabla 30. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Santiago**

<b>N°</b>	<b>ZONA</b>	<b>N° MUESTRAS</b>	<b>FACTORES DE BAJA RECEPCION</b>
1	Viva el Perú, Margen Derecha	4	Interferencia geográfica del cerro en Iro de enero e interferencia de edificios en la zona
2	Huancaro- Illariy Qosqo	5	Interferencia geográfica del cerro de Jaquira e interferencia de edificios en la zona
3	Av. Jose Luis de Orbegozo – Cementerio de Huancaro	3	Interferencia geográfica del cerro de la Asoc. San Pedro
4	Tinoc	3	Interferencia geográfica del cerro de la Asoc. San Pedro
5	Asoc. Las Américas, Villa Alto San Martín	2	Interferencia geográfica del cerro de Jaquira
6	Asoc. San Pedro	2	Interferencia geográfica del cerro de la Asoc. Alto Cusco
7	Comunidades Campesinas: - C.C Occopata - C.C Ccoyllorpuquio - C.C Ancaschaca	3	Fuera del área de cobertura
<b>TOTAL</b>		<b>22</b>	

*Fuente.* Elaboración Propia.

**Tabla 31. Zonas con baja cobertura ISDB-T del distrito de Saylla**

<b>N°</b>	<b>ZONA</b>	<b>N° MUESTRAS</b>	<b>FACTORES DE BAJA RECEPCION</b>
1	Pueblo de Saylla	4	Fuera del área de Cobertura
2	Angostura	1	Interferencia de edificios
3	Comunidades Campesinas: - C.C Ccatcca - C.C Condebamba	2	Interferencia geográfica del cerro de Angostura
<b>TOTAL</b>		<b>7</b>	

*Fuente.* Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED RADIO SOBRE FIBRA**

### **4.1. Introducción**

En este capítulo se desarrolla el diseño de red ISDB-T utilizando como propuesta tecnológica el sistema digital radio sobre fibra para mejorar la cobertura de la señal de televisión digital en la provincia del Cusco. Los sistemas de comunicación están constituidos de 3 partes importantes que son: emisor, canal y receptor; por lo tanto, para esta red propuesta el emisor será denominado como unidad central (CU), donde la señal RF será convertirá a señal óptica para ser transmitida a un punto de recepción mediante la fibra óptica. El canal será denominado como el enlace óptico que se encargará de distribuir la señal óptica transmitida desde la unidad central, utilizando multiplexores o divisores de señal a una determinada longitud de onda, logrando repartir la señal óptica a todos los receptores. El receptor será denominado como punto de acceso de radio (RAP), que se encargará de recibir la señal óptica transmitida desde la unidad central, convirtiendo la señal óptica a una señal RF, logrando recuperar la señal en radiofrecuencia que se desea reemitir hacia un poblado urbano o rural. En el capítulo anterior se determinaron las zonas con baja cobertura de TV digital mediante el estudio de cobertura, por lo que la red propuesta tiene el objetivo de mejorar la cobertura en dichas zonas y mejorar la calidad de servicio que pueden ofrecer las estaciones de televisión al transmitir su señal por televisión digital abierta.

### **4.2. Consideraciones de Diseño**

#### **4.2.1. Unidad Central**

La función principal de la unidad central es convertir la señal RF a una señal óptica mediante un convertidor eléctrico-óptico. Este dispositivo contiene un diodo laser que permite transformar la señal de radiofrecuencia a óptica; por lo tanto, para este estudio la señal de TV digital será distribuida mediante la fibra óptica con el fin de llegar a las zonas con baja cobertura. Cada señal de TV digital tendrá su propio convertidor E-O y luego todas las señales

ópticas serán multiplexadas para ser transmitidas hacia el receptor óptico por un solo cable de fibra. La unidad central se encargará de controlar la transmisión óptica de todas las señales de TV digital que serán distribuidas dentro de la red.

La Figura 38 muestra el diagrama de bloques de la unidad central:

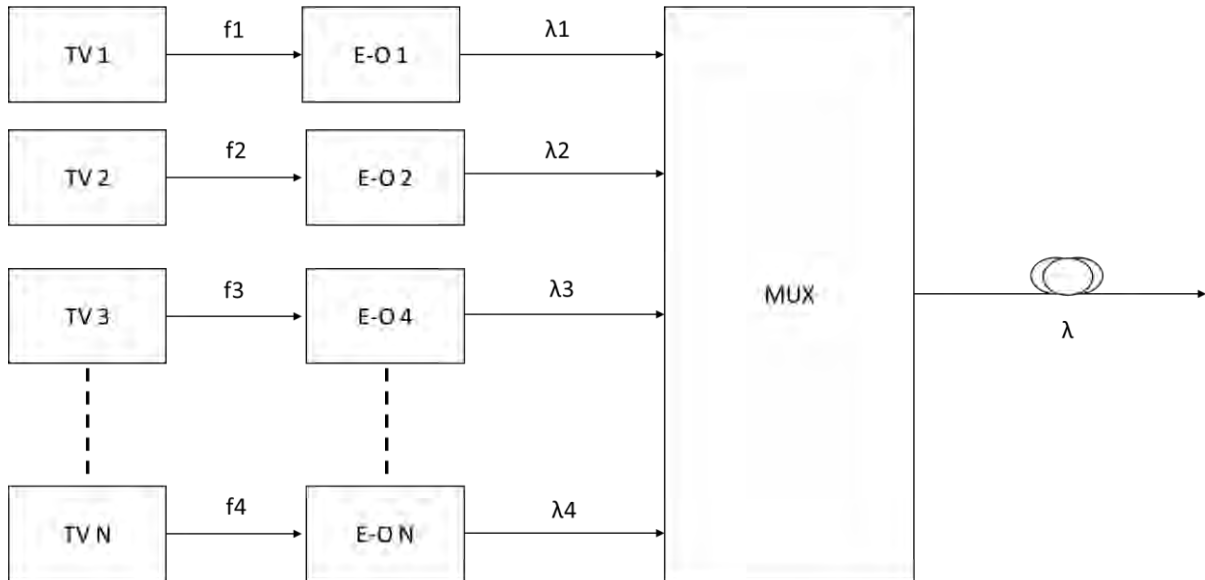
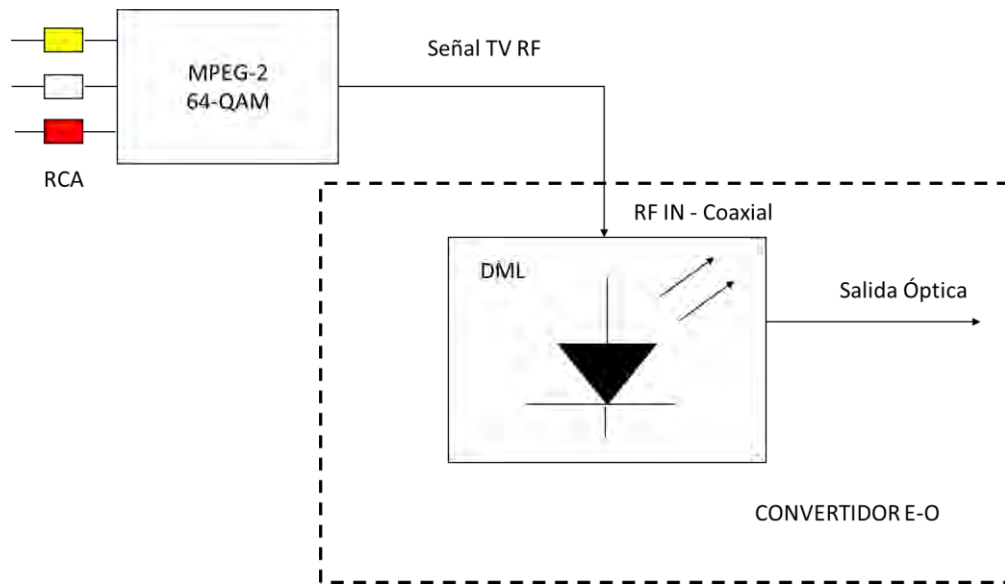


Figura 38. Diagrama de bloques de la Unidad Central  
Fuente. Elaboración Propia.

La señal de TV digital es convertida de su resolución y formato digital a una señal RF mediante un codificador MPEG-2, el cual utiliza una modulación 64-QAM siguiendo el estándar de ISDB-T para ser transmitida por señal abierta. Pero en este estudio la señal de TV en RF ingresara al transmisor óptico que tiene una entrada RF por cable coaxial, ingresando al modulador óptico. Dentro del emisor óptico, el diodo laser se transmite por la fuente óptica, llegando al modulador óptico, permitiendo la conversión electro-óptica de la señal RF.

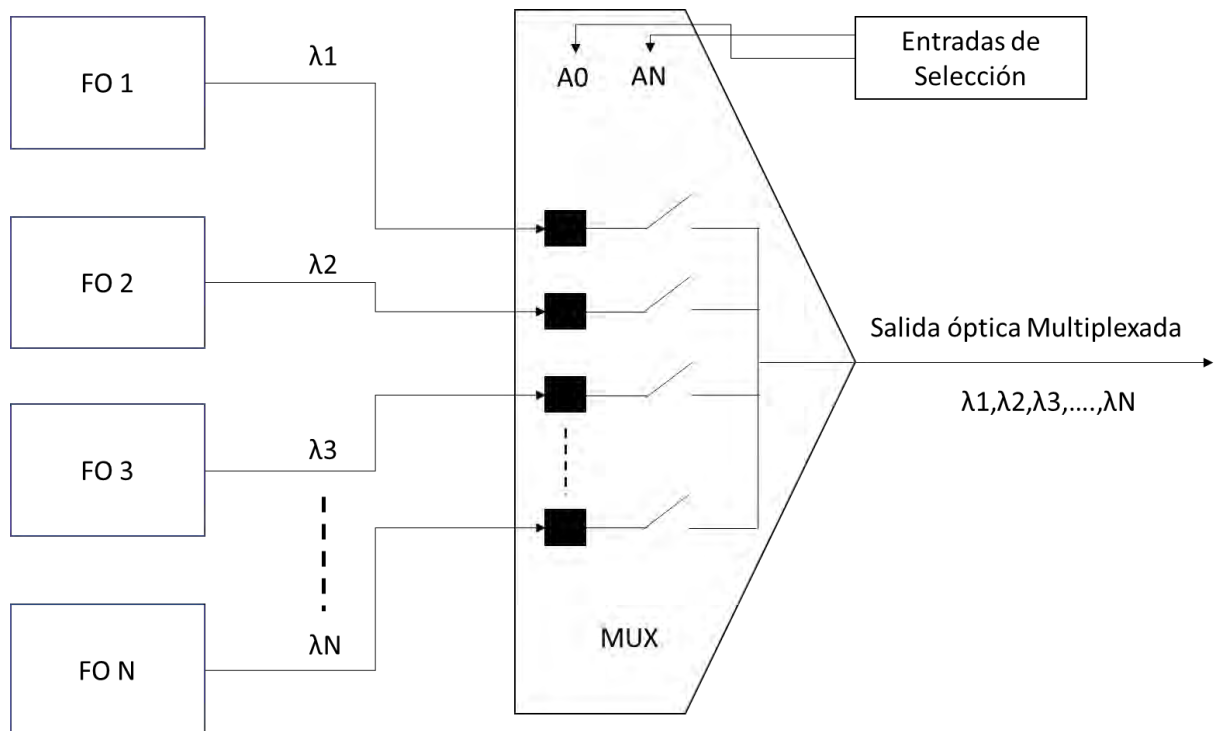
La Figura 39 muestra el diagrama de bloques de la conversión electro-óptica de la señal de TV digital:



*Figura 39. Conversión E-O en la Unidad Central*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

La multiplexación óptica tiene la capacidad de transmitir datos a una alta tasa de bits, dependiendo del dispositivo pueden transportar desde 10 Gbits/s a 25.6 Tbits/s [17]. Para este estudio, la multiplexación se encargará de transmitir todas las señales ópticas de TV digital de diferentes longitudes de onda mediante una sola vía de fibra óptica, lo cual permitirá la distribución de toda la información de manera eficiente hasta un nodo distribuidor de fibra óptica para luego llevar toda la información a todos los receptores.

La Figura 40 muestra el diagrama de bloques de la multiplexación óptica de las señales ópticas de TV digital:



**Figura 40. Multiplexación en la Unidad Central**  
 Fuente. Elaboración Propia.

#### **4.2.1.1. Selección de equipamiento para la Unidad Central**

##### **4.2.1.1.1. Transmisor Óptico WS-LT3000 WSEE**

Este emisor tiene la capacidad de convertir las señales analógicas y digitales de TV entre la banda de 47 a 860 MHz a señales ópticas, siendo compatible con los diferentes estándares de TDT, entre ellas ISDB-T. El tipo de conexión de fibra es de tipo monomodo (SMF) con el tipo de conector SC/APC o FC/APC. Sin embargo, solo puede convertir una señal de TV a una señal óptica y transmitirla hacia un receptor óptico [24].

La Figura 41 muestra el aspecto del transmisor óptico WS-LT3000:



**Figura 41. Transmisor óptico WS-LT3000**  
 Fuente. Wanshuo Electronic Equipament.



La Figura 42 muestra las especificaciones técnicas del transmisor óptico WS-LT3000 WSEE:

Technical Parameters	WS-LT3000-3***	WS-LT3000-5***
Output optical power	2~30mW	3~10dBm
Wavelength	1310nm±20	1550nm±15
Laser type	DFB laser	
Optical modulation	Direct light intensity modulation	
Optical connector form	FC/APC&SC/APC ( customize )	
Frequency Range	47~860MHz ( customize 1000MHz )	
RF input level	75~90dBuV ( Recommended best value 80dBuV )	
In-band flatness	±1dB	
AGC accuracy	0.5dB	
MGC adjustment range	0~15dB	
RF input impedance	75Ω	
Input reflection loss	≥16	
C/CTB	≥65	
C/CSO	≥60	
Carrier to noise ratio (C/N)	≥51	
Supply voltage	AC220V(160V ~ 265V) /AC110V ( 90 ~130V ) /DC48V ( 38 - 58V )	
Total power consumption	< 12W	
Operating temperature	-5°C~+45°C	
Relative humidity	95% max, no condensation	
Storage temperature	-30°C~+70°C	
Product net size	357(W)*482(L)*44(H)	
Single product packaging size	595(W)*490(L)*120(H)	
FCL package size (2 sets)	595(W)*490(L)*230(H)	

Figura 42. Especificaciones técnicas del transmisor óptico WS-LT3000

Fuente. Wanshuo Electronic Equipament.

#### 4.2.1.1.2. Multiplexor – Demultiplexor CWDM ROBOfiber

Para la unidad central, este dispositivo estará configurado como multiplexor, que tiene la capacidad de recibir 18 entradas de fibra óptica monomodo con conector tipo LC/PC, y una salida óptica con conector tipo LC/PC. Cada canal tiene una separación de 20 nm y el ancho de banda del dispositivo es 1260 – 1620 nm. Este dispositivo permitirá enviar las señales de TV digital convertidas a señales ópticas, por un solo cable de fibra [25].

La Figura 43 muestra el aspecto del Mux- Demux propuesto:



Figura 43. **Mux-Demux CWDM**  
Fuente. ROBOfiber.

La Figura 44 muestra las especificaciones técnicas del Mux – Demux propuesto:

Parameters		1:18 Mux/Demux
Center Wavelength (nm)		1271-1611
Passband (nm)		ITU=6,5
Operating Wavelength (nm)		1260~1620
Fiber Type		SMF-28e with 0.9mm Loose tube
IL (dB)		≤4.2
Isolation (dB)	Adjacent Channel	≥30
	Non-Adjacent Channel	≥50
Ripple (dB)		≤0.5
PDL (dB)		≤0.2
PMD (ps)		≤0.1
RL (dB)		≥45
Directivity (dB)		≥50
Maximum Optical Power (mw)		500
Fiber length(m)		1.0±0.05
Operating Temperature (°C)		-5~75
Storage Temperature (°C)		-40~85
Package Dimension (mm)		19" 1U Rack-Mount
Connector Type		LC/PC

Figura 44. **Especificaciones técnicas del Mux-Demux CWDM**  
Fuente. ROBOfiber.

#### 4.2.1.2. Conexión de los Dispositivos en la Unidad Central

Con el equipamiento seleccionado para el diseño de la red en la unidad central, la Figura 45, muestra la conexión entre los dispositivos propuestos. El tipo de fibra es monomodo con conector SC/APC en la modulación óptica y LC/PC en la multiplexación.

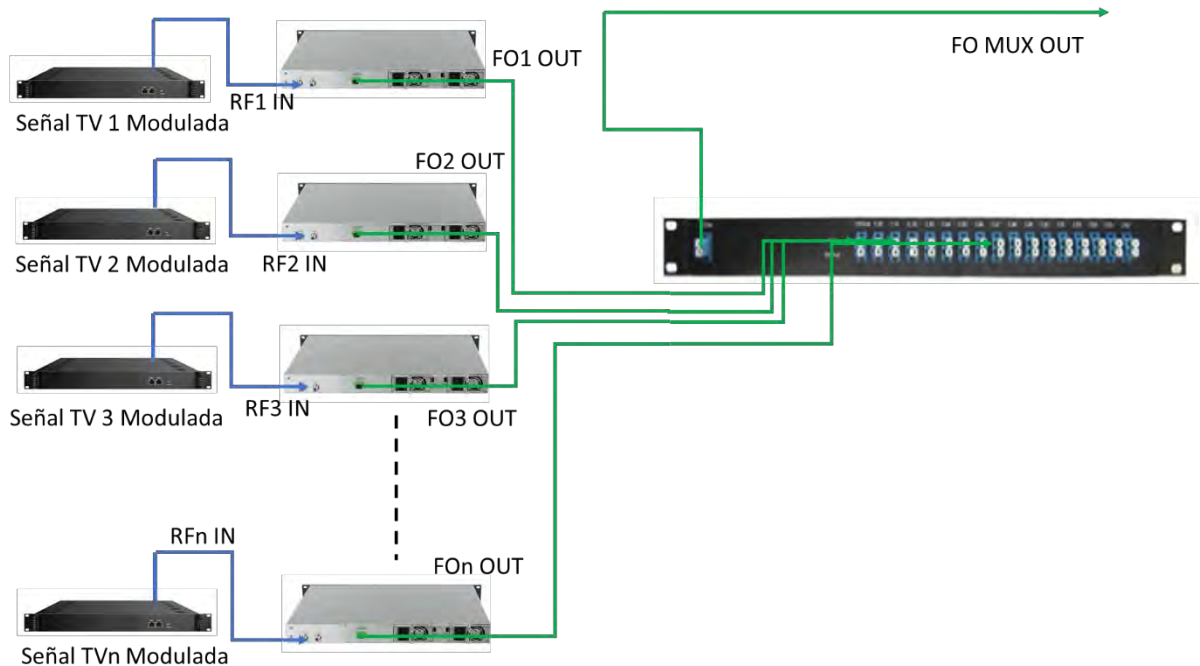
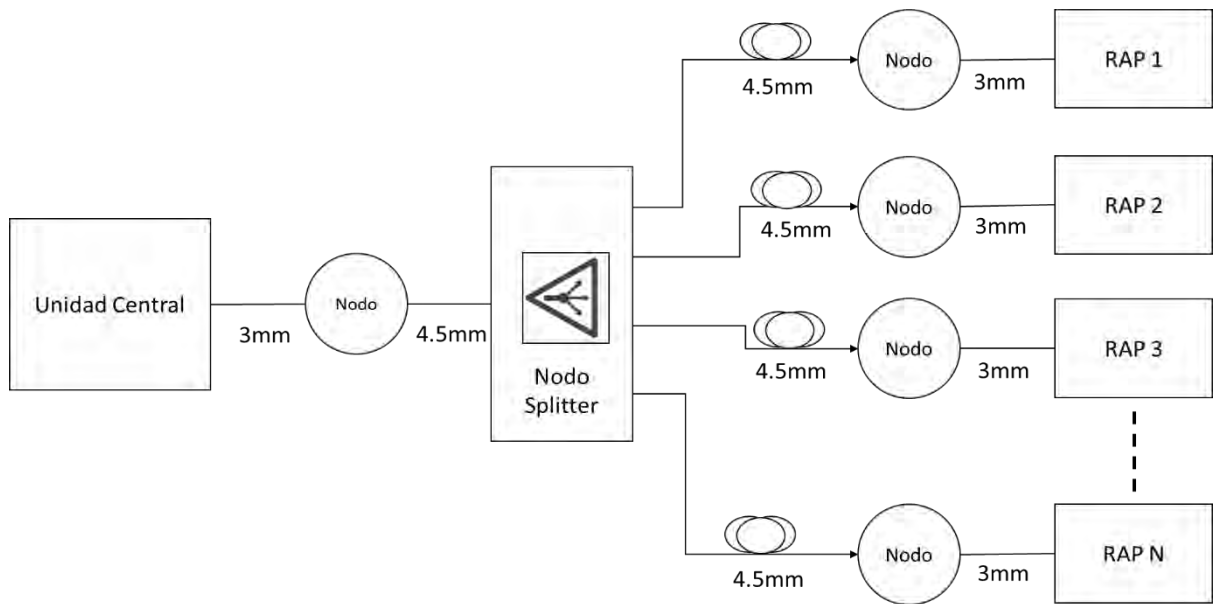


Figura 45. Conexión del equipamiento en la CU  
Fuente. Elaboración Propia.

#### 4.2.2. Distribución de la Fibra Óptica

Luego de la multiplexación de las señales ópticas de TV digital, la vía de fibra debe ser enviada hacia los receptores o puntos de acceso de radio, por lo tanto, para la distribución se requiere el uso de nodos de distribución que sirven para repartir la fibra óptica mediante un cable acometida exterior que sea compatible con el tipo de fibra que se está utilizando en este estudio. Este cable llegará a otro nodo de distribución, donde estará implementado un divisor o splitter de fibra óptica, con el fin de repartir la señal óptica hacia todos los receptores.

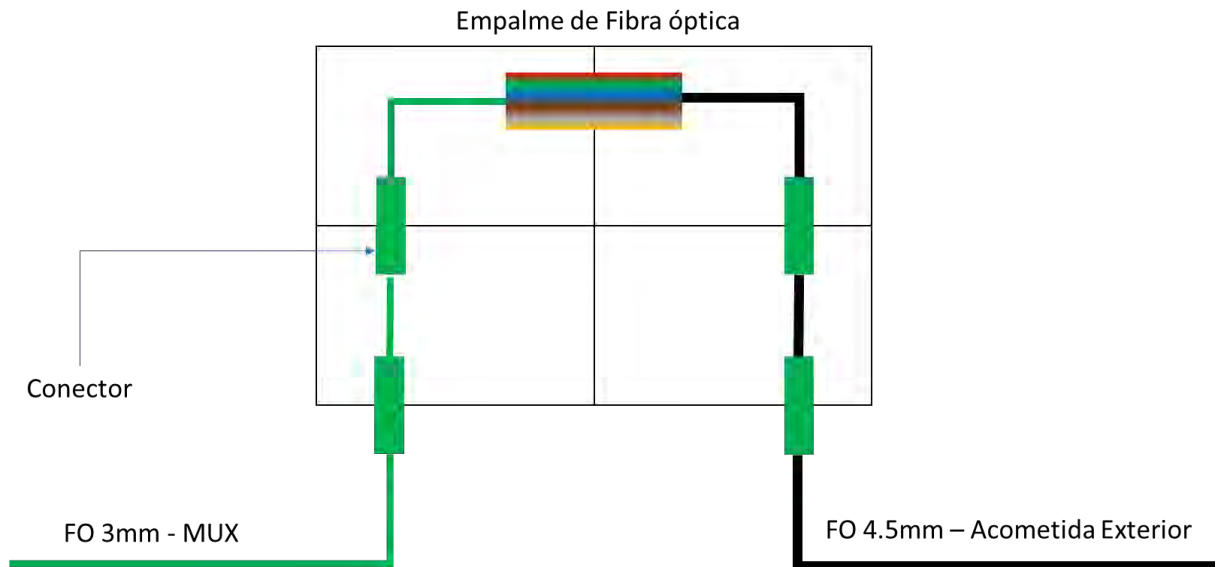
La Figura 46 muestra del diagrama de bloque de la distribución de la fibra óptica para este diseño:



*Figura 46. Distribución de la fibra óptica*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

Como se observa en la figura, el cable de fibra que sale del multiplexor es de 3 mm, por lo tanto, para distribuir la señal a exterior, los hilos de fibra del cable serán fusionados con los hilos de fibra del cable acometida de exterior, que tiene un grosor de 4.5mm con conector de tipo SC/APC; la fusión se logra utilizando una empalmadora de fibra óptica. De igual manera, se realiza el proceso inverso en los nodos de los receptores, para conectar a los demultiplexores ópticos. Este nodo de distribución estará implementado dentro de la unidad central, por lo que el cable acometida de exterior será tensada desde la oficina hasta el siguiente nodo de distribución.

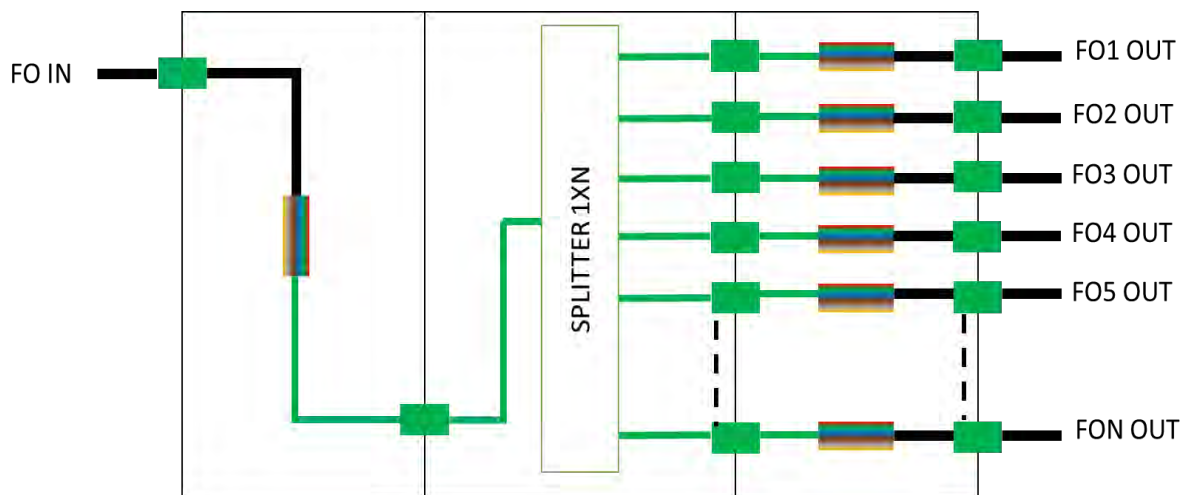
La Figura 47 muestra el interior del nodo de distribución de la unidad central:



**Figura 47. Interior del nodo de distribución para la CU**  
 Fuente. Elaboración Propia.

Luego de este procedimiento, el cable acometida exterior de 4.5 mm llegara hasta el nodo divisor de fibra óptica, donde será adaptada nuevamente al cable de 3 mm para que ingrese al splitter que tiene entrada y salidas 1xN cables de fibra de 3 mm o 2 mm (depende del dispositivo), al dividir la señal óptica, todas las salidas serán adaptadas a cables acometidas exteriores de 4.5 mm para la distribución hacia los receptores.

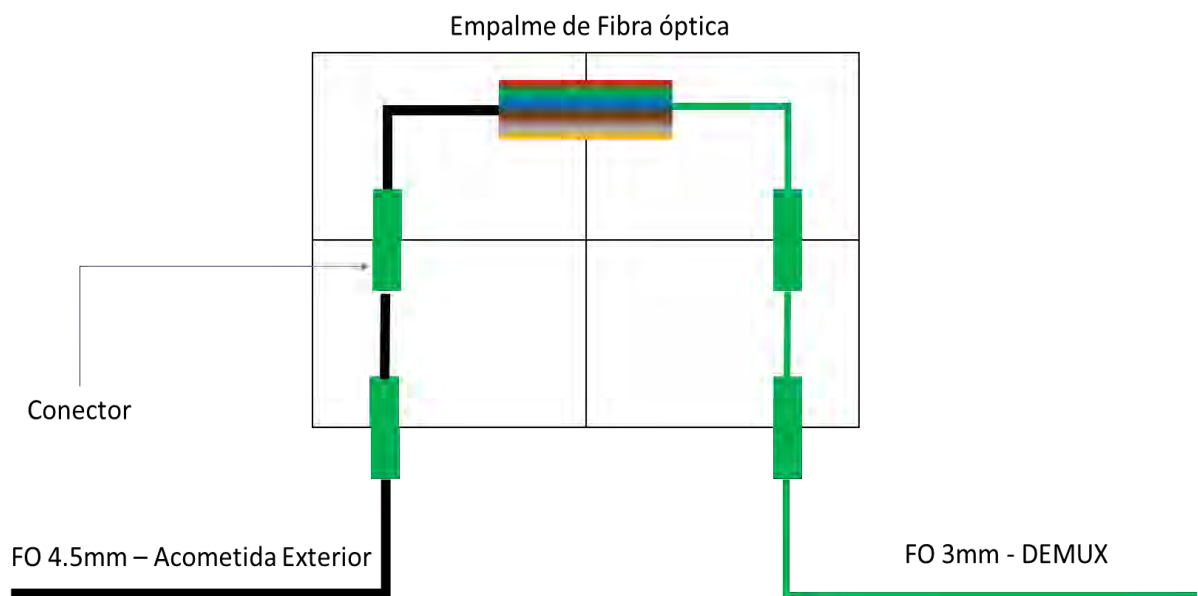
La Figura 48 muestra el interior del nodo divisor de distribución:



**Figura 48. Nodo de distribución para el splitter**  
 Fuente. Elaboración Propia

Después, al dividir y repartir la fibra óptica por N número de cables acometidas de exterior, cada cable tiene como destino llegar a su respectivo receptor, para lograrlo, este tipo de cable será adaptado al tipo de cable de fibra de 3 mm o 2 mm dentro de un nodo de distribución, que permitirá la compatibilidad de conexión a los dispositivos implementados dentro del punto de acceso de radio.

La Figura 49 muestra el interior del nodo de distribución implementado en el punto de acceso de radio:



*Figura 49. Interior del nodo de distribución para el receptor*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

De esta manera, este estudio plantea distribuir la fibra óptica utilizando este tipo de fibra que es compatible con la tecnología propuesta, desde la unidad central hasta los puntos de acceso de radio, la fibra óptica ofrece menor pérdida de trayecto y una alta velocidad de datos con un ancho de banda bastante extenso logrando el transporte de la información a largas distancias.

#### ***4.2.2.1. Selección de Equipamiento para la Distribución de Fibra Óptica***

##### ***4.2.2.1.1. Cable Acometida Exterior 4.5 mm G657A2***

Para la distribución exterior de fibra se utilizará este tipo de cable que sus características son las siguientes:

- Número de Fibras: 1 fibra.
- Tipo: G657A2.
- Fibras ajustadas mm: 0.9.
- Tipo de Conector: SC/APC.
- Cubierta Exterior: LSZH color negro.
- Cubierta Interior: LSZH color marfil
- Peso Kg/km: 9.
- Diámetro Exterior (mm): 4.5.
- Dispersión cromática: 18 ps/nmKm
- Atenuación de la fibra: 0.21 dB/Km

La Figura 50 muestra el aspecto del cable de fibra acometida exterior de 4.5 mm



**Figura 50. Cable acometida exterior de 4.5 mm**  
*Fuente. ASELCOM.*

#### 4.2.2.1.2. Divisor de Fibra Óptica OMC

Este dispositivo tiene la capacidad de dividir la fibra óptica para 2 a 128 canales [26] cuyas características son las siguientes:

- Conector opcional: SC/LC/FC/ST, cara opcional del extremo: APC/UPC.
- TU G.657A1 para la entrada-salida de la fibra.
- Diseño compacto, conveniente para la instalación en equipos ópticos.
- Alta confiabilidad y estabilidad.
- Ancho de banda de funcionamiento: 1260 - 1650nm.
- Temperatura de funcionamiento amplia: -40 - 85°C, usos del estándar industrial de la ayuda.

La Figura 51 muestra el aspecto del dispositivo divisor de fibra óptica:



*Figura 51. Splitter de fibra óptica*  
*Fuente. OMC-FTTH.*



La Figura 52 muestra las especificaciones técnicas del divisor de fibra óptica:

Parámetro	Unidad	Especificación (grado de P)										
Longitud de onda de la operación	nanómetro	1260~1650										
Número de canal		1X2	1x3	1X4	1x6	1X8	1x12	1X16	1x24	1X32	1X64	1x128
Pérdida de inserción (máxima)	DB	4,3	6,2	7,2	9,8	10,5	12,5	13,6	16,5	17,2	21,0	25,5
Uniformidad (máximo)	DB	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,4	1,5	1,6	2,0	2,5
Pérdida del dependiente de la polarización	DB	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,8
Pérdida de vuelta	DB	≥55										
Directividad	DB	≥55										
Divisor	1X2	1X4		1X8		1X16		1X32		1X64		
Tamaño del casete	100×80×10	100×80×10		100×80×10		120x80x18		120x80x18		140×114×18		
Divisor	2X2	2X4		2X8		2X16		2X32		2X64		
Tamaño del casete	100×80×10	100×80×10		100×80×10		120x80x18		120x80x18		140×114×18		
Tipo de la fibra	G657A1											
Tubo flojo	900um, 1.6m m, 1.8m m, 2.0m m											
Conector	SC, LC, FC, ST, .....											
divisor 2xN	Solamente solo microprocesador											

Figura 52. Especificaciones técnicas del splitter de fibra óptica  
Fuente. OMC-FTTH.

#### 4.2.2.1.3. Cajas de Distribución de Fibra Óptica

Las cajas de fibra óptica son soportes metálicos encargados de proteger los empalmes de diferentes tipos de fibra para su distribución hacia otro punto. Para este estudio, los nodos de distribución estarán constituidos de adaptaciones de cable tipo 2 mm o 3 mm a cables acometidas de exterior con conectores SC/APC y también el divisor de fibra óptica.

La Figura 53 muestra un ejemplo de una caja de empalme de fibra óptica donde se podría adaptar los cables con conector tipo SC/APC:



**Figura 53. Caja de empalme para fibra óptica**  
*Fuente.* Telecable.

La Figura 54 muestra un ejemplo de una caja de distribución más amplia que permite implementar el divisor de fibra óptica:



**Figura 54. Caja de distribución para el Splitter de fibra óptica**  
*Fuente.* Mercado Libre.

#### 4.2.2.2. Conexión de los Dispositivos en la Distribución de Fibra Óptica

Con el equipamiento seleccionado para la distribución de fibra óptica, la siguiente figura muestra la conexión entre los dispositivos utilizando el cable acometida de exterior de 4.5 mm propuesto:

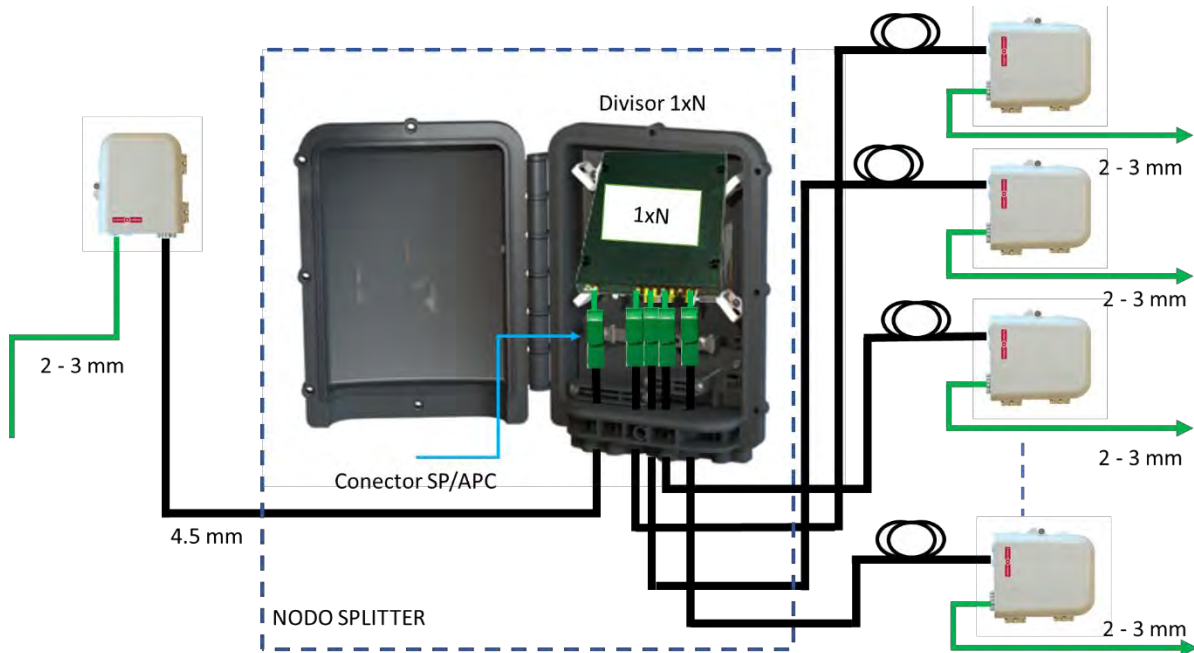
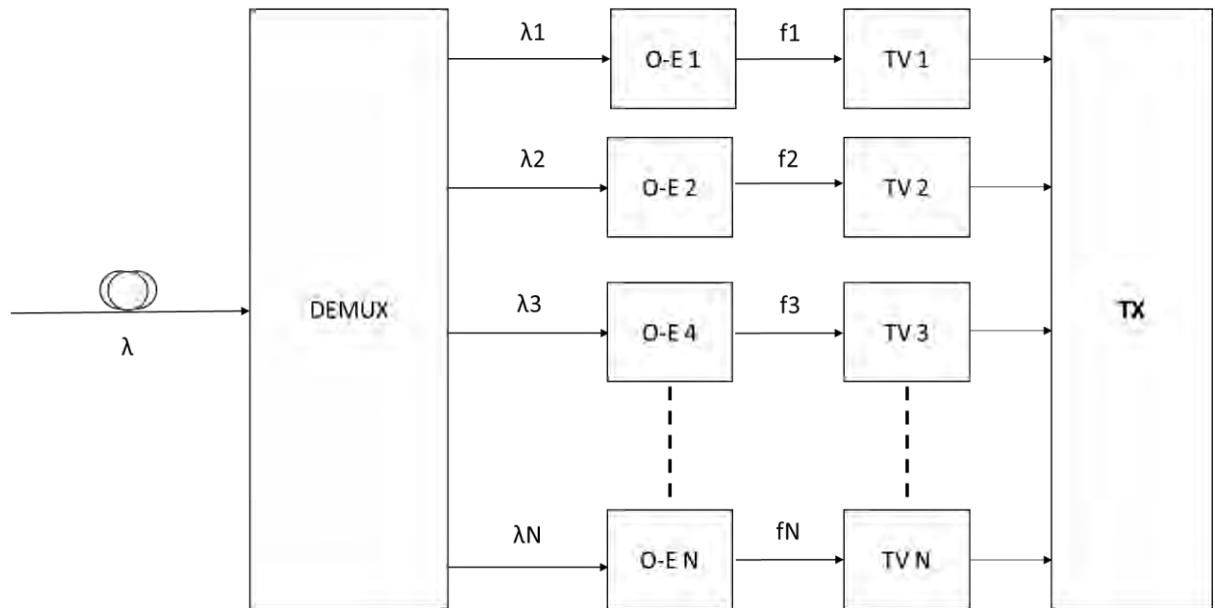


Figura 55. Conexión para la distribución de fibra óptica  
Fuente. Elaboración Propia.

#### 4.2.3. Punto de Acceso de Radio (RAP)

La principal función del RAP es recuperar la señal RF transmitida por el enlace óptico, la señal recuperada pasa por una etapa de filtración y amplificación para ser nuevamente transmitida por señal abierta mediante una antena transmisora. Para que la señal RF sea recuperada, la señal óptica que viene de la unidad central, es recibida por un receptor óptico que convierte la señal óptica a señal radioeléctrica. En este estudio como se transmitirá por el enlace óptico más de una señal RF mediante un multiplexor, el RAP estará constituido por un demultiplexor que separará las señales ópticas convertidas en la unidad central, y cada señal óptica tendrá su propio receptor óptico que se encargará de la conversión O-E, las señales RF ingresarán al transmisor RF y finalmente transmitidas por señal abierta con el fin de cubrir un área de cobertura.

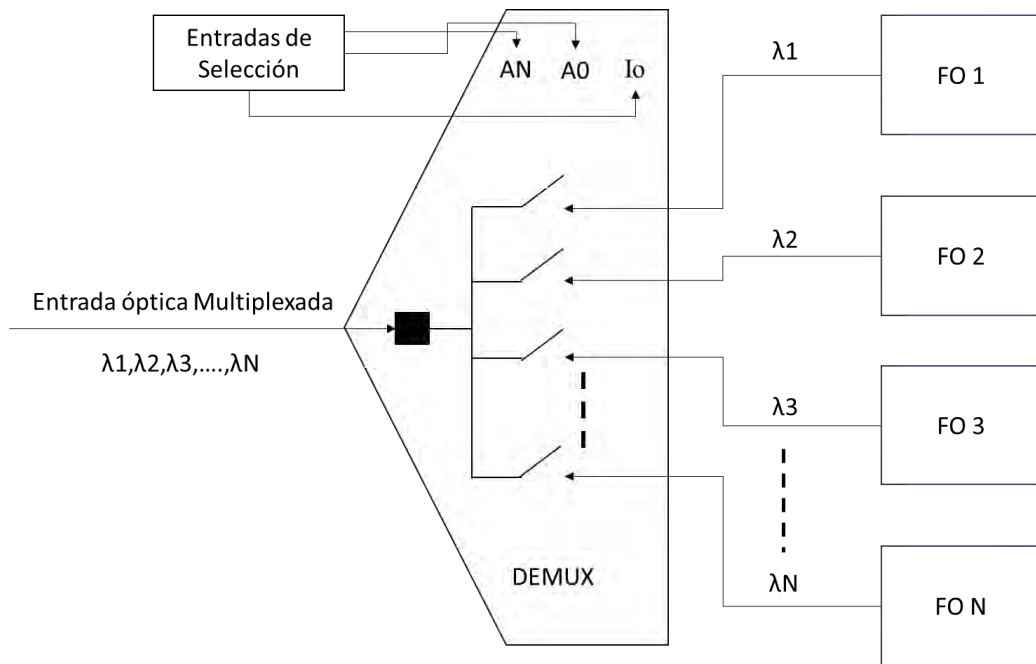
La Figura 56 muestra el diagrama de bloques del punto de acceso de radio:



*Figura 56. Diagrama de bloques en el RAP*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

La demultiplexación óptica tiene la capacidad de repartir una señal de entrada a N número de salidas en diferentes longitudes de onda. En este estudio la señal multiplexada que viene desde la Unidad Central, va ser demultiplexada, recuperando las señales ópticas independientes para la conversión óptico-eléctrico de cada una de ellas.

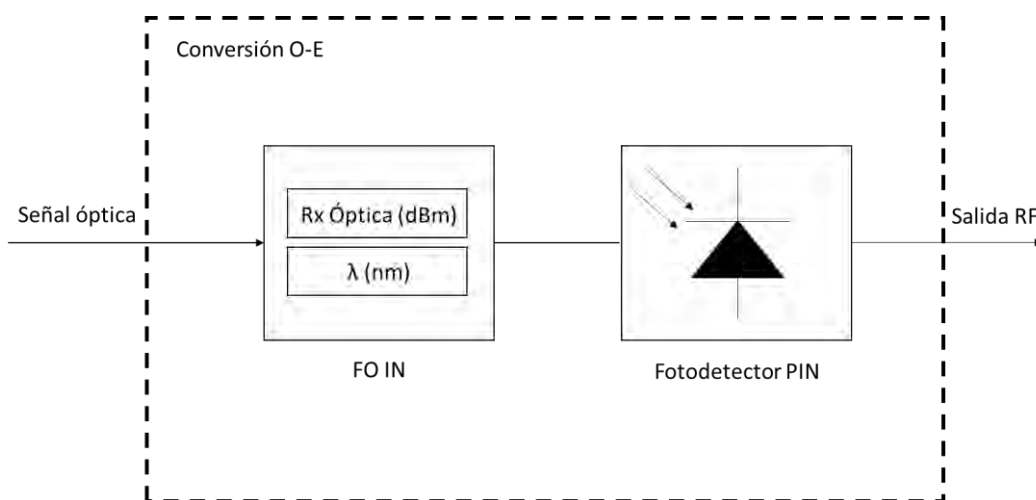
La Figura 57 muestra el diagrama interno del demultiplexor en el punto de acceso de radio:



**Figura 57. Demultiplexacion en el receptor**  
*Fuente. Elaboración Propia.*

Las señales ópticas recuperadas ingresarán a un receptor óptico, que en su interior hay un fotodetector PIN o APD que permite la conversión óptica – eléctrica de la señal, logrando recuperar la señal radioeléctrica que fue enviada desde la unidad central, completando así el enlace óptico del sistema.

La Figura 58 muestra el diagrama de bloques de la conversión óptica-eléctrica en el punto de acceso de radio:



**Figura 58. Conversión O-E en el receptor**  
*Fuente. Elaboración Propia.*

Finalmente, la señal de TV en RF recuperada por el receptor óptico, será transmitida por señal abierta mediante una antena transmisora, previamente la señal debe ser filtrada y amplificada, utilizando un transmisor compatible para ISDB-T. Como se enviarán varias señales de TV digital, el transmisor debe tener un multiplexor RF que permita transmitir N número de canales de TV digital, con sus respectivas frecuencias establecidas por la normativa de la Televisión Digital Terrestre, y determinando la potencia de salida y la altura de la antena necesaria para cubrir el área de cobertura deseada.

De esta manera se logra la distribución de señales en radiofrecuencia mediante la fibra óptica, ampliando la cobertura de la señal en zonas que actualmente tienen una baja intensidad de señal.

La Figura 59 muestra el diagrama de bloques de la transmisión para señal abierta del punto de acceso de radio:

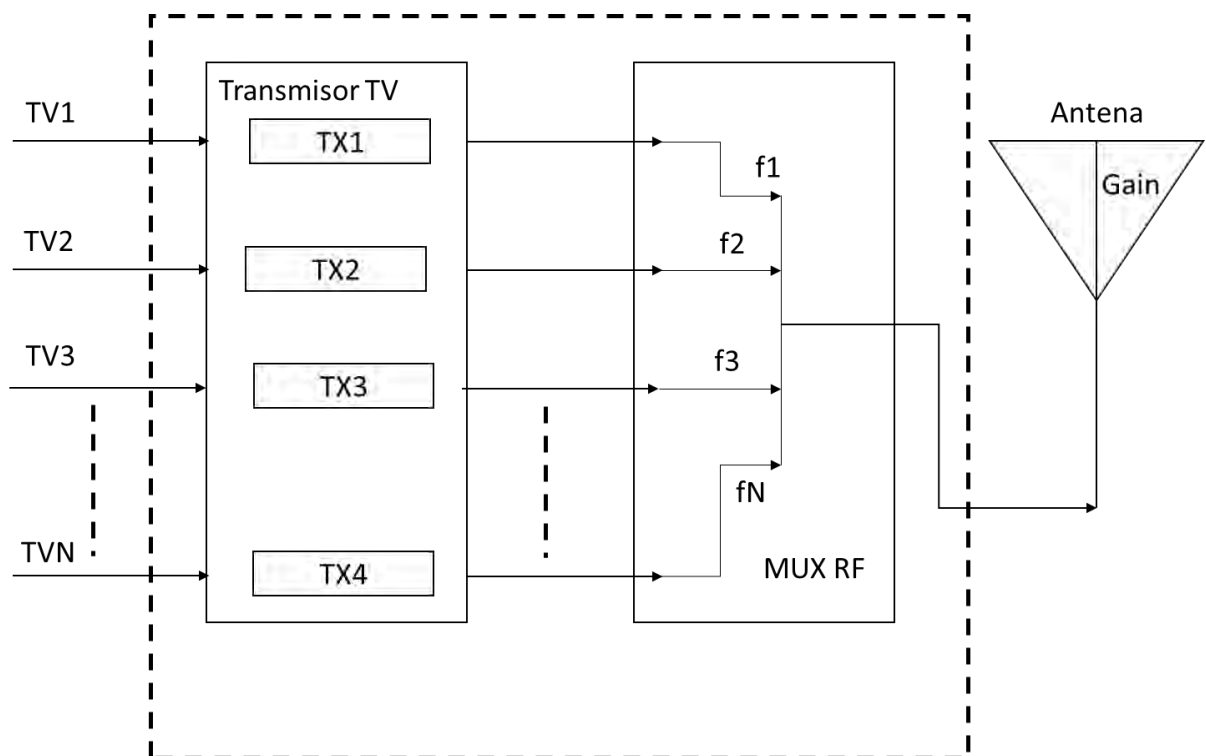


Figura 59. Diagrama de bloques para la reemisión TV  
Fuente. Elaboración Propia.

### **4.2.3.1. Selección de Equipamiento para el RAP**

#### **4.2.3.1.1. Receptor Óptico FRD-400 IKUSI**

Este receptor diseñado por la empresa Ikusi, tiene la capacidad de convertir las señales ópticas a señales de radiofrecuencia, más enfocado a señales de TV analógico o digital [27].

Sus características son las siguientes:

- 1 entrada óptica 1290-1600 nm.
- 1 salida RF 45-2150 MHz.
- Conexión de fibra óptica tipo monomodo.
- Alimentación red alterna 50/60 Hz.

La Figura 60 muestra el aspecto del receptor óptico FRD-400 IKUSI:



**Figura 60. Receptor óptico FRD-400**  
Fuente. IKUSI.

La Figura 61 muestra las especificaciones técnicas del receptor FRD-400 IKUSI:

Modelo		FRD-400
REF.		4914
Potencia óptica de entrada	dBm	-12 ... +1 <sup>a</sup>
Bandas de frecuencias salida RF vía directa	MHz	45 – 862 (TV) y 950 – 2150 (FI)
Sección óptica		
Longitud de onda	nm	1290 – 1600
Pérdidas de retorno entrada óptica	dB/ Hz	> 50
Conector de entrada óptica		SC/APC 8°
Sección RF		
Ondulación en banda	dB	±1,5 (TV), ±2 (FI)
Nivel de salida del receptor para 20 canales digitales. Para 76 dB $\mu$ V entrada al transmisor y -12 dBm de entrada al receptor	dB $\mu$ V	104
Nivel de salida del receptor para 20 canales analógicos. Para 72 dB $\mu$ V entrada al transmisor y -4 dBm de entrada al receptor	dB $\mu$ V	100
CNR *	TV analógico ( $\Delta B = 5$ MHz)	> 52
	FI ( $\Delta B = 36$ MHz)	> 36
CTB *	dB	> 60
CSO *	dB	> 60
Atenuador variable TV	dB	0 – 15
Ajuste de pendiente TV	dB	0 – 15
Atenuador variable FI	dB	0 – 15
Ajuste de pendiente FI	dB	0 – 10
Pérdidas de retorno de salida	dB	>12 (TV), 10 (FI)
Test de salida	dB	-30
Tipo conectores salida y test		F
Tensión de red	V <sub>AC</sub>	230 – 240
Consumo	W	15
Dimensiones	mm	222 x 140 x 44

Figura 61. Especificaciones Técnicas del receptor óptico FRD-400  
Fuente. IKUSI.



#### 4.2.3.1.2. Multiplexor – Demultiplexor CWDM ROBOfiber

Para el punto de acceso de radio, este dispositivo estará configurado como demultiplexor, que tiene la capacidad de recibir 18 entradas de fibra óptica monomodo de 3mm con conector tipo LC/PC, y una salida óptica con conector tipo LC/PC. Cada canal tiene una separación de 20 nm y el ancho de banda del dispositivo es 1260 – 1620 nm. Este dispositivo permitirá enviar las señales de TV digital convertidas a señales ópticas, por un solo cable de fibra [25].

La Figura 62 muestra el aspecto del Mux- Demux propuesto:



*Figura 62. Mux-Demux CWDM*  
*Fuente. ROBOFiber.*

La Figura 63 muestra las especificaciones técnicas del Mux – Demux propuesto:

Parameters		1:18 Mux/Demux
Center Wavelength (nm)		1271-1611
Passband (nm)		ITU=6,5
Operating Wavelength (nm)		1260~1620
Fiber Type		SMF-28e with 0.9mm Loose tube
IL (dB)		≤4.2
Isolation (dB)	Adjacent Channel	≥30
	Non-Adjacent Channel	≥50
Ripple (dB)		≤0.5
PDL (dB)		≤0.2
PMD (ps)		≤0.1
RL (dB)		≥45
Directivity (dB)		≥50
Maximum Optical Power (mw)		500
Fiber length(m)		1.0±0.05
Operating Temperature (°C)		-5~75
Storage Temperature (°C)		-40~85
Package Dimension (mm)		19" 1U Rack-Mount
Connector Type		LC/PC

Figura 63. Especificaciones técnicas del Mux-Demux CWDM  
Fuente. ROBOFiber.

#### 4.2.3.1.3. Repetidor de TV Multitastic

Este dispositivo también denominado Gap-Filler tiene la capacidad de reemitir 8 señales de TV digital para los estándares DVB-T, ISDB-T, ATSC y analógico, con una potencia de salida máxima de 15 Watts por canal [28]. Para este estudio se pretende mejorar la cobertura en determinadas zonas y los RAPs estarán implementados cerca de dichas zonas, por lo tanto, la potencia de salida que ofrece este dispositivo es más que suficiente para una buena recepción de TV digital.

La Figura 64 muestra el aspecto del repetidor de TV propuesto:



Figura 64. Repetidor de TV Multitastic

Fuente. Multitastic.

Las Figuras 65 y 66 muestra las especificaciones técnicas del repetidor de TV propuesto:

### CONFIGURACIÓN

---

<b>Número máximo módulos transmisores:</b>	8, extraíbles "en caliente"
<b>Protección:</b>	N+1, N+2, N+1+M+1

### TRANSMISORES

---

<b>Potencia de salida:</b>	15 W rms por canal (hasta 7 canales) @ MER > 36 dB (versión C1) 100 W rms total en amplificación común (versión C2)
<b>Rango de frecuencia ágil:</b>	UHF Banda IV y V o VHF Banda III
<b>Resolución de frecuencia:</b>	1 Hz
<b>Pre-corrección:</b>	Adaptiva
<b>Conector salida RF:</b>	N (h), 50 Ohm
<b>Amplificador RF:</b>	Redundante y enchufable en caliente en versiones C2

Figura 65. Especificaciones técnicas del repetidor de TV Multitastic

Fuente. Multitastic.

## RE-EMISOR/GAP FILLER

### Entrada RF

Tipo de señal:	Un canal DTV (DVB-T/H/T2, ISDB-T/Tb, ATSC)
Rango de frecuencia:	170 ÷ 862 MHz (Sintonía ágil)
Sensibilidad:	-75 ÷ -15 dBm
Selectividad (PI = -40dBm):	> 60 dB ± 4.2 MHz
NF (PI=-50 dBm):	< 6 dB
Conversión de frecuencia:	Conversión directa (Zero IF)
Pérdidas de retorno:	> 15 dB
Conector:	N (h), 50 Ohm

### Cancelador de ecos

Nivel de cancelación:	40 dB, típico
Ventana de cancelación:	20 µs
Ventana de cancelación selectiva:	1.6 µs (time shift 2 hasta 820 µs)
Cancelación de Doppler:	Si
Relación eco/señal máxima:	+15 dB (rel. señal princ.) típico
Retardo total:	< 10 µs

Figura 66. Características del Gap-Filler

Fuente. Multitastic.

#### 4.2.3.1.4. Antena Omni AT15-801 RYMSA

Esta antena transmisora tiene la capacidad de emitir señales de televisión analógica y digital dentro de la banda UHF, con una polaridad Omnidireccional y con una máxima potencia de 2 KW, suficiente para cubrir el área de cobertura deseada en este estudio [29]. La siguiente imagen muestra el aspecto de la Antena AT15-081 RYMSA.



Figura 67. Antena omni AT15-081

Fuente. RYMSA.

La Figura 68 muestra las especificaciones técnicas de la antena propuesta:

### Electrical Specifications

	AT15-801	AT15-802	AT15-804
Frequency range	470-800 MHz		
VSWR	≤ 1.1:1		
Impedance	50 Ohm		
Polarization	Horizontal		
Peak gain (ref. λ/2 dipole)	1 Bay 5 dBd	2 Bays 8 dBd	4 Bays 11 dBd
3 dB vertical beam width (mid-band)	25°	11°	5.5°
Maximum power handling RMS	2 kW	2 kW / 5 kW	5 kW / 10 kW
Connector type <sup>(1)</sup>	EIA 7/8" male	EIA 7/8" male / EIA 1 5/8" male	EIA 1 5/8" male / EIA 3 1/8" male
Pressurization	Not pressurized		

### Mechanical & Environmental Specifications

Materials	Batwings	Aluminium		
	Connectors	Aluminium and brass		
	Isolators	PTFE		
	Radome	Fiberglass		
Radome dimensions (Ø X H)	323 x 1200 mm	323 x 2300 mm	323 x 4600 mm	
Weight	27 kg	53 kg	116 kg	
Wind Load @ 160 Km/h	323 N	726 N	1228 N	
Maximum wind speed	220 km/h			
Grounding	DC grounded			
Temperature range	-40°C to +60°C			
Humidity	100%			

Figura 68. Especificaciones técnicas de la Antena omni AT15-081  
Fuente. RYMSA.

El patrón de radiación de la antena propuesta se muestra en la Figura 69, precisamente el primer patrón que trabaja en 470 MHz – 665 MHz.

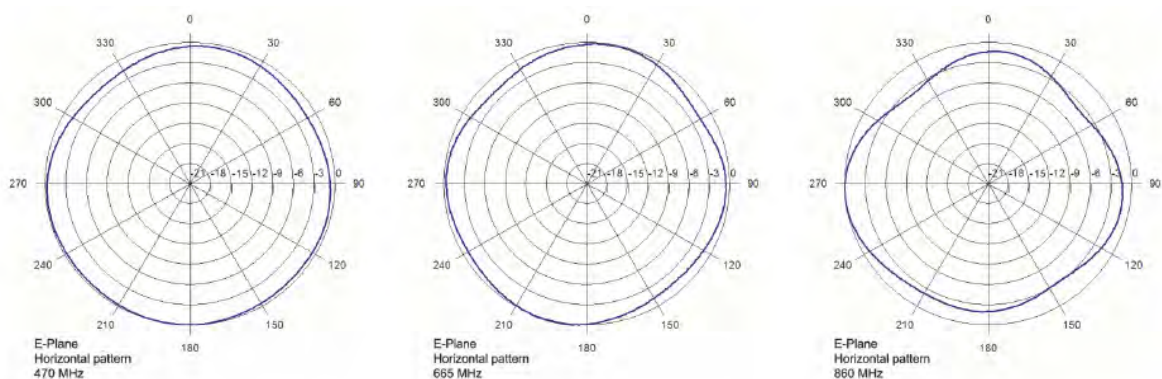


Figura 69. Patrón de radiación de la Antena omni AT15-081  
Fuente. RYMSA.

#### 4.2.3.1.5. Multiplexor RF 858510 TRedess

Este dispositivo se encargará de enviar 4 señales de TV por una sola vía en RF hacia la antena omni propuesta. Puede recibir señales desde los 470 a 862 MHz y una potencia de entrada máxima de 10 Watts por canal. Para este estudio se utilizará 2 tetraplexores RF para cada RAP. La Figura 70 muestra el aspecto del multiplexor RF propuesto:



Figura 70. Multiplexor RF 858510  
Fuente. TRedess.

La Figura 71 muestra las especificaciones técnicas del multiplexor RF propuesto:

Referencias	858507	858508	858509	858510	858511	858512
Denomination	MONOPLEXER	DIPLEXER	TRIPLEXER	TETRAPLEXER	DOUBLE DIPLEXER	PENTAPLEXER
Frequency range	470 - 862 MHz					
Impedance	50 Ohm					
Number of resonants	3					
Input/output return losses	> 20 dB					
Bandwidth	1 TV Channel (CCIR 8 MHz)					
Insertion losses	1 dB					
Maximum input power	10 W DVB-T / 50 W analog					
Channel N±3 rejection	> 30 dB					
Number of Inputs	1	2	3	4	4	5
Input connectors	BNC Female					
Output connector	Type N Female					
Size	19" x 2HU x 250mm					19" x 3HU x 250mm

Figura 71. Especificaciones técnicas del multiplexor RF 858510  
Fuente: TRedess.

#### 4.2.3.2. Conexión de los Dispositivos en el RAP

Con el equipamiento seleccionado para el punto de acceso de radio, la siguiente imagen muestra la conexión los dispositivos que se encargará que recuperar la señal de TV enviada por el enlace óptico y transmitirá por la señal abierta siguiendo la normativa ISDB-T a sus frecuencias respectivas establecidas.

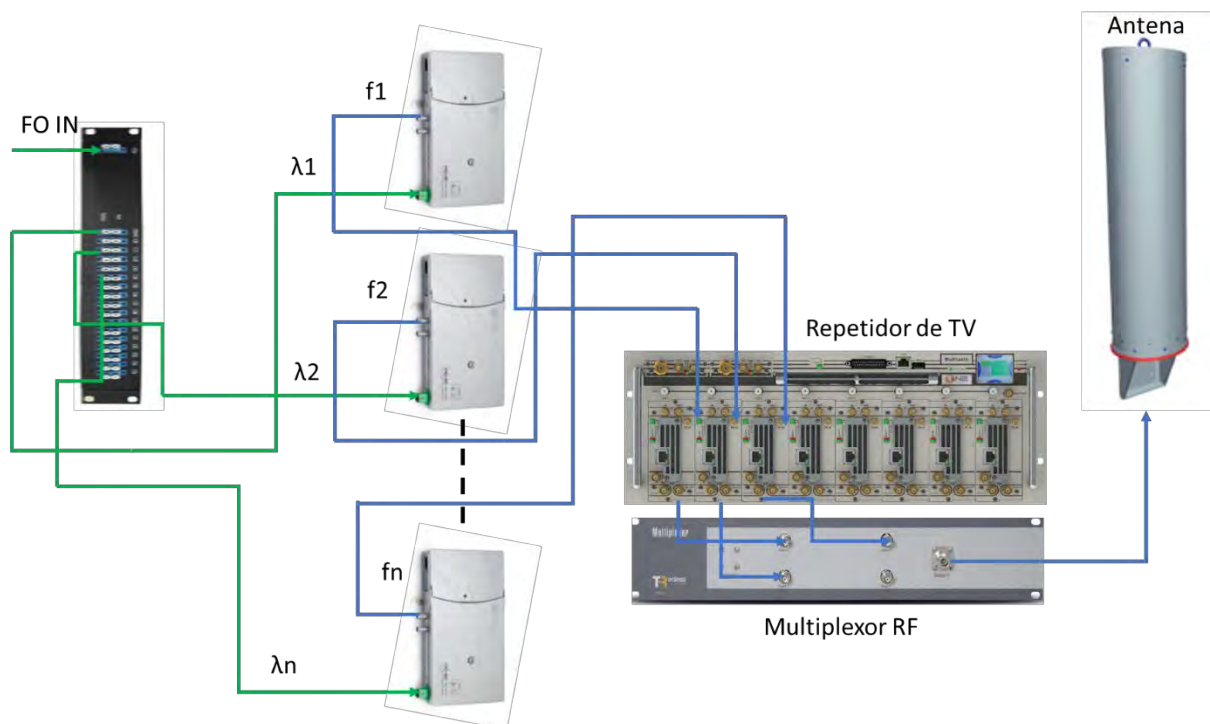


Figura 72. Conexión de los dispositivos en el RAP  
Fuente. Elaboración Propia.

### 4.3. Diseño del Enlace Óptico

Con las consideraciones mencionadas anteriormente, se procede a diseñar el sistema radio sobre fibra para el mejoramiento de la cobertura de la señal de TV digital en la provincia del Cusco. Para el diseño se describirá los parámetros de cada elemento de la red como: ubicación geográfica, parámetros de transmisión y recepción, distancia entre la emisión, recepción óptica y pérdidas de línea.

Para este estudio se transmitirán 8 señales de TV digital debido a la limitación de la tecnología propuesta y son las siguientes:

- TV PERÚ                      F = 485 MHz.
- ATV                              F = 497 MHz.
- LATINA                        F = 509 MHz.
- GLOBAL                        F = 521 MHz.
- AMÉRICA                      F = 533 MHz.
- PANAMERICANA              F = 545 MHz.

- ATV SUR                      F = 581 MHz.
- CTC                              F = 617 MHz.

### 4.3.1. Parámetros de los Elementos de la Red

#### 4.3.1.1. Parámetros de la Unidad Central

Para este estudio, la Unidad Central estará ubicada en las estaciones repetidoras de señales de TV analógica y digital, implementadas en el cerro Picchu - Tica Tica - distrito del Cusco. La Tabla 32 detalla los parámetros de la unidad central:

Tabla 32. Parámetros en la CU

<b>Unidad Central – Tica Tica</b>	
<b>Coordenadas Geográficas:</b>	13°30'47.44"S 71°59'43.47"O
<b>Parámetros de transmisión óptica: WS-LT3000 WSEE</b>	
Número de canales	8
Señales de entrada (RF)	Canal 1: TV PERÚ Canal 2: ATV Canal 3: LATINA Canal 4: GLOBAL Canal 5: AMÉRICA Canal 6: PANAMERICANA Canal 7: ATV SUR Canal 8: CTC
Potencia de salida	10 dBm
Longitud de onda	Canal 1: 1470 nm Canal 2: 1490 nm Canal 3: 1510 nm Canal 4: 1530 nm Canal 5: 1550 nm Canal 6: 1570 nm Canal 7: 1590 nm Canal 8: 1610 nm
Tipo de fibra	Monomodo (SMF)
Tipo de conector	SC/APC

Fuente. Elaboración Propia.



#### 4.3.1.2. Parámetros de los Puntos de Acceso de Radio

Para este estudio la señal óptica será repartida a 8 puntos de acceso de radio, debido a la geografía de la provincia del Cusco, las zonas con baja cobertura se encuentran mayormente entre áreas rurales y cerros. La ubicación geográfica de cada RAP se muestra en la Tabla 33:

Tabla 33. Características geográficas de cada RAP

Punto de Acceso de Radio	Referencia y Altura Geográfica	Coordenadas Geográficas	Distancia entre C.U - RAP
RAP 1	<b>Sencca (3698.8 m.s.n.m)</b> Distrito de Poroy	13°30'12.32"S 72° 1'57.85"O	5 Km
RAP 2	<b>Jaquira (3627.4 m.s.n.m)</b> Distrito de Santiago	13°32'16.04"S 71°59'27.05"O	3 Km
RAP 3	<b>Quillahuata (3698.8 m.s.n.m)</b> Distrito de San Sebastián	13°30'9.10"S 71°56'49.63"O	6 Km
RAP 4	<b>Suclo Aucaylle (3286.8 m.s.n.m)</b> Distrito de San Jerónimo	13°33'22.51"S 71°53'15.78"O	13 Km
RAP 5	<b>Condebamba (3170.3 m.s.n.m)</b> Distrito de Saylla	13°34'13.20"S 71°49'47.20"O	19 Km
RAP 6	<b>Kircas (3720.9 m.s.n.m)</b> Distrito de San Sebastián	13°35'5.70"S 71°54'12.71"O	11 Km
RAP 7	<b>Ccorca Ayllu (3831.7 m.s.n.m)</b> Distrito de Ccorca	13°34'59.38"S 72° 4'0.51"O	15 Km
RAP 8	<b>Seqqueraccay (3663.2 m.s.n.m)</b> Distrito de Cusco	13°27'28.98"S 71°55'26.00"O	10 Km

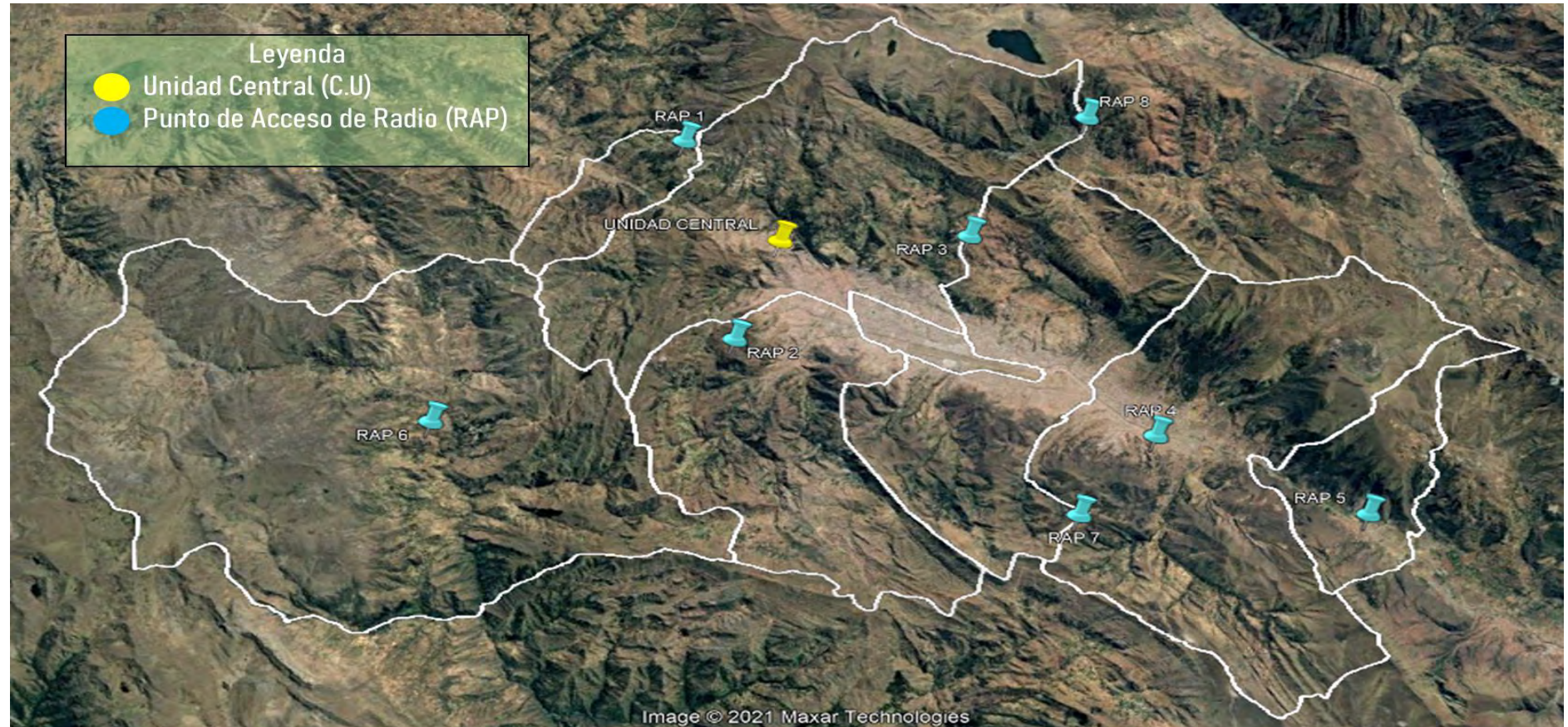
Fuente. Elaboración Propia.

La ubicación geográfica de los RAPs se determinó por los siguientes criterios:

- Son lugares que no tienen alta influencia de interferencia geográfica.
- Se encuentran en un punto intermedio de toda la población que pertenece al área de cobertura respectiva previo al desarrollo de pruebas en la simulación.
- Se encuentran fuera de la zona urbana de cada localidad.
- Se encuentran en una altura geográfica considerable con vista libre a la población para poder reemitir la señal ISDB-T.

La Figura 73, muestra la ubicación de la unidad central y los puntos de acceso de radio de la red diseñada en la herramienta Google

Earth:



*Figura 73. Ubicación de los elementos de la red RoF en Google Earth*

*Fuente. Elaboración Propia.*

#### 4.3.1.3. Cálculo Matemático de los Parámetros de Transmisión

Considerando las frecuencias de cada señal ISDB-T para el sistema diseñado (sección 4.3), y la distribución de muestras establecidas en la Tabla 10 de la sección 3.2.3.2, la siguiente tabla muestra la distancia entre el RAP y la muestra más lejana dentro de su zona de cobertura:

Tabla 34. Distancia entre el RAP y la muestra más lejana en Km

Punto de Acceso de Radio		Muestra más lejana		Distancia (Km)
RAP 1	13°30'12.32"S 72° 1'57.85"O	Muestra CU043	13°30'37.69"S 72° 0'5.31"O	3.87 ≈ 4
RAP 2	13°32'16.04"S 71°59'27.05"O	Muestra ST065	13°35'12.36"S 71°56'57.40"O	7.09 ≈ 7.5
RAP 3	13°30'9.10"S 71°56'49.63"O	Muestra SS074	13°34'3.52"S 71°56'19.82"O	7.29 ≈ 7.5
RAP 4	13°33'22.51"S 71°53'15.78"O	Muestra SS008	13°31'40.74"S 71°56'4.95"O	5.97 ≈ 6
RAP 5	13°34'13.20"S 71°49'47.20"O	Muestra SA005	13°33'42.52"S 71°50'25.93"O	1.50 ≈ 2
RAP 6	13°35'5.70"S 71°54'12.71"O	Muestra CC004	13°32'42.07"S 72° 4'41.93"O	4.73 ≈ 5
RAP 7	13°34'59.38"S 72° 4'0.51"O	Muestra SJ035	13°36'39.41"S 71°51'0.14"O	6.46 ≈ 7
RAP 8	13°27'28.98"S 71°55'26.00"O	Muestra SS066	13°28'57.18"S 71°55'17.00"O	2.74 ≈ 3

Fuente. Elaboración Propia.

##### 4.3.1.3.1. Pérdida de Espacio Libre (Lfs)

Para una transmisión a cualquier frecuencia se utiliza la siguiente expresión:

$$Lfs(dB) = 92.4 + 20\log D(km) + 20\log F(GHz) \quad (9)$$

Donde:

Lfs (dB) = Pérdida en el espacio libre.

D (Km) = Distancia entre el transmisor y el receptor.

F (GHz) = Frecuencia de trabajo.

En este caso como ejemplo se calculará la pérdida de espacio libre para la frecuencia de 485 MHz (0.485 GHz) en el RAP 1:

Reemplazando los valores:

$$L_{fs}(dB) = 92.4 + 20 \log(4) + 20 \log(0.485)$$

$$L_{fs}(dB) = 92.4 + 20(0.602) + 20(-0.314)$$

$$L_{fs}(dB) = 92.4 + 12.04 - 6.28$$

$$L_{fs}(dB) = 98.16 \text{ dB}$$

Por lo tanto, se calculó la pérdida en el espacio libre para todas las frecuencias en cada RAP, y se muestra en la Tabla 35:

Tabla 35: Pérdida de espacio libre para cada RAP

RAP	Frecuencia (MHz) / Pérdida de espacio libre (dB)							
	485	497	509	521	533	545	581	617
<b>RAP 1</b>	98.16	98.37	98.58	98.78	98.98	99.17	99.72	100.25
<b>RAP 2</b>	103.62	103.83	104.04	104.24	104.44	104.63	105.18	105.71
<b>RAP 3</b>	103.62	103.83	104.04	104.24	104.44	104.63	105.18	105.71
<b>RAP 4</b>	101.68	101.89	102.10	102.30	102.50	102.69	103.25	103.77
<b>RAP 5</b>	92.14	92.35	92.55	92.76	92.96	93.15	93.70	94.23
<b>RAP 6</b>	100.09	100.31	100.51	100.72	100.91	101.11	101.66	102.19
<b>RAP 7</b>	103.02	103.23	103.44	103.64	103.84	104.03	104.59	105.11
<b>RAP 8</b>	95.66	95.87	96.08	96.28	96.48	96.67	97.23	97.75

Fuente. Elaboración Propia.

#### 4.3.1.3.2. Potencia de Transmisión Requerida (Tx)

Para calcular la potencia de transmisión requerida se utiliza la siguiente formula en los cálculos de radioenlace:

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) - A_{TX}(dB) + G_{TX}(dBi) - L_{fs}(dB) + G_{RX}(dBi) - A_{RX}(dB) \quad (10)$$

Donde:

$P_{RX}$  (dBm) = Potencia recibida en el receptor.

$P_{TX}$  (dBm) = Potencia de salida del transmisor.

$A_{TX}$  (dB) = Atenuación del cable en el transmisor.

$A_{RX}$  (dB) = Atenuación del cable en el receptor.

$L_{fs}$  (dB) = Pérdidas en el espacio libre.

$G_{TX}$  (dBi) = Ganancia de la antena en el transmisor.

$G_{RX}$  (dBi) = Ganancia de la antena en el receptor.

El cable que se está proponiendo para este estudio es el tipo RG-6 que es el más común en instalaciones de sistemas de transmisión UHF, tiene una atenuación de 16.34 dB/100m en el peor de los casos. para una altura de antena igual a 30 m se considera 45 m de cable (7.353 dB) para instalación y pérdida de 0.2 dB por conector, considerando 4 conectores (0.8 dB), la pérdida total sería de 8.153dB.

- La ganancia de la antena transmisora propuesta es de 8 dBd = 10.15 dBi
- La antena receptora para este caso es una antena estándar o común como las de tipo ‘conejo’ con una ganancia de 2 dBi y una atenuación de 1 dB
- Para mejorar la recepción se calculará la potencia de transmisión requerida utilizando el umbral de una óptima recepción que es de -61 dBm (especificada en la tabla 12 de la tesis)

Despejando  $P_{tx}$ :

$$P_{TX}(dBm) = P_{RX}(dBm) + A_{TX}(dB) - G_{TX}(dBi) + L_{fs}(dB) - G_{RX}(dBi) + A_{RX}(dB)$$

Se calculará para el caso de 485 MHz en el RAP 1 cuya pérdida en el espacio libre es de 98.16 dB

Reemplazando los valores:

$$P_{TX}(dBm) = P_{RX}(dBm) + A_{TX}(dB) - G_{TX}(dBi) + L_{fs}(dB) - G_{RX}(dBi) + A_{RX}(dB)$$

$$P_{TX}(dBm) = -61 + 8.153 - 10.15 + 98.16 - 2 + 1$$

$$P_{TX}(dBm) = 34.16 \text{ dBm}$$

$$P_{TX}(Watt) = \frac{10^{\left(\frac{34.16}{10}\right)}}{1000} = \frac{10^{\left(\frac{34.16}{10}\right)}}{1000} = 2.61 \text{ W}$$

Por lo tanto, se calculó la potencia de transmisión requerida para cada frecuencia en su respectivo RAP:

Tabla 36. Potencia de transmisión en cada RAP

	Frecuencia (MHz) / Potencia TX (dBm) / Promedio Ptx (dBm – Watts)									
RAP	485	497	509	521	533	545	581	617	Prom	Tx (W)
RAP 1	34.16	34.37	34.58	34.78	34.98	35.17	35.73	36.25	35.00	≈4
RAP 2	39.62	39.83	40.04	40.24	40.44	40.63	41.19	41.71	40.46	≈11.5
RAP 3	39.62	39.83	40.04	40.24	40.44	40.63	41.19	41.71	40.46	≈11.5
RAP 4	37.68	37.89	38.10	38.30	38.50	38.69	39.25	39.77	38.52	≈8
RAP 5	28.14	28.35	28.56	28.76	28.96	29.15	29.71	30.23	28.98	≈1
RAP 6	36.10	36.31	36.52	36.72	36.92	37.11	37.67	38.19	36.94	≈5
RAP 7	39.02	39.23	39.44	39.64	39.84	40.03	40.59	41.11	39.86	≈10
RAP 8	31.66	31.87	32.08	32.28	32.48	32.67	33.23	33.75	32.50	≈2

Fuente. Elaboración Propia.

#### 4.3.1.3.3. Máxima Potencia Irradiada (PIRE)

Para calcular PIRE se utiliza la siguiente fórmula:

$$PIRE(dBm) = P_{TX}(dBm) - A_{TX}(dB) + G_{TX}(dBi) \quad (11)$$

PIRE (dBm) = Potencia máxima irradiada.

Ptx (dBm) = Potencia del transmisor.

Atx (dB) = Atenuación en el transmisor.

Gtx (dBi) = Ganancia de la antena en el transmisor

En cada RAP se transmitirá 8 frecuencias en simultaneo, por lo tanto, la potencia del transmisor determinada anteriormente será multiplicada por 8 para así poder calcular la PIRE por estación.

RAP 1:

$$P_{TXtotal} = 4 W * 8 = 32 W = 45.1 dBm$$

$$PIRE = 45.1dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 47.10 dBm = 51.25 W$$

RAP 2:

$$P_{TXtotal} = 11.5 W * 8 = 92 W = 49.6 dBm$$

$$PIRE = 49.6dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 51.60 dBm = 144.44 W$$

RAP 3:

$$P_{TXtotal} = 11.5 W * 8 = 92 W = 49.6 dBm$$

$$PIRE = 49.6dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 51.60 dBm = 144.44 W$$

RAP 4:

$$P_{TXtotal} = 8 W * 8 = 64 W = 48.1 dBm$$

$$PIRE = 48.1dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 50.10 dBm = 102.26 W$$

RAP 5:

$$P_{TXtotal} = 1 W * 8 = 8 W = 39 dBm$$

$$PIRE = 39dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 41 dBm = 12.58 W$$

RAP 6:

$$P_{TXtotal} = 5 W * 8 = 40 W = 46 dBm$$

$$PIRE = 46dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 48 dBm = 63.05 W$$

RAP 7:

$$P_{TXtotal} = 10 W * 8 = 80 W = 49 dBm$$

$$PIRE = 49dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 51 dBm = 125.81 W$$

RAP 8:

$$P_{TXtotal} = 2 W * 8 = 16 W = 42 dBm$$

$$PIRE = 42dBm - 8.153dB + 10.15(dBi) = 44 dBm = 25.10 W$$

#### 4.3.1.3.4. Máxima Potencia Efectiva (PRE)

Para calcular la máxima potencia efectiva se utiliza la siguiente expresión:

$$PRE(dBm) = PIRE(dBm) - 2.15 \quad (12)$$

Se calculará la PRE para cada RAP:

RAP 1:

$$PRE = 47.10 - 2.15 = 44.95 \text{ dBm} = 31.24 \text{ W}$$

RAP 2:

$$PRE = 51.60 - 2.15 = 49.45 \text{ dBm} = 88.04 \text{ W}$$

RAP 3:

$$PRE = 51.60 - 2.15 = 49.45 \text{ dBm} = 88.04 \text{ W}$$

RAP 4:

$$PRE = 50.10 - 2.15 = 47.95 \text{ dBm} = 62.33 \text{ W}$$

RAP 5:

$$PRE = 41 - 2.15 = 38.85 \text{ dBm} = 7.67 \text{ W}$$

RAP 6:

$$PRE = 48 - 2.15 = 45.85 \text{ dBm} = 38.43 \text{ W}$$

RAP 7:

$$PRE = 51 - 2.15 = 48.85 \text{ dBm} = 76.68 \text{ W}$$

RAP 8:

$$PRE = 44 - 2.15 = 41.85 \text{ dBm} = 15.30 \text{ W}$$



#### ***4.3.1.4. Pérdidas de Trayecto en el Enlace Óptico***

En la unidad central las pérdidas que se presentan son las conexiones entre la salida del emisor óptico y la entrada del multiplexor CWDM. El emisor óptico propuesto tiene el conector tipo SP/APC cuya atenuación es 0.25 dB [30]. La entrada del multiplexor CWDM propuesto tiene el conector tipo LC/PC cuya atenuación es 0.10 dB [30]. Por lo tanto, la atenuación en la Unidad Central para cada canal es de 0.35 dB. Esta atenuación será la misma para la conexión entre la salida del demultiplexor CWDM y la entrada del receptor óptico propuesto en cada RAP.

En este estudio se consideró como un solo bloque de atención óptica a las pérdidas entre conectores y empalmes que se presentan en la conexión entre la salida del multiplexor CWDM de la unidad central a la entrada del splitter, cuyas características son:

- Conector LC/PC en la salida del multiplexor CWDM de la C.U = 0.10 dB.
- 2 conectores LC/PC antes del empalme en la C.U = 0.20 dB.
- Empalme en la caja de distribución de la C.U = 0.05 dB [31].
- 2 conectores SP/APC luego del empalme en la C.U = 0.50 dB.
- 2 conectores SP/APC antes del empalme en el Splitter = 0.50 dB.
- Empalme en el splitter = 0.05 dB.
- 2 conectores SP/APC luego del empalme en el splitter = 0.50 dB.

Por lo tanto, en este bloque de atenuación óptica para la conexión entre la salida del multiplexor CWDM de la unidad central a la entrada del splitter es de 1.9 dB. Considerando que la atenuación del splitter propuesto es de 10.5 dB [26], la atenuación subtotal antes de la distribución de la fibra óptica a cada RAP es de 12.4 dB.

Luego se consideró otro bloque de atenuación óptica a las pérdidas entre conectores y empalmes que se presentan en la conexión entre la salida del splitter y la entrada del demultiplexor CWDM del RAP, cuyas características son:

- 2 conectores SC/APC antes del empalme en la salida del splitter = 0.50 dB
- Empalme en la caja de distribución de la salida del splitter = 0.05 dB
- 2 conectores SP/APC luego del empalme en la salida del splitter = 0.50 dB
- 2 conectores SP/APC antes del empalme en el RAP = 0.50 dB
- Empalme en el RAP = 0.05 dB
- 2 conectores LC/PC luego del empalme en el RAP = 0.20 dB
- Conector LC/PC en la Entrada del demultiplexor CWDM = 0.10 dB

Por lo tanto, en este bloque de atenuación óptica para la conexión entre la salida del splitter y la entrada del demultiplexor CWDM del RAP es de 1.9 dB.

Para calcular la atenuación máxima total del sistema [31], se utiliza la siguiente formula deducida de la siguiente manera:

$$TA = n.C + c.J + L.a + M \quad (13)$$

Donde:

TA = Atenuación total.

n = Cantidad de Conectores.

C = Atenuación de un conector óptico (dB).

c = cantidad de empalmes en sección de cable básica.

J = Atenuación de un empalme (dB) = 0.05 dB.

M = Margen del Sistema = 3dB [31].

a = atenuación de cable óptico (dB/Km) = 0.21 dB/Km [32].

L = Longitud total del cable óptico.

La Tabla 37, muestra la atenuación para cada enlace óptico en el sistema RoF:

Tabla 37. Atenuación en el Sistema RoF

Enlace óptico	Atenuación de conectores en la C.U (dB)	Atenuador óptico + Splitter (dB)	Atenuador óptico en la RAP (dB)	Atenuación de conectores en el RAP (dB)
CU-RAP 1	0.35	Atenuador óptico = 1.9 dB Atenuación del splitter = 10.5 dB Total = 12.4 dB	1.9	0.35
CU-RAP 2	0.35		1.9	0.35
CU-RAP 3	0.35		1.9	0.35
CU-RAP 4	0.35		1.9	0.35
CU-RAP 5	0.35		1.9	0.35
CU-RAP 6	0.35		1.9	0.35
CU-RAP 7	0.35		1.9	0.35
CU-RAP 8	0.35		1.9	0.35

Fuente. Elaboración Propia.

Para un enlace entre unidad central y un punto de acceso de radio, se reemplaza los valores en la ecuación:

$$TA = (0.35dB + 12.4dB + 1.9dB + 0.35 dB) + L \cdot \frac{0.21dB}{Km} + 3dB$$

$$TA = 15 + \left( L \cdot \frac{0.21dB}{Km} \right) + 3dB$$

$$TA = 18 + \left( L \cdot \frac{0.21dB}{Km} \right)$$

A partir de este resultado se halla para cada enlace con su longitud de cable óptico respectivo desde la unidad central hasta su RAP respectivo:

- Para el CU-RAP 1 (Longitud = 5 Km) => Atenuación Total = 19.05 dB.
- Para el CU-RAP 2 (Longitud = 3 Km) => Atenuación Total = 18.63 dB.
- Para el CU-RAP 3 (Longitud = 6 Km) => Atenuación Total = 19.26 dB.
- Para el CU-RAP 4 (Longitud = 13 Km) => Atenuación Total = 20.73 dB.
- Para el CU-RAP 5 (Longitud = 19 Km) => Atenuación Total = 21.99 dB.
- Para el CU-RAP 6 (Longitud = 11 Km) => Atenuación Total = 20.31 dB.
- Para el CU-RAP 7 (Longitud = 15 Km) => Atenuación Total = 21.15 dB.

- Para el CU-RAP 8 (Longitud = 10 Km) => Atenuación Total = 20.10 dB.

Con los resultados obtenidos, se puede observar que para enviar 8 señales de TV mediante en el enlace óptico, las pérdidas tienen un valor mínimo lo cual no debería afectar en un alto grado al factor de calidad del sistema, además que para cada señal ISDB-T las pérdidas son muy bajas.

#### 4.3.1.5. Cálculo de Dispersión en el Enlace Óptico

En este trabajo se está trabajando con fibra monomodo que es el más utilizado en los sistemas CWDM, por lo tanto, en este tipo de fibra la dispersión total representa al retraso o incremento en picosegundos de una fuente óptica, permitiéndola limitación de la emisión de la tasa bits que se desea enviar Esta dispersión está en función del ancho espectral de la fuente (nm), longitud de la fibra (Km) y dispersión cromática de la fibra óptica (ps/nmKm). Cada fibra óptica tiene su dispersión cromática especificado en la hoja de datos del fabricante. Para este trabajo la fibra óptica propuesta es la SM G657A cuya dispersión cromática es de 18 ps/nmKm, [32] la fuente es de tipo Laser por lo tanto el ancho espectral es de 2 nm. Se evaluará la distorsión total para cada RAP:

$$\Delta t = D * L; \text{ donde } D = Dt * \Delta\lambda \quad (14)$$

$\Delta t$  = Dispersión total [ps].

D = Dispersión de la Fibra [ps/km].

Dt = Dispersión cromática [ps/nmKm].

$\Delta\lambda$  = Ancho espectral de la fuente [nm].

Calculamos la dispersión en la fibra:

$$D = 18 \frac{ps}{nmKm} * 2 nm = 36 \frac{ps}{Km}$$

Ahora la distorsión total para cada RAP:

$$\text{RAP 1} \rightarrow 5 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 5 \text{ Km} = 180 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 2} \rightarrow 3 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 3 \text{ Km} = 108 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 3} \rightarrow 6 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 6 \text{ Km} = 216 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 4} \rightarrow 13 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 13 \text{ Km} = 468 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 5} \rightarrow 19 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 19 \text{ Km} = 684 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 6} \rightarrow 11 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 11 \text{ Km} = 396 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 7} \rightarrow 15 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 15 \text{ Km} = 540 \text{ ps}$$

$$\text{RAP 8} \rightarrow 10 \text{ Km} \quad \Delta t = 36 \frac{\text{ps}}{\text{Km}} * 10 \text{ Km} = 360 \text{ ps}$$

#### **4.3.1.6. Pérdidas de Trayecto en la Reemisión de ISDB-T**

Para la reemisión de ISDB-T se deben considerar las pérdidas en RF que se presentan en cada RAP. Para este estudio se consideró el cable coaxial RG-6 que es el más común en instalaciones de sistemas de comunicación cuya pérdida es de 16.34 dB/100m en el peor de los escenarios para un rango de frecuencia de 450 a 600 MHz [33]. Los conectores RG-6 que son de tipo BNC tiene una pérdida de inserción de 0.2 dB [34], y la pérdida de inserción del multiplexor RF propuesto es de 1 dB mostrada en la Figura 70. Por lo tanto, para este estudio se consideró las siguientes características que presentan las pérdidas en RF:

- 5 metros de cable coaxial RG-6 para instalaciones internas para cada canal = 0.817 dB.  
Las instalaciones serán para la salida de receptor óptico al repetidor ISDB-T, y luego del repetidor al tetraplexor. Por tetraplexor serán 4 canales, quiere decir que para cada tetraplexor llegará una pérdida de:  $0.817 \text{ dB} \times 4 = 3.268 \text{ dB}$ .
- Entre 10, 15, 20 y 25 metros de cable coaxial RG-6 desde la salida del tetraplexor hacia la antena según la altura propuesta en cada RAP.

- 2 conectores RG-6 para la conexión entre la salida del receptor óptico propuesto y la entrada el repetidor de TV propuesto = 0.4 dB.
- 2 conectores RG-6 para la conexión entre la salida del repetidor de TV propuesto y la entrada del tetraplexor propuesto = 0.4 dB.
- Pérdida de inserción del tetraplexor propuesto = 1 dB.
- 2 conectores RG-6 para la conexión entre la salida del tetraplexor propuesto y la antena propuesta = 0.4 dB.

La Tabla 38 muestra las pérdidas en RF para el caso de 10, 15, 20 y 25 metros de altura de antena que presentara cada RAP:

Tabla 38. Pérdidas en RF para cada señal ISDB-T

Canales	Pérdidas en Instalaciones internas (dB)	Pérdidas en altura de la antena (dB)	Pérdida total en conectores (dB)	Pérdida de Inserción del multiplexor RF (dB)	Pérdida total de línea para cada RAP (dB)
Para 10 metros de altura de antena:					
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	1.634	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	9.502
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	1.634	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	9.502
Para 15 metros de altura de antena:					
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	2.451	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	10.319
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	2.451	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	10.319
Para 20 metros de altura de antena:					
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	3.268	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	11.136
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	3.268	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	11.136
Para 25 metros de altura de antena:					
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	4.085	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	11.953
4 ch	$0.817 \times 4 = 3.268$	4.085	$0.8 \times 4 + 0.4 = 3.6$	1	11.953

Fuente. Elaboración Propia.

Cada señal de ISDB-T presentara las pérdidas determinadas en la Tabla 38 en el peor de los escenarios, para así determinar una recepción de señal más realista en cada muestra del estudio de cobertura, lo cual permite una mejor evaluación del diseño propuesto.

#### 4.3.2. Normativa Técnica y Licencias ISDB-T

De acuerdo a las normas técnicas del servicio de radiodifusión realizada por la MTC se tienen que cumplir los siguientes parámetros:

- Ancho de Banda por canal: 6 MHz.
- Bandas de Frecuencias:
  - Para la banda VHF
    - Banda I: 54 – 88 MHz.
    - Banda III: 174 – 216 MHz.
  - Para la banda UHF
    - Banda IV: 470 – 584 MHz.
    - Banda V: 584 – 806 MHz.
- Clasificación de estaciones:
  - **Estación Clase A**, en las Bandas I y III: de 50 KW a 240 KW de PRE y una máxima altura efectiva de la antena de 300 m.
  - **Estación Clase B**, en las Bandas IV y V: de 50 KW a 1000 KW de PRE y una máxima altura efectiva de la antena de 300 m.
  - **Estación Clase C**, estación que opera con potencia menor de 50 KW de PRE y una máxima altura efectiva de la antena de 300 m.
  - **Estación Clase D**, estación que opera con potencia de hasta 100 W de PRE y una altura del centro de radiación de la antena no superior a los 30 metros sobre el nivel promedio del terreno. Corresponde a las estaciones denominadas de Baja Potencia.

Para este estudio se está proponiendo la mejora de cobertura con estaciones de **Clase D**, debido a que una de las ventajas del sistema radio sobre fibra es reemitir una señal radioeléctrica a baja potencia consiguiendo una eficiencia energética.

Para la ubicación de la estación el informe estipula lo siguiente: “La planta de transmisión de la estación de televisión debe ubicarse fuera del perímetro urbano de la localidad, no debiendo el centro de radiación de la antena sobrepasar la altura máxima permitida a que se hace referencia en la clasificación de estaciones.”

Por lo tanto, en este estudio la ubicación de los RAPs se encuentra fuera del perímetro urbano de cada localidad que se encuentra en la provincia del Cusco:

- RAP 1: Sencca se encuentra fuera del pueblo de Poroy.
- RAP 2: Jaquira se encuentra fuera de la zona urbana de Santiago.
- RAP 3: Quillahuata se encuentra fuera de la zona urbana de San Sebastián.
- RAP 4: Sucillo Aucaylle se encuentra fuera de la zona urbana de San Jerónimo.
- RAP 5: Condebamba se encuentra fuera de la zona urbana de Saylla.
- RAP 6: Kircas se encuentra fuera de la zona urbana de San Sebastián.
- RAP 7: Ccorca Ayllu se encuentra fuera del pueblo de Ccorca.
- RAP 8: Seqqueraccay se encuentra fuera de la zona urbana del Cusco.

De acuerdo con las licencias se recurrió al portal de la MTC para consultar la canalización de las frecuencias en la provincia del Cusco, obteniendo la siguiente información:

De acuerdo a:

- Plan Aprobado por RVM N° 164-2019-MTC/03 (08/03/2019)
- Con Restricción RD N° 993-2005-MTC/17 (09/06/2005)
- Concurso Público N° 01-2011-MTC/28.TDT (16/05/2011), RD N° 1472-2011-MTC/28 (12/05/2011).

Para los distritos de Cusco, Poroy, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Saylla y Wanchaq: Están canalizados 36 frecuencia de las cuales 30 están autorizadas. Dentro de esas 30 frecuencias autorizadas se encuentran las frecuencias ISDB-T que se están emitiendo



actualmente (canal 16, 18, 20, 22, 24, 26, 32, 36, 38). También la máxima PRE para las estaciones ISDB-T debe ser de 10 KWatts.

Para el distrito de Ccorca: Están canalizados 5 frecuencias de las cuales ninguna está autorizada. De los canales ISDB-T solamente el canal 16 se encuentra canalizado en el distrito de Ccorca. También la máxima PRE para las estaciones ISDB-T debe ser de 0.1 KW.

Para el caso del distrito de Ccorca se recomendaría realizar el trámite de autorización para de las frecuencias, porque actualmente no sería posible la implementación de una estación, pero es posible adquirir la licencia a través de concurso público, donde el municipio del distrito se encargaría de realizar dicho trámite. Con la red propuesta en la tesis, técnicamente es posible mejorar la cobertura en la provincia del Cusco. Normativamente, el distrito de Ccorca no cuenta con las licencias, pero como se mencionó anteriormente la red propuesta está diseñada para un futuro donde mejorando la cobertura, existe la posibilidad de añadirse más canales a la red, por lo tanto, el distrito de Ccorca llegaría a obtener las licencias.

### 4.3.3. Diagrama de Bloques del Sistema Radio sobre Fibra

#### 4.3.3.1. Diagrama de bloques del enlace óptico del Sistema

La Figura 74, muestra el enlace óptico del sistema para un RAP, como ejemplo el RAP 1 referenciado en la Tabla 32. La unidad central enviara la señal óptica multiplexada hasta el splitter, distribuyendo para cada RAP la señal óptica multiplexada y recuperando la señal RF para poder reemitirla hacia una zona de cobertura deseada.

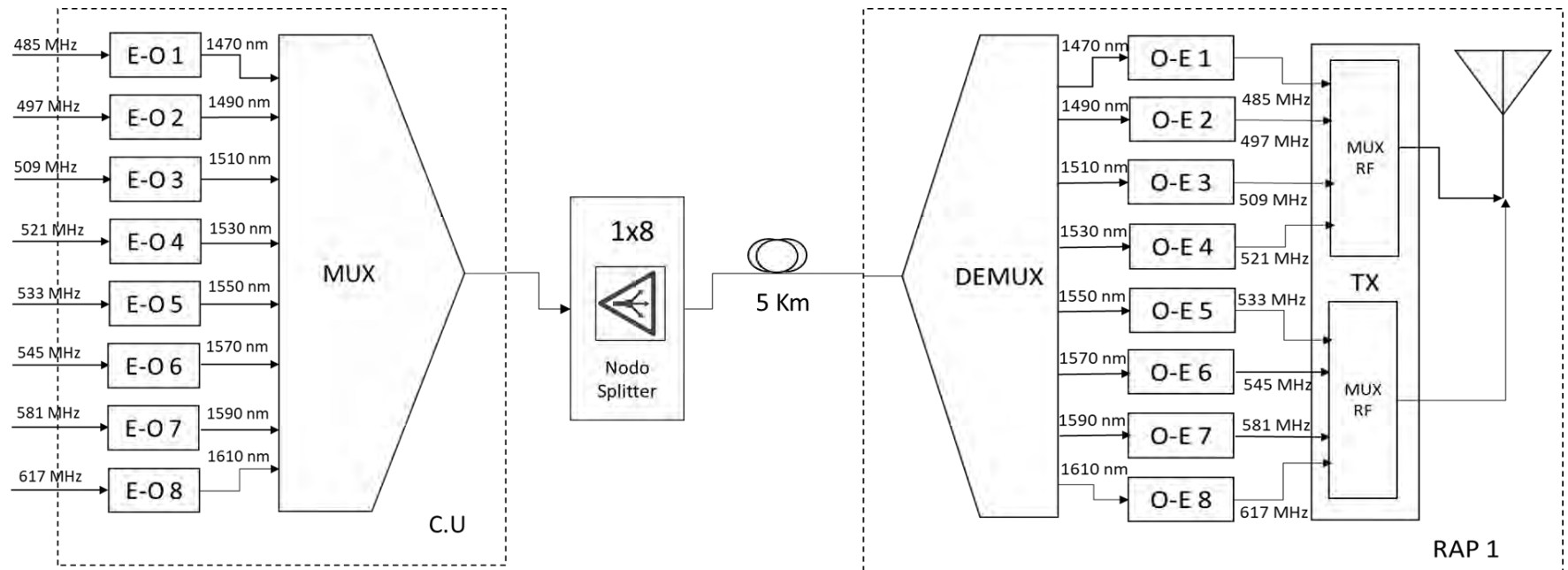


Figura 74. Diagrama de bloques del enlace óptico para el RAP 1

Fuente. Elaboración Propia.

### 4.3.3.2. Conexión de los Dispositivos para el Enlace Óptico del Sistema

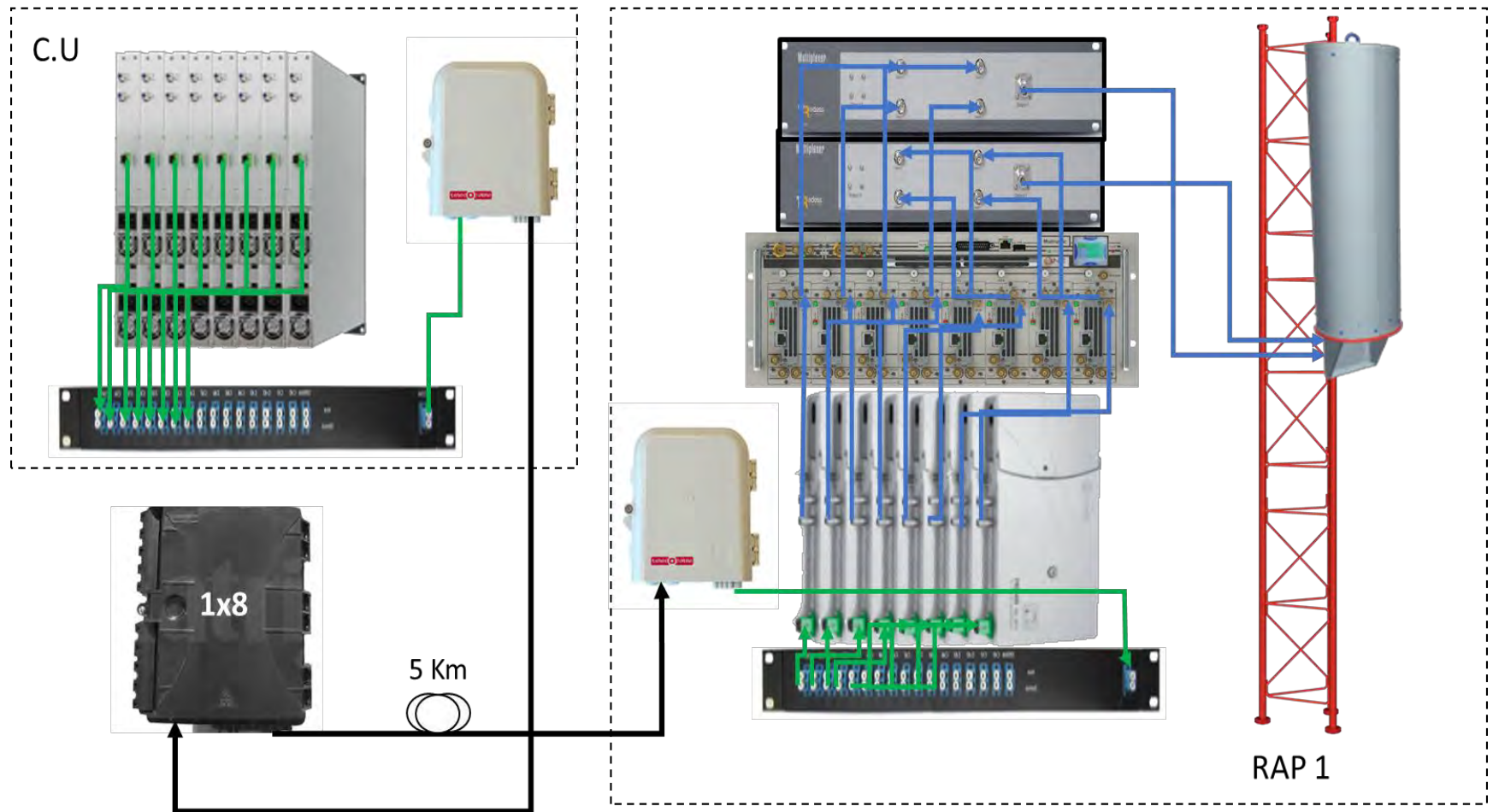


Figura 75. Conexión de equipamiento del enlace óptico para el RAP 1  
Fuente. Elaboración Propia.

### 4.3.3.3. Diagrama de Bloques de todo el Sistema

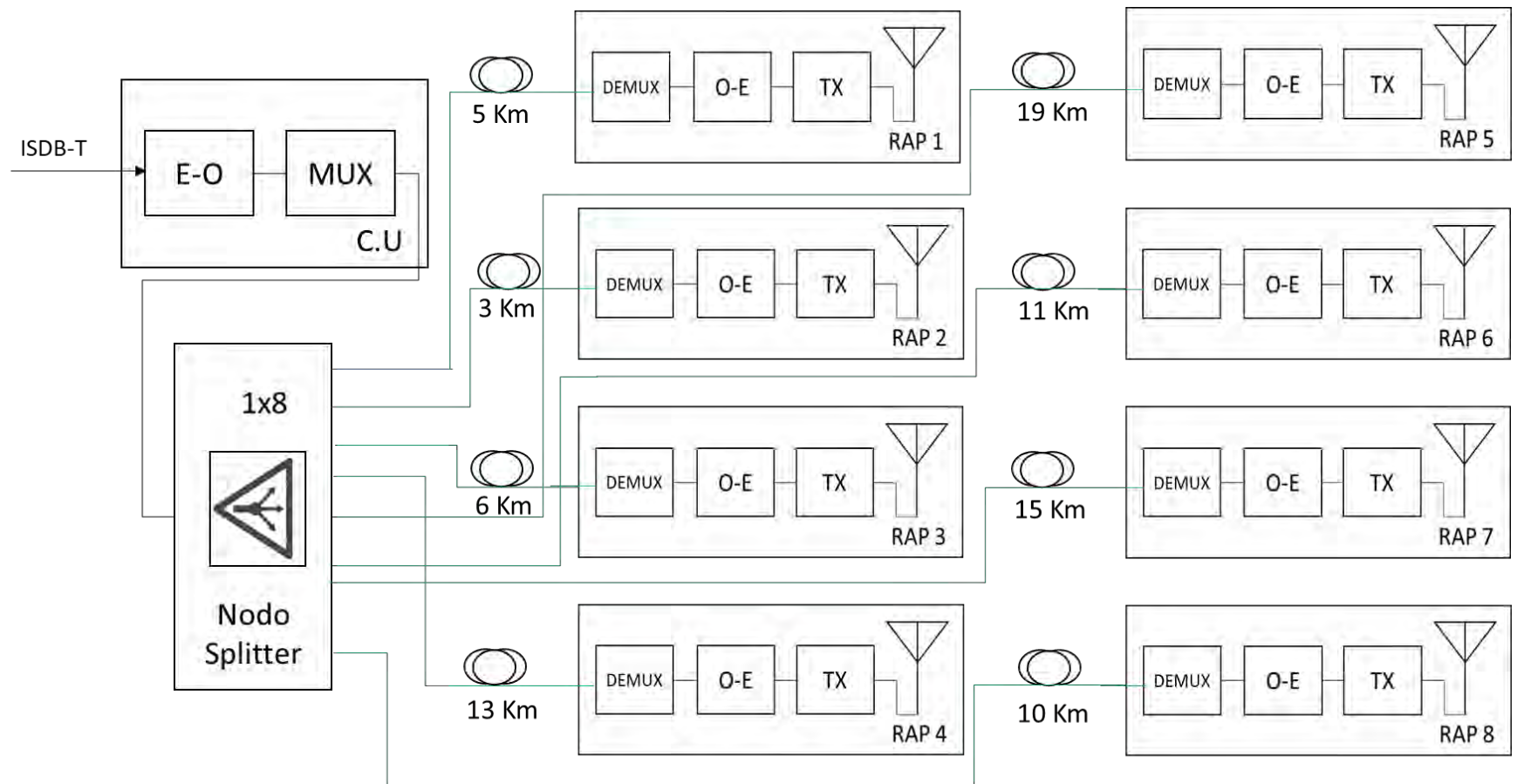


Figura 76. Diagrama de bloques del sistema RoF  
Fuente. Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 5: SIMULACIÓN Y RESULTADOS**

### **5.1. Introducción**

En este capítulo, se valida el diseño propuesto para mejorar la cobertura de TV digital en la provincia del Cusco mediante la simulación del enlace óptico que permite verificar el factor de calidad del sistema y el análisis de la mínima tasa de error de bit (min BER) de acuerdo a las distancias entre los receptores ópticos y el transmisor óptico. También se realiza la simulación de la transmisión por señal abierta del sistema por el cual propone una predicción de la cobertura de TV digital utilizando esta red, y se compara con la cobertura actual para analizar las diferencias entre la transmisión actual y el sistema propuesto.

### **5.2. Softwares Utilizados para la Simulación**

#### **5.2.1. Radio Mobile**

Es un software que permite simular diferentes sistemas de comunicación que trabajan en el espectro de radiofrecuencias, donde se puede evaluar: el comportamiento de la comunicación, el mapa de cobertura, administración de las redes.

Las características de Radio Mobile son las siguientes:

- El software es gratuito, fácil de instalar y tiene un peso de 15 Mbytes aproximadamente; disponible para sistemas operativos como Windows, Linux y Ubuntu.
- Interfaz que muestra el mapa de cualquier zona del mundo previo ajuste de coordenadas geográficas, siempre y cuando se tenga conexión a internet debido a que el software está vinculado con los mapas de Google Earth.
- Permite insertar numerosas unidades que pueden trabajar como transmisores o receptores en múltiples comunicaciones.
- Trabaja en el rango de frecuencias desde 20 MHz hasta los 40 GHz y longitudes de trayecto desde 1 a 2000 Km.

- Permite la configuración del sistema de comunicación, insertando los parámetros de transmisión y recepción, tales como: potencia de transmisión (Watt), umbral del receptor (dBm), pérdida de línea (dB), tipo de antena, ganancia de antena (dBd), altura de antena.
- Permite evaluar el nivel de recepción, distancia entre los elementos de la red, azimut, ángulo de elevación, pérdidas de espacio libre, zona de Fresnel, intensidad de campo, potencia radiada.
- Permite exportar la red simulada a Google Earth para mayor interacción y precisión de la ubicación de las unidades de la red.

Se utilizo este software debido a que tiene una gran precisión en la simulación de sistemas en radiofrecuencia, además que es muy dinámica gracias al interfaz que brinda. También este software es el más popular para realizar este tipo de simulaciones debido a que es gratuito a diferencia de otros programas en donde se paga un monto para una cierta cantidad de simulaciones.

### **5.2.2. Optisystem**

Es un software que permite simular diferentes sistemas de comunicación que trabajan con la fibra óptica, donde se puede evaluar: el comportamiento del enlace óptico mediante analizadores gráficos ópticos y medidores de parámetros ópticos.

Las características de Optisystem son las siguientes:

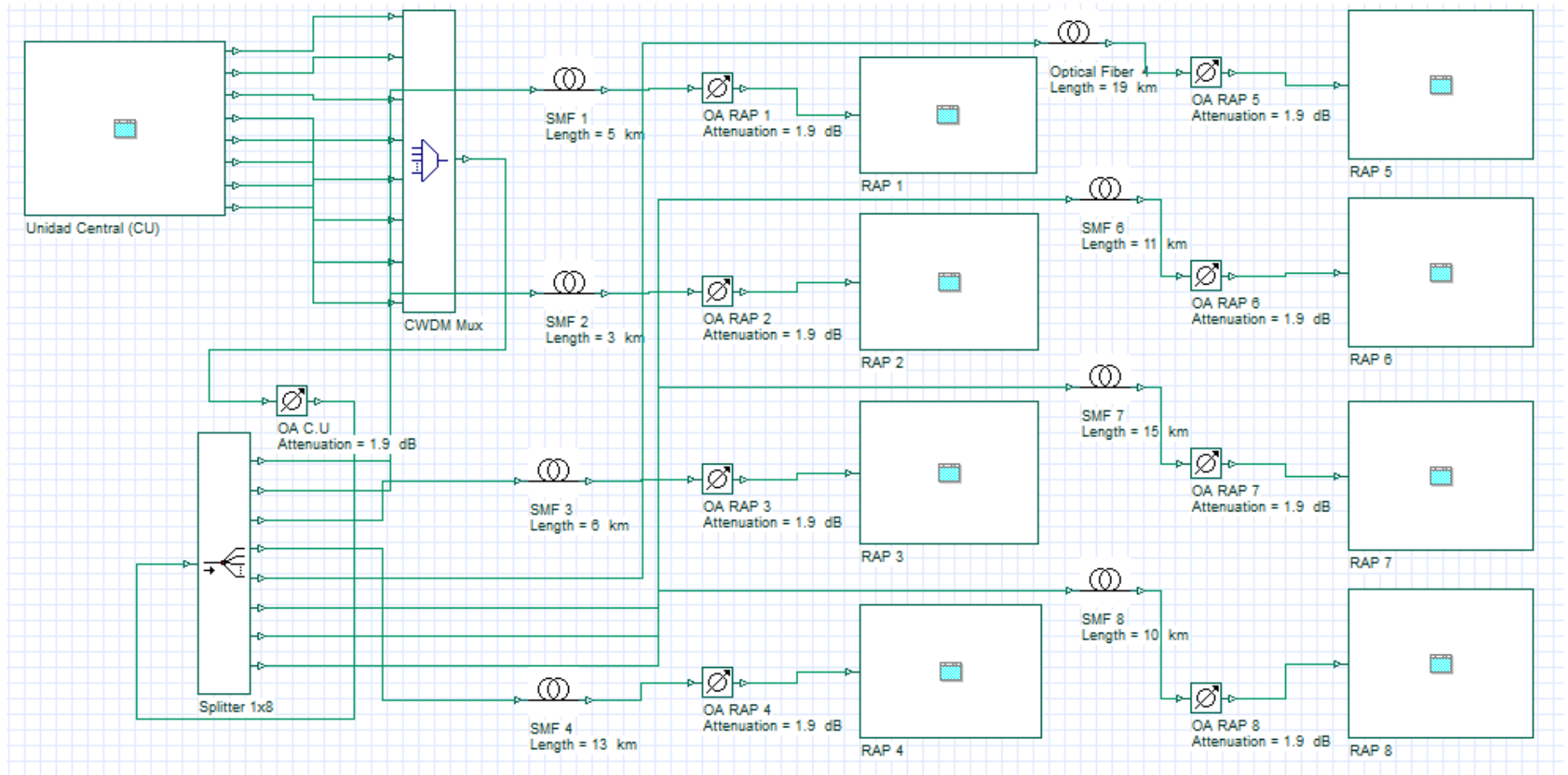
- El software es a modo de prueba de 1 mes, con un peso aproximado de 1 Gbyte, disponible para Windows.
- Interfaz dinámico donde se puede diseñar la red óptica como un diagrama de bloques donde cada elemento tiene su propia configuración.

- Principales elementos para un diseño óptico como: moduladores ópticos, receptores ópticos, multiplexores ópticos, amplificadores ópticos, fibra monomodo o multimodo, generadores de tasa de información.
- Permite añadir elementos previos al enlace óptico como transmisores QAM, FM, AM y también evaluar dichas señales con analizadores de espectro.
- Permite evaluar el enlace óptico mediante analizadores de espectros ópticos, medidores de potencia de transmisión y recepción óptica, analizadores del factor Q y mínimo BER.
- Vienen ejemplos de redes ópticas en el paquete de librería para poder familiarizarse al software y aprender mucho mejor como realizar el diseño de una red.

Se utilizo este software debido a que el más utilizado en lo que respecta a los diseños de redes ópticas, tanto para investigaciones y proyectos a nivel mundial. También por su alta precisión en las simulaciones donde existe una aproximación muy corta entre los resultados teóricos y los resultados prácticos.

### **5.3. Simulación del Enlace Óptico**

Para el enlace óptico se utilizó la herramienta Optisystem, que permite simular el sistema óptico utilizando el equipamiento propuesto en el capítulo 4. La Figura 77, muestra la red radio sobre fibra implementada en Optisystem donde se generan 8 señales RF que son conectados a los transmisores ópticos que utilizan una modulación directa (DML) que son usados generalmente para enlaces ópticos para distancias menores a 40 km [35]. Las señales ópticas son distribuidas por el multiplexor CWDM y repartidas por un splitter a cada punto de acceso de radio (RAP) que este comprimido en un subsistema en el software.



**Figura 77. Diseño de la red radio sobre fibra en Optisystem**  
 Fuente. Elaboración Propia.



### 5.3.1. Configuración de los Parámetros del Sistema

La Figura 78 muestra la composición del subsistema donde están implementados conversión eléctrica-óptica (E-O) en la unidad central:

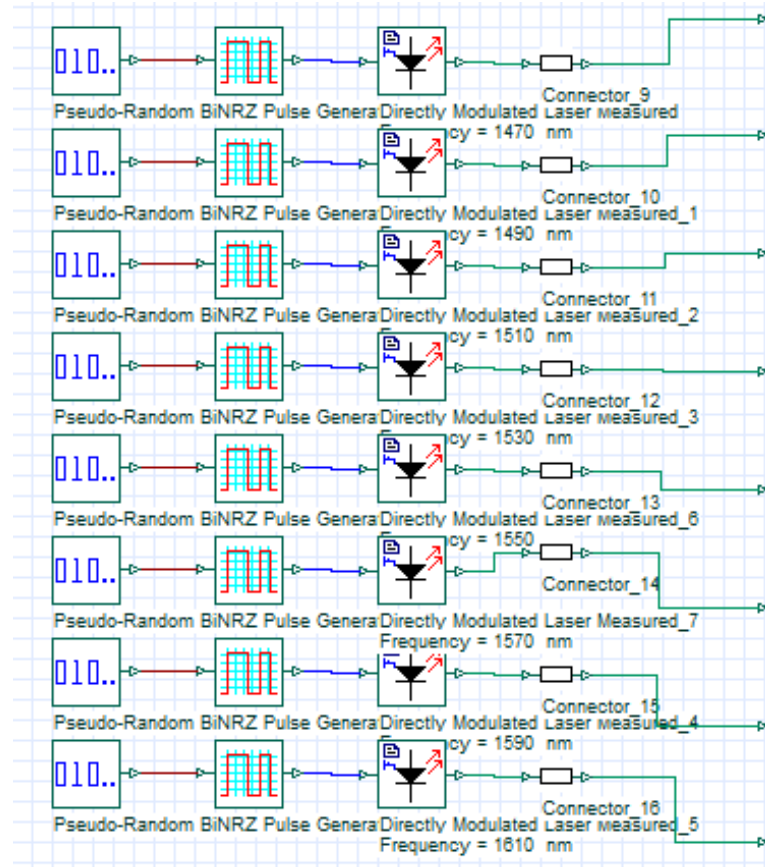


Figura 78. Conversión E-O en la Unidad Central

Fuente. Elaboración Propia.

En la Figura 86 se observa las 8 señales RF convertidas en señales ópticas a su longitud de onda respectiva, luego son conectadas al multiplexor CWDM donde existe la pérdida de inserción por los conectores de salida del transmisión óptico SP/APC que es de 0.25 dB y la pérdida de inserción por los conectores a la entrada del multiplexor CWDM LC/PC que es de 0.10 dB [30]; en la figura mostrada se observa los conectores que suma las pérdidas de los conectores SP/APC y LC/PC para cada señal óptica que es de 0.35 dB. Estas pérdidas de inserción de los conectores son especificadas en la sección 4.3.1.4.

La potencia de salida para este sistema será de 10 dBm, debido a que el transmisor óptico WS-LT3000 WSEE propuesto tiene puede transmitir desde 3 a 14 dBm [24].

La Figura 79, muestra la configuración del transmisor óptico WS-LT3000 WSEE en el Optisystem:

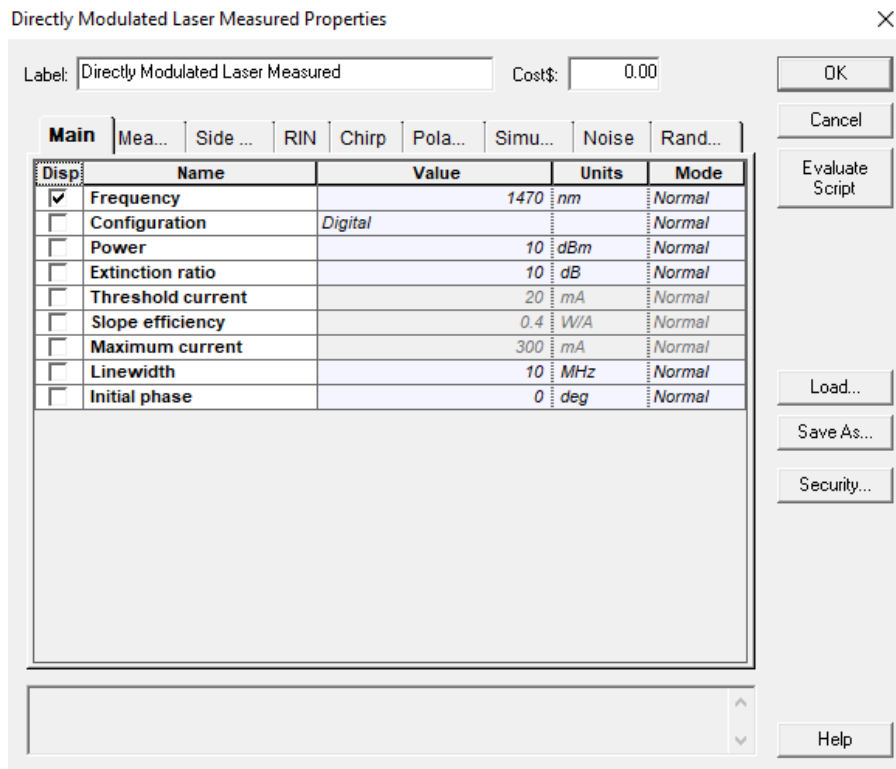


Figura 79. Configuración del transmisor WS-LT3000 WSEE en Optisystem  
Fuente. Elaboración Propia.

Para la conversión eléctrica-óptica, los parámetros de los transmisores ópticos son:

- Potencia de salida: 10 dBm.
- Longitud de onda Canal 1: 1470 nm.
- Longitud de onda Canal 2: 1490 nm.
- Longitud de onda Canal 3: 1510 nm.
- Longitud de onda Canal 4: 1530 nm.
- Longitud de onda Canal 5: 1550 nm.
- Longitud de onda Canal 6: 1570 nm.
- Longitud de onda Canal 7: 1590 nm.
- Longitud de onda Canal 8: 1610 nm.

El multiplexor CWDM transmite señales ópticas por una sola vía de fibra con longitudes de onda entre 1260 – 1620 nm. Las Figuras 80 y 81 muestran la configuración de los parámetros del multiplexor CWDM:

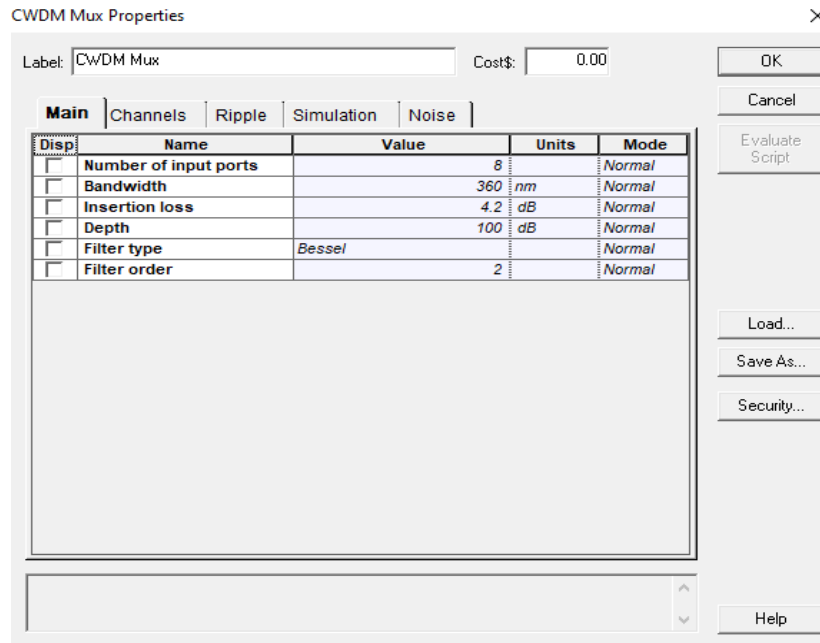


Figura 80. Configuración del multiplexor CWDM  
Fuente. Elaboración Propia.

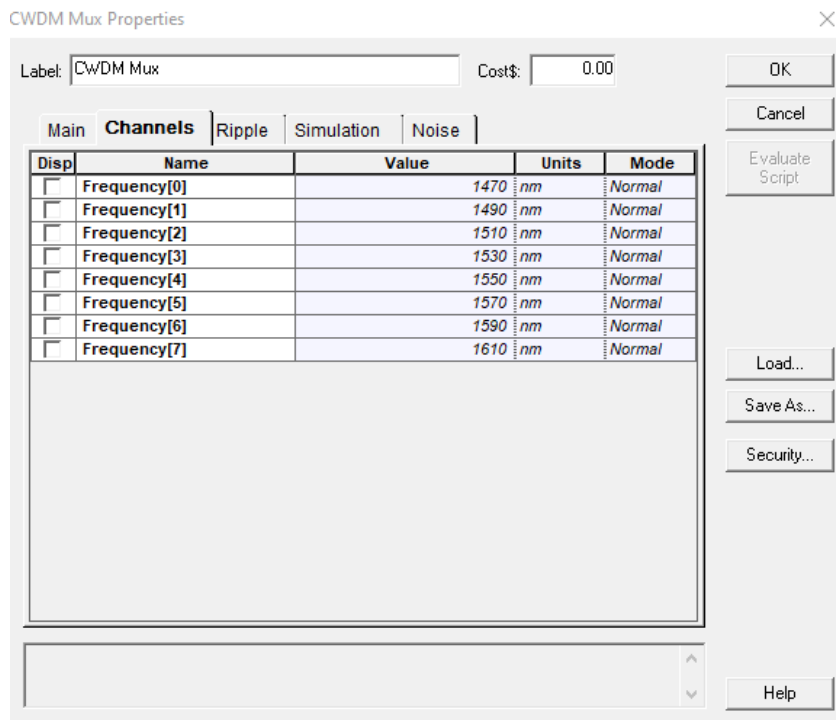
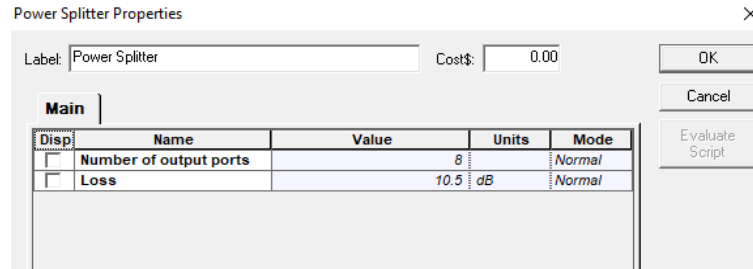


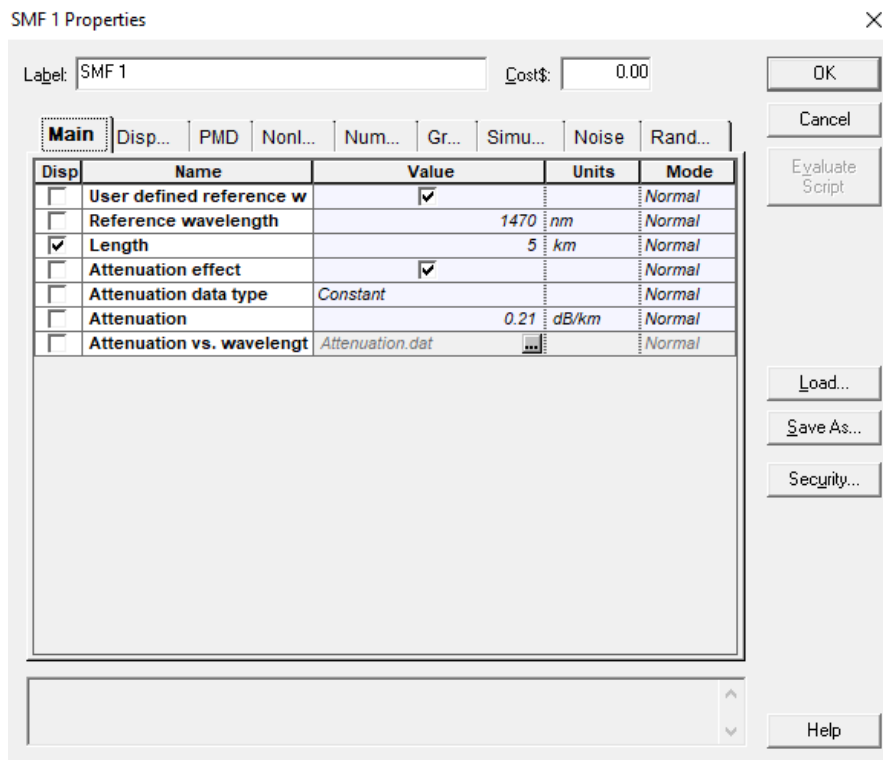
Figura 81. Configuración de longitudes de onda en el multiplexor CWDM  
Fuente. Elaboración Propia.

El splitter propuesto distribuye la señal óptica en ocho señales con el propósito de enviar cada señal al su respectivo punto de acceso de radio, la pérdida de inserción que presenta este dispositivo es de 10.5 dB para 8 salidas [26], cuya configuración se muestra en la Figura 82:



**Figura 82. Configuración del Splitter en Optisystem**  
Fuente. Elaboración propia.

La Figura 83 muestra los parámetros de la fibra óptica con su determinada longitud de fibra, longitud de onda referencial del sistema y su respectiva atenuación:



**Figura 83. Parámetros de la Fibra óptica en Optisystem**  
Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 84 muestra la composición del subsistema donde están implementados los dispositivos del punto de acceso de radio, donde la señal óptica distribuida es demultiplexada, recuperando cada longitud de onda de manera independiente para enviarlas a sus respectivos receptores ópticos que contienen un fotodetector PIN que permite la conversión óptica-eléctrica (O-E) y el filtro pasa bajo que atenúa las frecuencias altas, logrando así poder analizar el factor de calidad del sistema y el mínimo BER.

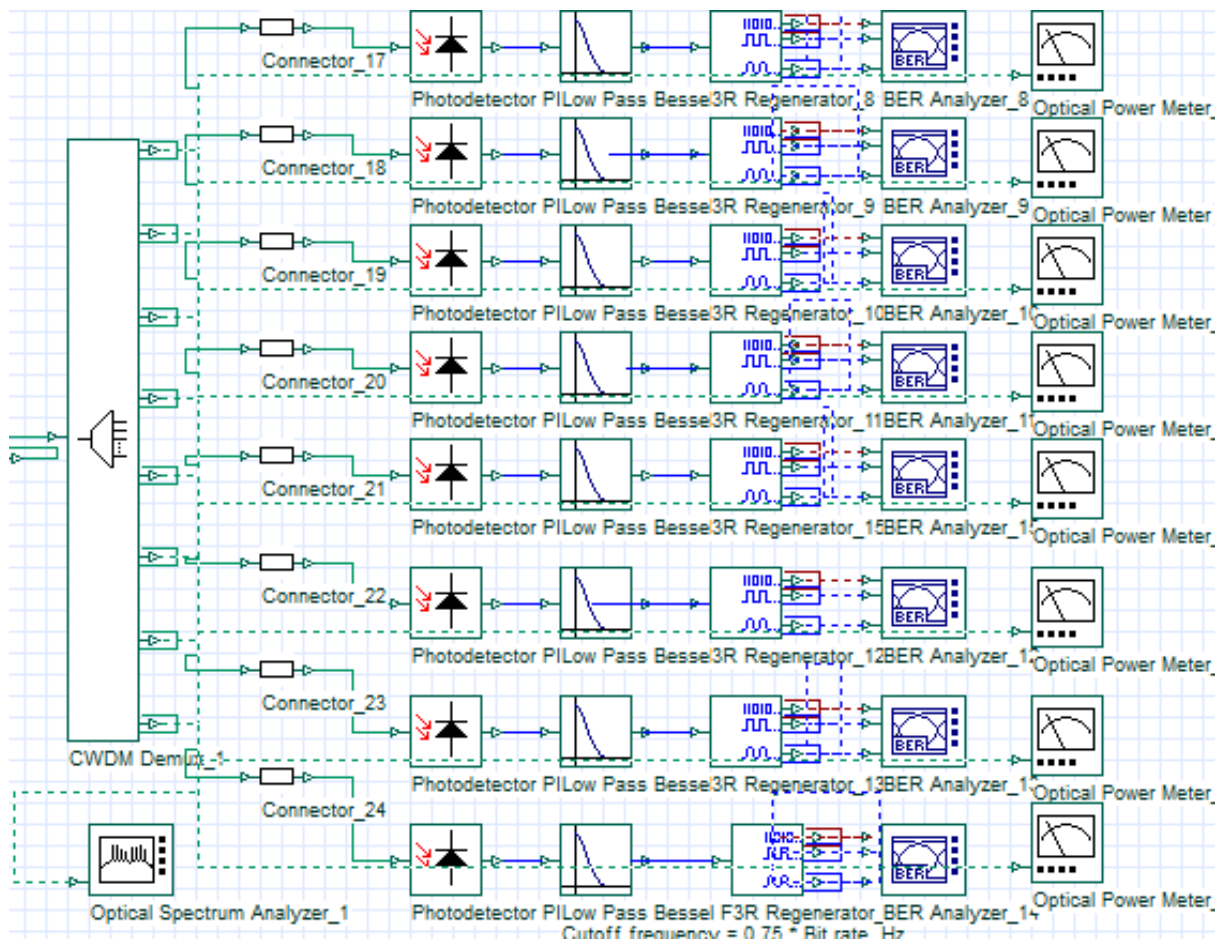


Figura 84. Punto de Acceso de Radio (RAP) en Optisystem  
Fuente. Elaboración Propia.

El demultiplexor CWDM tiene la misma configuración que el multiplexor CWDM en el Optisystem, las pérdidas de inserción de los conectores son de 0.35 dB (especificada en la sección 4.3.1.3) igual que en la transmisión óptica debido a que las salidas del multiplexor son conectores LC/PC y la entrada del receptor óptico son conectores SP/APC.

## 5.3.2. Resultados del Enlace Óptico

### 5.3.2.1. Resultados de la Transmisión Óptica

Mediante un medidor de potencia óptica se calcula la señal emitida por los transmisores ópticos medidas en watts y dBm. La Figura 85 muestra la señal calculada para cada transmisor óptico:

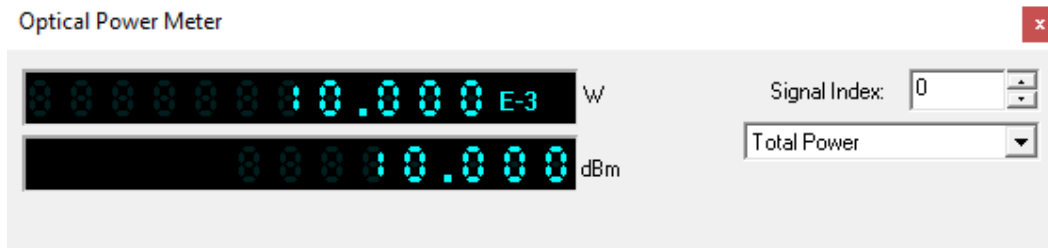
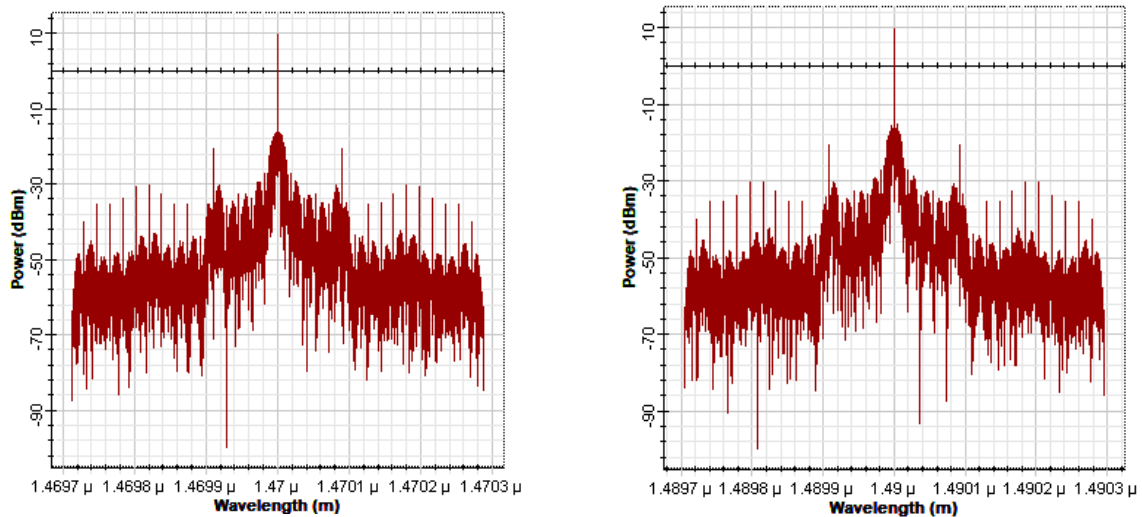


Figura 85. Potencia de salida en la emisión óptica

Fuente. Elaboración Propia.

Mediante un analizador de espectro óptico, se visualiza el espectro de la señal óptica en función a la longitud de onda para cada canal. La Figura 86 muestra el espectro óptico para cada señal óptica que será enviada hacia los receptores:



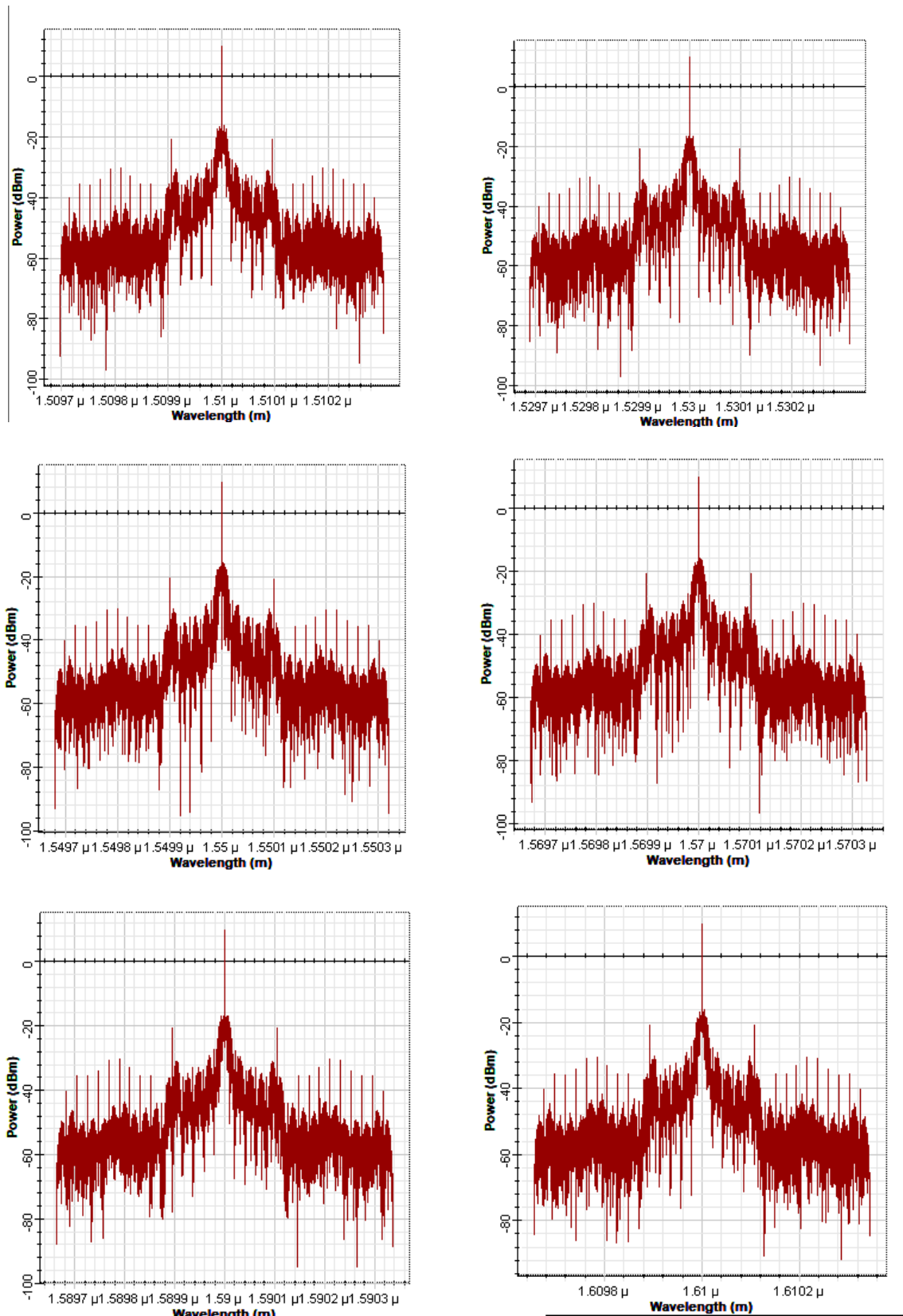


Figura 86. Espectro de la señal óptica para cada longitud de onda del sistema Fuente. Elaboración Propia.

El multiplexor CWDM se encarga de enviar los espectros mostrados anteriormente en su determinada longitud de onda. La Figura 87 muestra la multiplexación CWDM de la red:

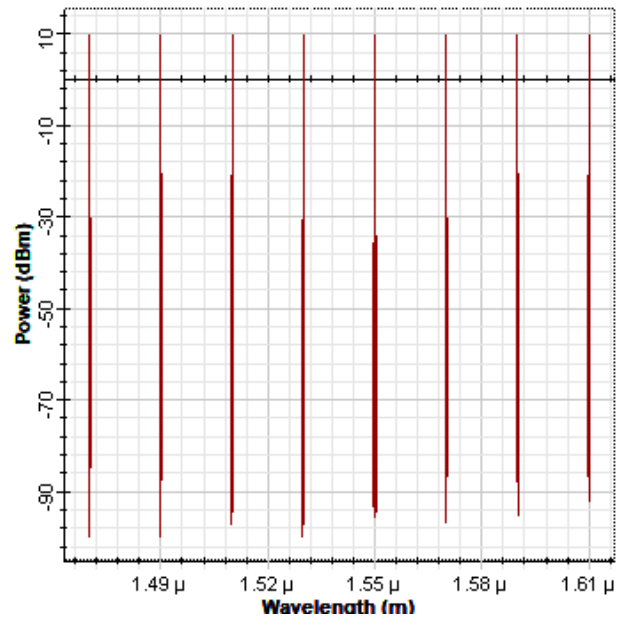


Figura 87. Espectro óptico del multiplexor CWDM  
Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 88 muestra el espectro de la señal óptica multiplexada al pasar por el splitter en donde se tiene una pérdida de inserción de 10.5 dB y la atenuación de los conectores:

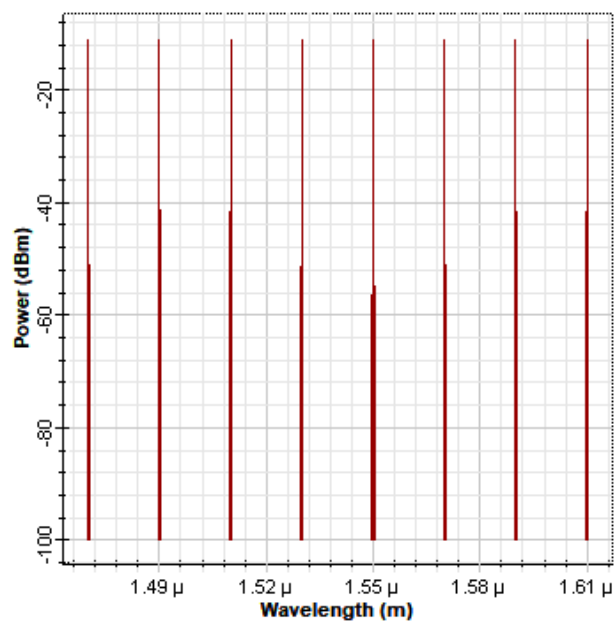


Figura 88. Espectro óptico a la salida del splitter  
Fuente. Elaboración Propia.



### 5.3.2.2. Resultados de la Recepción Óptica

Mediante un medidor de potencia óptica se calcula la señal recibida por los receptores ópticos medidas en watts y dBm en cada punto de acceso de radio. La Figura 89 muestra la señal calculada para cada receptor óptico:



Figura 89. Potencia de entrada para los receptores ópticos  
Fuente. Elaboración Propia.

Como se observa en la Figura 97, la señal de recepción se encuentra dentro del rango que ofrece el receptor óptico FRD-400 Ikusi, donde la potencia óptica de entrada es desde -12 dBm hasta +1 dBm [27] y la recepción en la red diseñada es de -8 dBm hasta -10 dBm aproximadamente.

La Tabla 39 muestra la potencia de entrada en los receptores ópticos para cada canal en sus respectivos puntos de acceso de radio, determinando la potencia media en cada RAP:

Tabla 39. Potencia óptica de entrada de cada longitud de onda

Punto de Acceso de Radio	Potencia de entrada óptica (dBm) / Longitud de onda (nm)								
	1470	1490	1510	1530	1550	1570	1590	1610	Media
RAP 1	-8.189	-8.002	-7.884	-7.828	-7.831	-7.888	-7.993	-8.146	-7.970
RAP 2	-7.850	-7.662	-7.544	-7.489	-7.492	-7.548	-7.653	-7.806	-7.631
RAP 3	-8.360	-8.172	-8.054	-7.999	-8.002	-8.058	-8.163	-8.316	-8.141
RAP 4	-9.550	-9.362	-9.244	-9.189	-9.192	-9.248	-9.353	-9.506	-9.331
RAP 5	-10.570	-10.381	-10.263	-10.209	-10.212	-10.268	-10.373	-10.526	-10.350
RAP 6	-9.210	-9.022	-8.903	-8.849	-8.852	-8.908	-9.013	-9.166	-8.990
RAP 7	-9.890	-9.702	-9.584	-9.528	-9.532	-9.588	-9.693	-9.846	-9.670
RAP 8	-9.039	-8.852	-8.734	-8.679	-8.682	-8.738	-8.843	-8.996	-8.820

Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 90, muestra el comportamiento de la potencia óptica media de entrada determinada en la Tabla 39 con respecto a la longitud de fibra óptica para cada RAP:

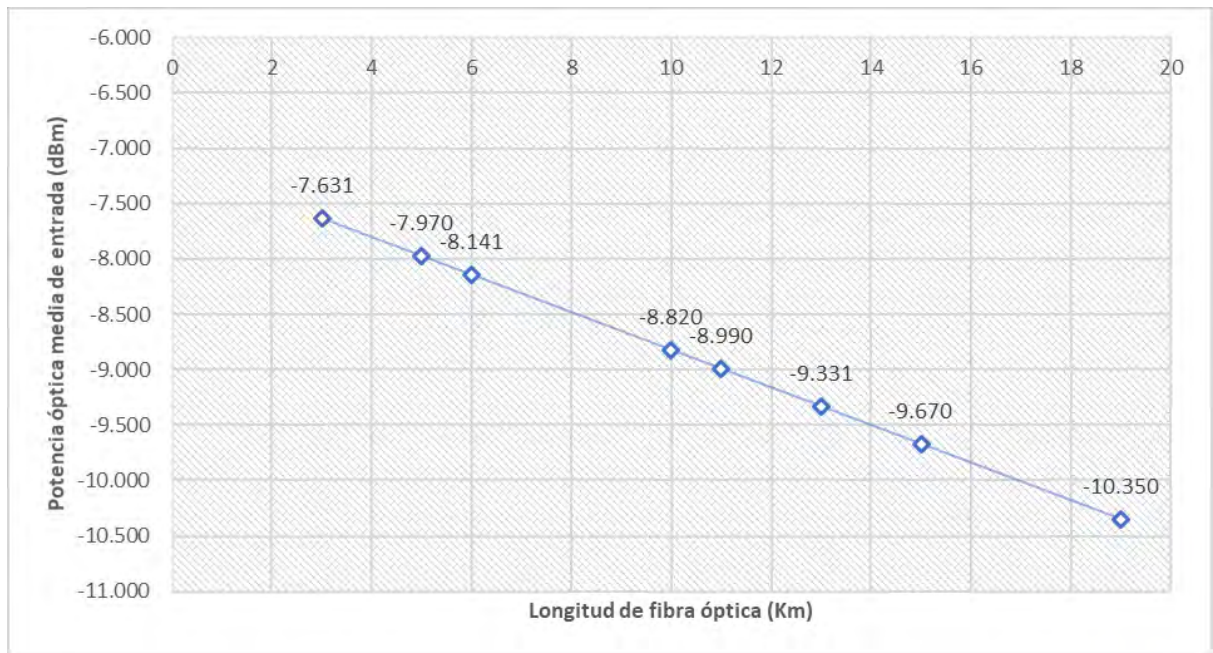
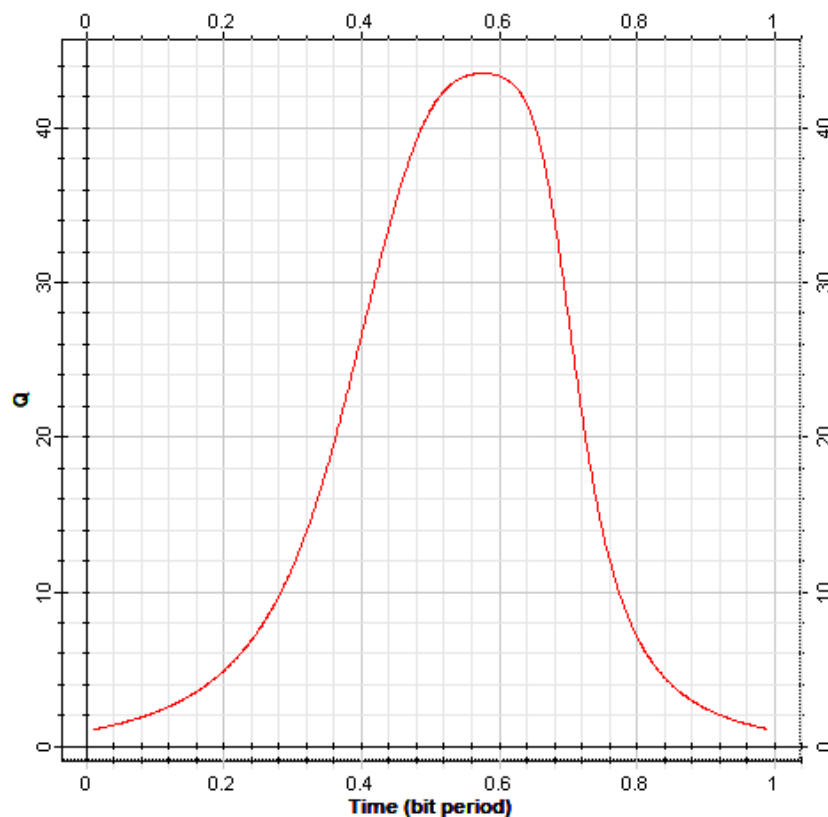


Figura 90. Comportamiento de la potencia óptica media con respecto a la longitud de fibra

Fuente. Elaboración Propia.

Cada longitud de onda pasa por su respectivo receptor óptico donde se procede a la conversión óptica-eléctrica, finalizando así el enlace óptico. Por lo tanto, la señal RF recuperada es conectada a un analizador de BER que permite determinar el mínimo BER y el factor Q. Estos dos valores indican la calidad del sistema diseñado, mientras el min BER sea aproximado a 1, el factor Q será aproximado a 0, eso indica que todos los bits que se transmiten, se pierden durante la comunicación. Pero si el min BER se aproxima a 0, el factor Q aumenta de amplitud dependiendo de un min BER demasiado mínimo, por lo que la transmisión de los bits puede llegar a largas distancias indicando que existe una buena comunicación en el sistema propuesto.

Las Figuras 91 y 92 muestran el factor Q de la recepción más cercana (RAP 2 = 3 Km) y lejana (RAP 5 = 19 Km) de la red diseñada:



*Figura 91. Factor Q del RAP 2 en 1610 nm = 43.533*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

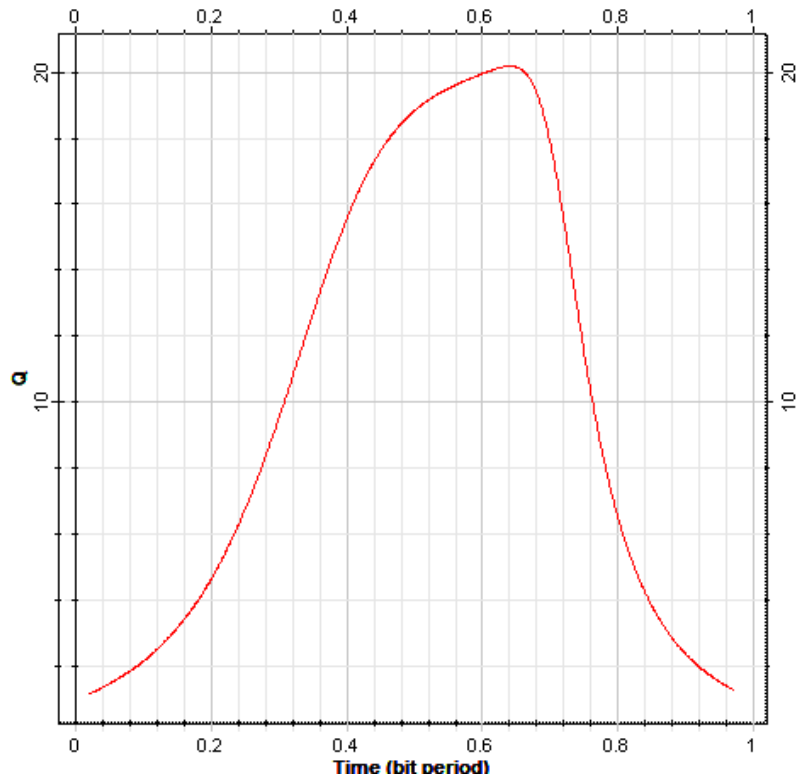


Figura 92. Factor Q del RAP 5 en 1570 nm = 20.186

Fuente. Elaboración Propia.

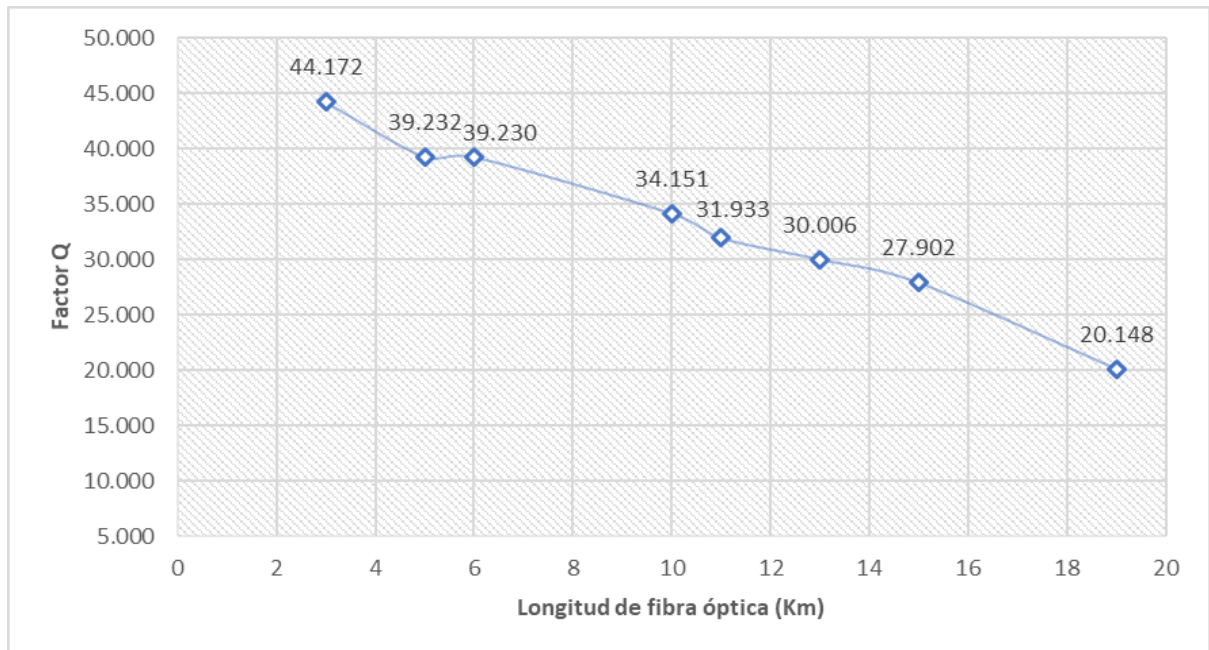
La Tabla 40 muestra los valores de los factores Q para cada canal en su respectivo punto de acceso de radio, determinando el factor Q medio en cada RAP:

Tabla 40. Factor Q de cada longitud de onda

Punto de Acceso de Radio	Factor Q / Longitud de onda (nm)								
	1470	1490	1510	1530	1550	1570	1590	1610	Media
RAP 1	39.216	42.820	36.167	39.994	37.575	40.094	39.423	38.569	39.232
RAP 2	47.026	50.244	39.293	45.579	42.054	43.578	42.067	43.533	44.172
RAP 3	42.023	41.937	35.061	38.995	37.816	38.166	39.721	40.121	39.230
RAP 4	28.956	31.080	27.773	30.905	29.383	31.844	30.894	29.217	30.006
RAP 5	21.580	21.733	18.456	20.926	19.943	20.186	17.575	20.784	20.148
RAP 6	30.617	37.491	29.925	32.800	31.595	31.821	29.565	31.649	31.933
RAP 7	28.452	30.950	25.870	28.579	27.308	28.254	24.364	29.443	27.902
RAP 8	32.182	37.195	30.779	35.028	32.759	35.988	34.608	34.672	34.151

Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 93, muestra el comportamiento del factor Q medio determinado en la Tabla 42 con respecto a la longitud de fibra óptica para cada RAP donde se puede apreciar que, a mayor longitud de fibra óptica, el factor Q disminuye de amplitud, pero mantiene un valor aceptable para las emisiones ópticas:



*Figura 93. Comportamiento del factor Q con respecto a la longitud de fibra óptica*  
*Fuente. Elaboración Propia.*

La Figura 94 y 95 muestra el min BER de la recepción más cercana (RAP 2 = 3 Km) y lejana (RAP 5 = 19 Km) de la red diseñada:

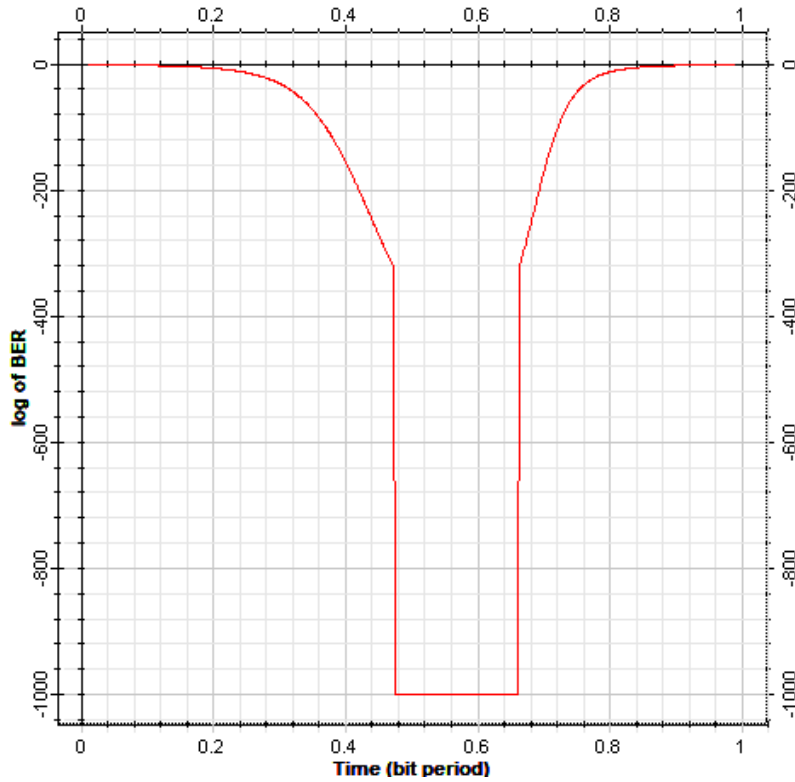


Figura 94. Mínimo BER del RAP 2 en 1610 nm = 0  
Fuente. Elaboración Propia.

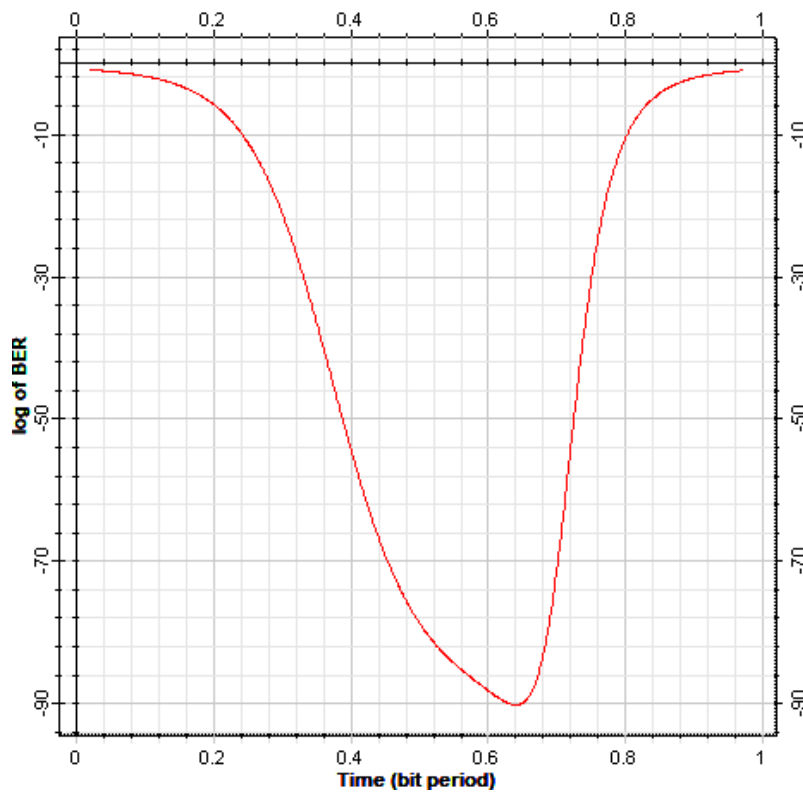


Figura 95. Mínimo BER del RAP 5 en 1570 nm =  $6.53 \times 10^{-91}$   
Fuente. Elaboración Propia.

La Tabla 41 muestra los valores de los mínimos BER para cada canal en su respectivo punto de acceso de radio, determinando el min BER media en cada RAP:

Tabla 41. Min BER de cada longitud de onda

Punto de Acceso de Radio	Min BER / Longitud de onda (nm)								
	1470	1490	1510	1530	1550	1570	1590	1610	Media
RAP 1	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-286	0.00E+00	2.73E-308	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.26E-287
RAP 2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RAP 3	0.00E+00	0.00E+00	1.34E-269	0.00E+00	3.12E-308	5.26E-308	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-270
RAP 4	1.20E-184	2.27E-212	4.49E-170	5.06E-210	4.55E-190	7.97E-223	7.19E-210	5.85E-188	5.61E-171
RAP 5	1.38E-103	5.04E-105	2.35E-76	1.55E-97	8.66E-89	6.53E-91	1.92E-69	3.03E-96	2.40E-70
RAP 6	3.61E-206	6.33E-308	4.70E-197	2.91E-236	2.15E-219	1.64E-222	2.12E-192	3.86E-220	2.66E-193
RAP 7	2.31E-178	1.28E-210	7.28E-148	6.10E-180	1.69E-164	6.43E-176	2.02E-131	7.68E-191	2.53E-132
RAP 8	1.58E-227	4.07E-303	2.47E-208	4.15E-269	1.15E-235	6.37E-284	9.40E-263	1.06E-263	3.09E-209

Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 96, muestra el comportamiento del min BER media determinada en la Tabla 43 con respecto a la longitud de fibra óptica para cada RAP:

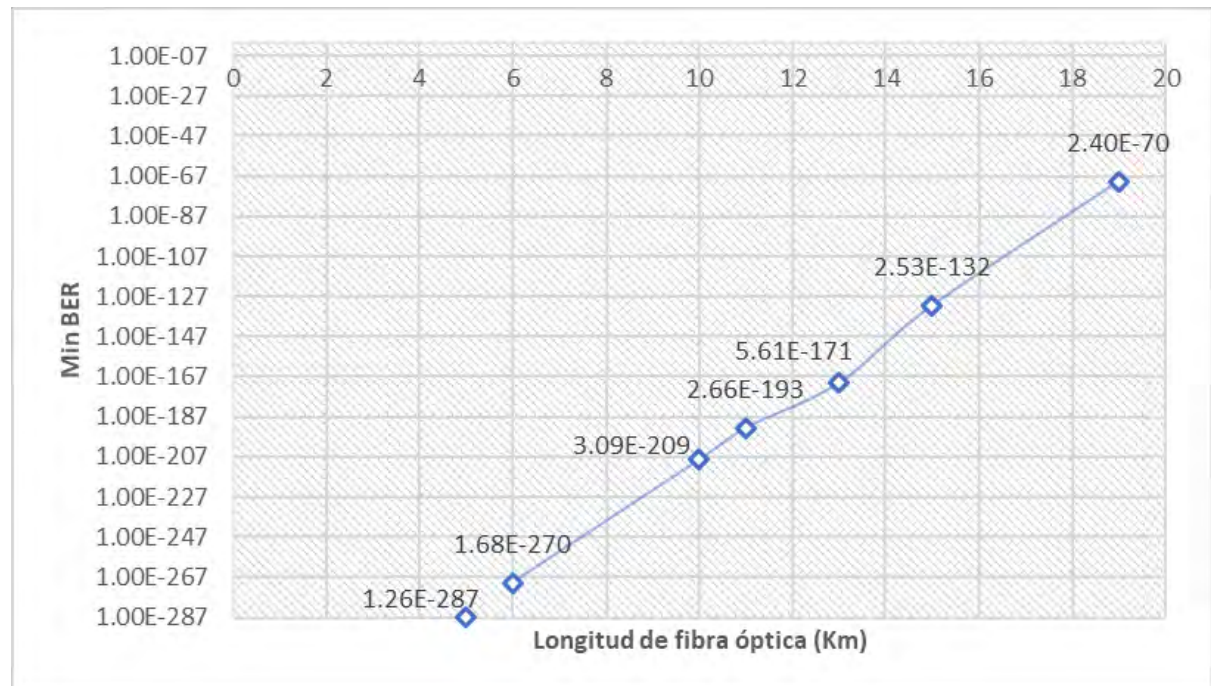
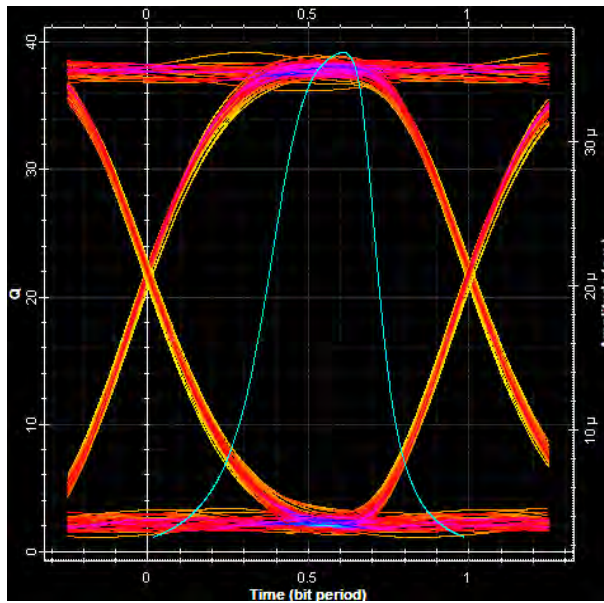


Figura 96. Comportamiento del min BER medio con respecto a la longitud de fibra óptica

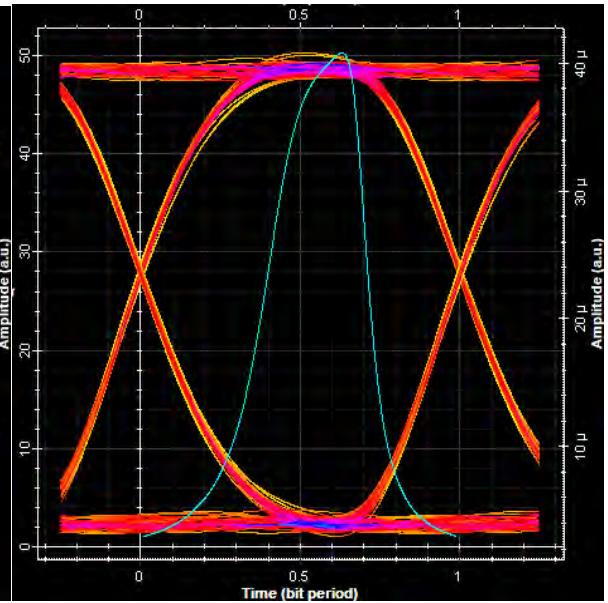
Fuente. Elaboración Propia.

El diagrama de ojo es el método utilizado para el análisis del comportamiento de los enlaces ópticos donde se puede analizar los desfases, niveles de ruido, distorsión del canal y los errores de sincronismo del canal [36]. La Figura 105 muestra los diagramas de ojo de cada punto de acceso de radio de la red diseñada:

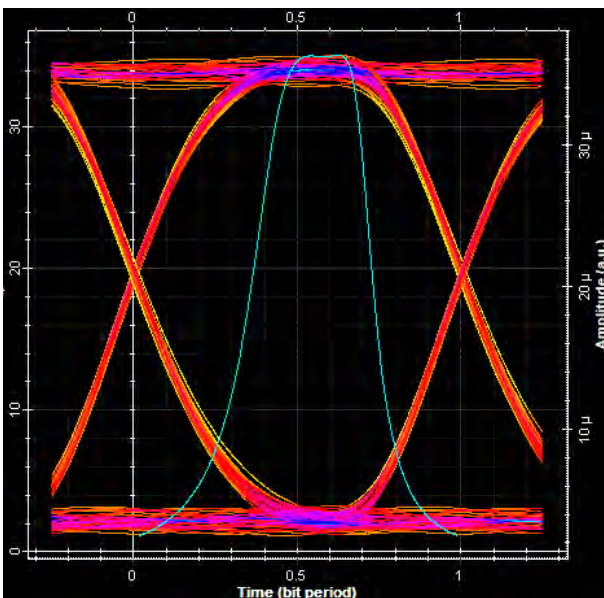
RAP 1



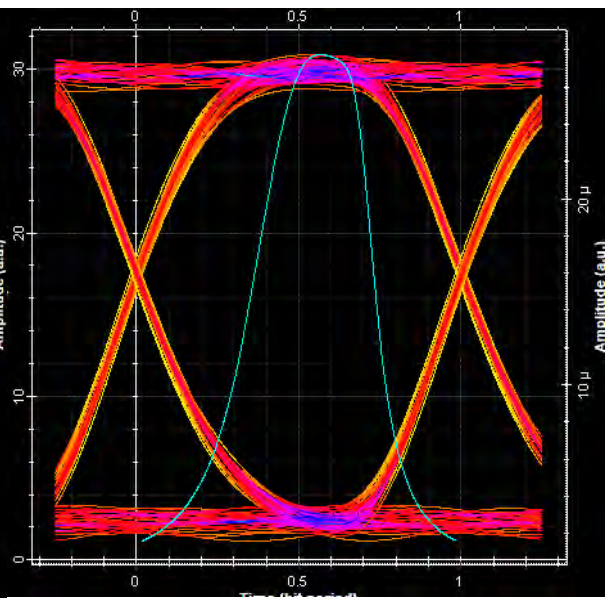
RAP 2



RAP 3

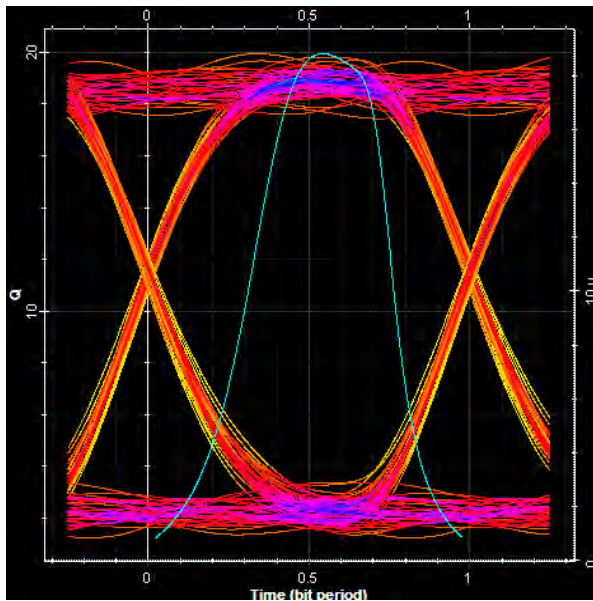


RAP 4

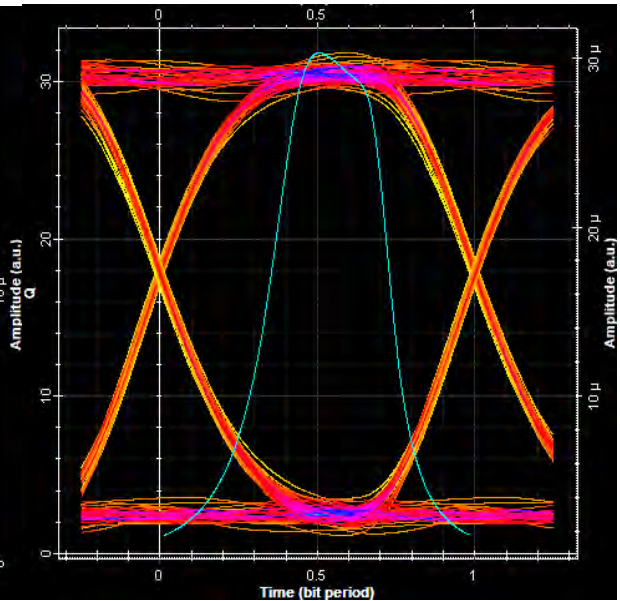




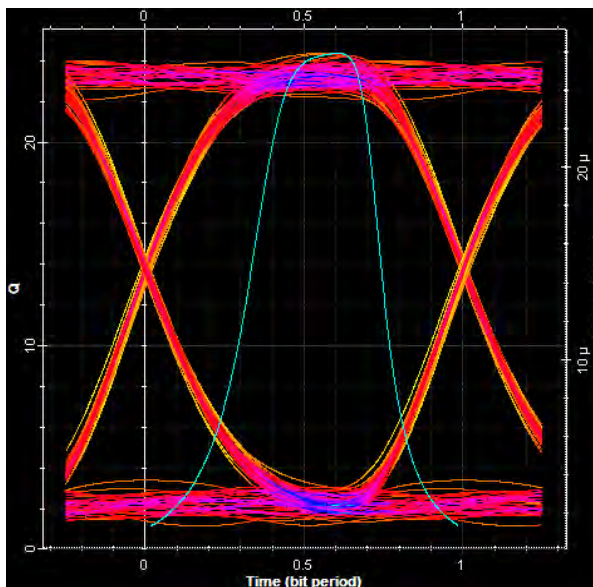
RAP 5



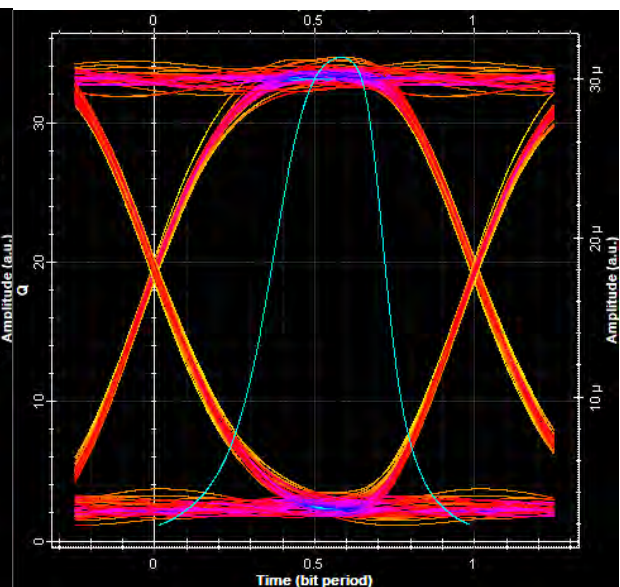
RAP 6



RAP 7



RAP 8



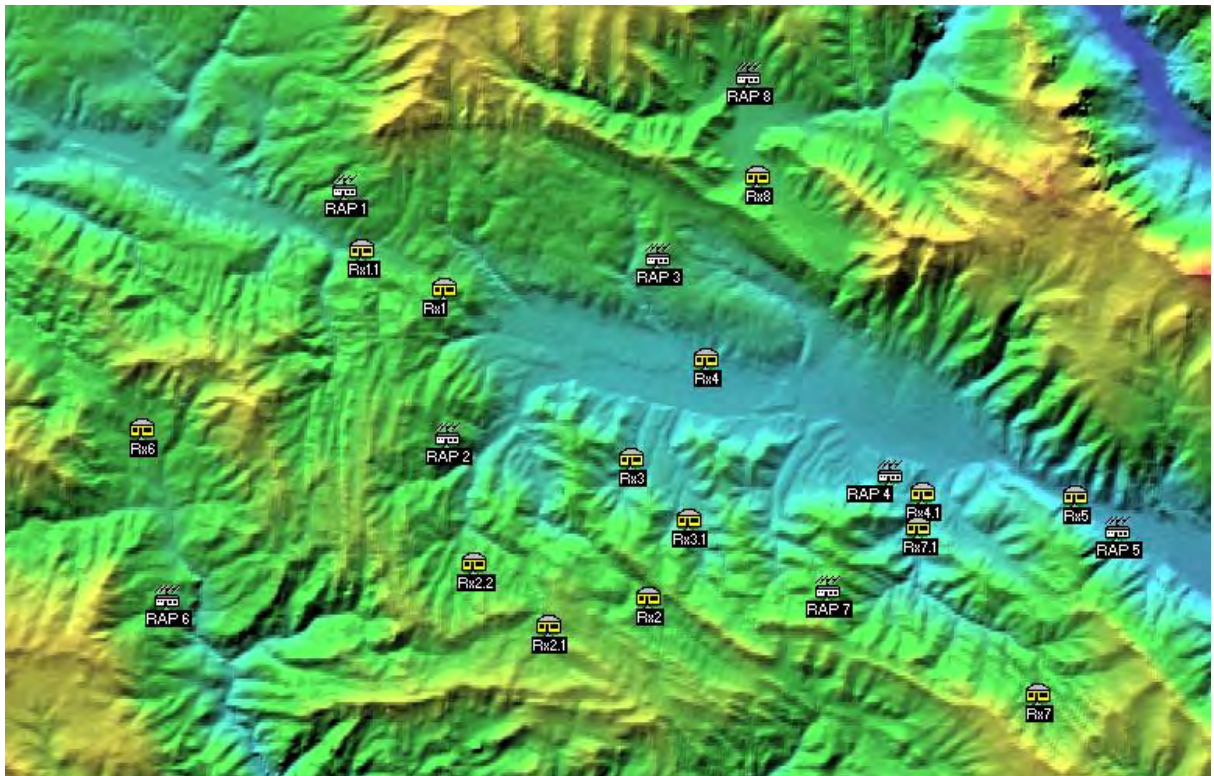
**Figura 97. Diagrama de ojo de cada RAP**

*Fuente.* Elaboración Propia.

Con los resultados obtenidos, el enlace óptico diseñado, tiene la capacidad de transmitir los canales de TV digital diseñados mediante la fibra óptica, debido a que un canal ISDB-T tiene una tasa de bits aproximadamente de 23 Mbps, por lo tanto, no habrá pérdida en la calidad de imagen y audio y se podrá transmitir a la zona de cobertura deseada.

#### 5.4. Simulación de la Cobertura ISDB-T

Para la simulación de la cobertura ISDB-T se utilizó la herramienta Radio Mobile que nos permite simular comunicaciones en radiofrecuencia. La Figura 98, muestra la ubicación de los puntos de acceso de radio en la interfaz del software, también se muestra la ubicación de los receptores (representan a la muestra de baja cobertura respectiva del estudio de cobertura) más lejanos del área de cobertura que ofrece cada RAP:



*Figura 98. Ubicación de los RAP y receptores*

*Fuente. Elaboración Propia.*

La Tabla 42 muestra la distancia entre los RAP con sus respectivos receptores, lo cual indica el área de cobertura que se desea cubrir para cada RAP.

Tabla 42. Distancia entre el RAP y el receptor

Punto de Acceso de Radio	Receptor	Referencia del Receptor	Distancia entre el RAP y el receptor	Radio de cobertura (Aprox.)
RAP 1	Rx1	Muestra CU043	3.87 Km	4 Km
	Rx1.1	Muestra CU045	1.70 Km	
RAP 2	Rx2	Muestra ST065	7.09 Km	7.5 Km
	Rx2.1	Muestra ST062	5.91 Km	
	Rx2.2	Muestra ST061	3.58 Km	
RAP 3	Rx3	Muestra SS056	5.61 Km	7.5 Km
	Rx3.1	Muestra SS074	7.29 Km	
RAP 4	Rx4	Muestra SS008	5.97 Km	6 Km
	Rx4.1	Muestra SJ031	1.02 Km	
RAP 5	Rx5	Muestra SA005	1.50 Km	2 Km
RAP 6	Rx6	Muestra CC004	4.73 Km	5 Km
RAP 7	Rx7	Muestra SJ035	6.46 Km	7 Km
	Rx7.1	Muestra SJ032	3.03 Km	
RAP 8	Rx8	Muestra SS066	2.74 Km	3 Km

Fuente. Elaboración Propia.

La Tabla 43 muestra los parámetros de los repetidores de TV y la antena omni propuesta en cada RAP considerando las pérdidas en RF de la Tabla 37:

Tabla 43. Parámetros de los repetidores de TV

Punto de Acceso de Radio	Altura de la Antena (m)	Potencia requerida por Canal (Watt)	Potencia requerida total (Watt)	Ganancia (dBd)	Pérdidas de línea (dB)
RAP 1	25	4	32	8	11.953
RAP 2	15	11.5	92	8	10.319
RAP 3	20	11.5	92	8	11.136
RAP 4	20	8	64	8	11.136
RAP 5	10	1	8	8	9.502
RAP 6	10	5	40	8	9.502
RAP 7	25	10	80	8	11.953
RAP 8	15	2	16	8	10.319

Fuente. Elaboración Propia.

La Figura 99 muestra la configuración de los parámetros del transmisor en el software, como ejemplo se muestra el transmisor del RAP 1:

00	Seleccionar desde VHF ... UHF ...	
Nombre del sistema	Tx1	
Potencia del Transmisor (Watt)	32	(dBm) 45.1
Umbral del receptor (µV)	31.6228	(dBm) -77
Pérdida de la línea (dB)	11.953	( Cable+cavidades+conectores )
Tipo de antena	omni.ant	Ver
Ganancia de antena (dBi)	10.15	(dBd) 8
Altura de antena (m)	25	( Sobre el suelo )
Pérdida adicional cable (dB/m)	0	( Si la altura de la antena difiere )
Agregar a Radiosys.dat		Remover del Radiosys.dat

**Figura 99. Parámetros del repetidor de TV en Radio Mobile**  
*Fuente.* Elaboración Propia.

Para el caso del receptor, se consideró los mismos parámetros de la antena digital Greentek UVR-AV304N usada para el estudio de cobertura cuya ganancia es de 4 dBi y el umbral de recepción es de -77 dBm. La Figura 100, muestra la configuración de los parámetros del receptor en el software considerando una altura de recepción de 2 m.

00 Seleccionar desde VHF ... UHF ...

Nombre del sistema Rx

Potencia del Transmisor (Watt) 0 (dBm) -90

Umbral del receptor ( $\mu$ V) 31.6228 (dBm) -77

Pérdida de la línea (dB) 1 ( Cable+cavidades+conectores )

Tipo de antena omni.ant Ver

Ganancia de antena (dBi) 4 (dBd) 1.85

Altura de antena (m) 2 ( Sobre el suelo )

Pérdida adicional cable (dB/m) 0 ( Si la altura de la antena difiere )

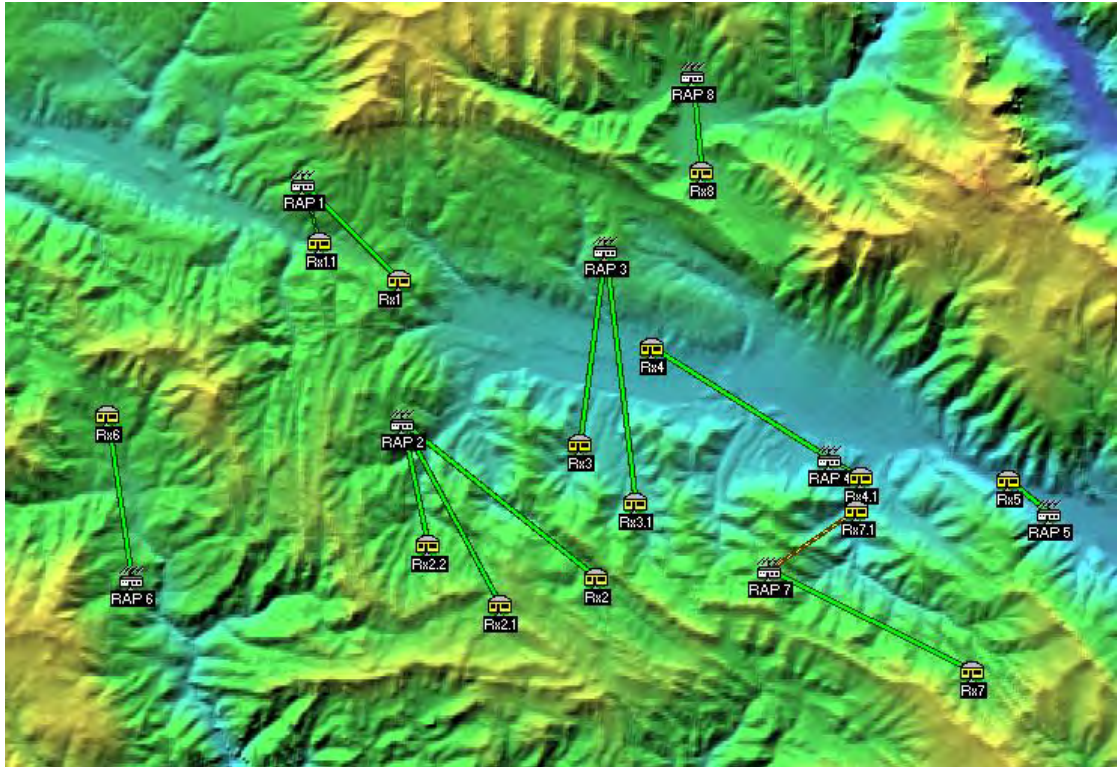
Agregar a Radiosys.dat Remover del Radiosys.dat

Figura 100. Parámetros del receptor en Radio Mobile

Fuente. Elaboración Propia.

#### 5.4.1. Resultados de la Simulación de la Cobertura ISDB-T

La Figura 101 muestra la comunicación entre los puntos de acceso de radio con sus respectivos receptores (Para este caso se muestra la comunicación en 485 MHz). Se puede apreciar la línea verde entre ellas que indica la buena comunicación, también la línea amarilla que indica una comunicación mínima. Esto indica que existe una mejora de cobertura ISDB-T, debido a que en la actualidad existe una baja cobertura en los receptores mostrados en la figura. Por lo tanto, se realizó la misma evaluación para todas las muestras que presentan baja y mínima cobertura en los ocho canales ISDB-T que se transmitirán y los resultados se mostraran en secciones siguientes.



**Figura 101. Comunicación ISDB-T en Radio Mobile**  
*Fuente. Elaboración Propia.*

La Figura 102 muestra el enlace de radio de la red diseñada, en este caso la comunicación entre el RAP 1 y el receptor 1 (RX 1) donde la señal de recepción es de 46.2 dBm indicando una cobertura óptima. La Figura 103 muestra el enlace de radio entre el RAP 2 y el receptor 2 (RX 2) donde la señal de recepción es de -61.7 dBm indicando una cobertura regular. Sin embargo, en la Figura 104 muestra en enlace de radio entre la RAP 7 y el receptor 7.1 (RX 7.1) donde la señal de recepción es de 76.3 dBm indicando una cobertura mínima.

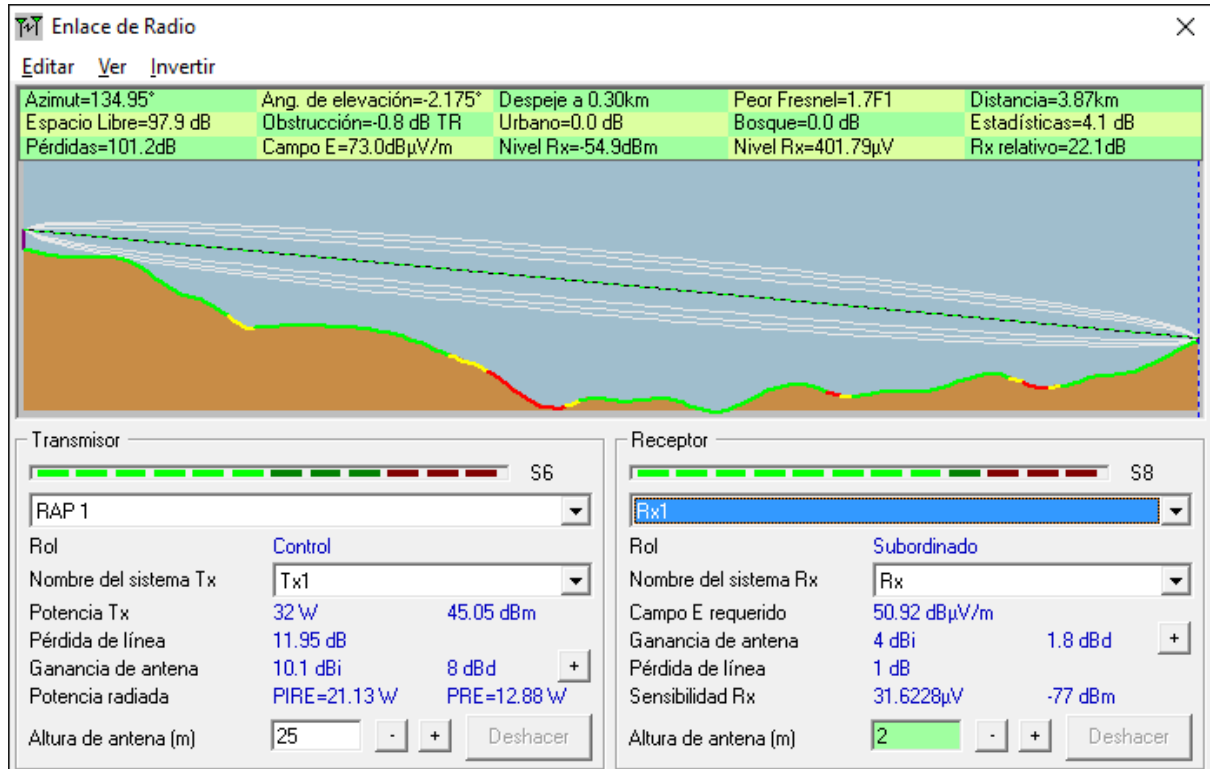


Figura 102. Enlace de radio en el RAP 1 – Cobertura óptima  
Fuente. Elaboración Propia.

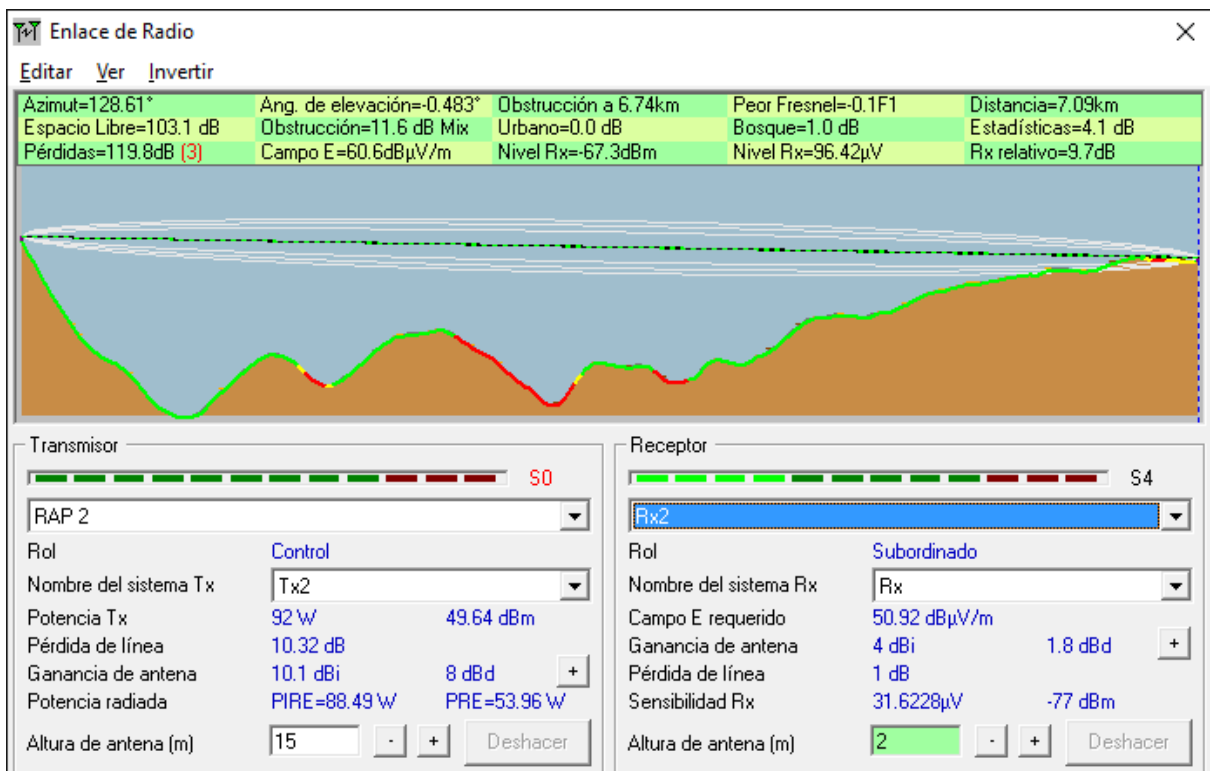


Figura 103. Enlace de radio en el RAP 2 – Cobertura regular  
Fuente. Elaboración Propia.

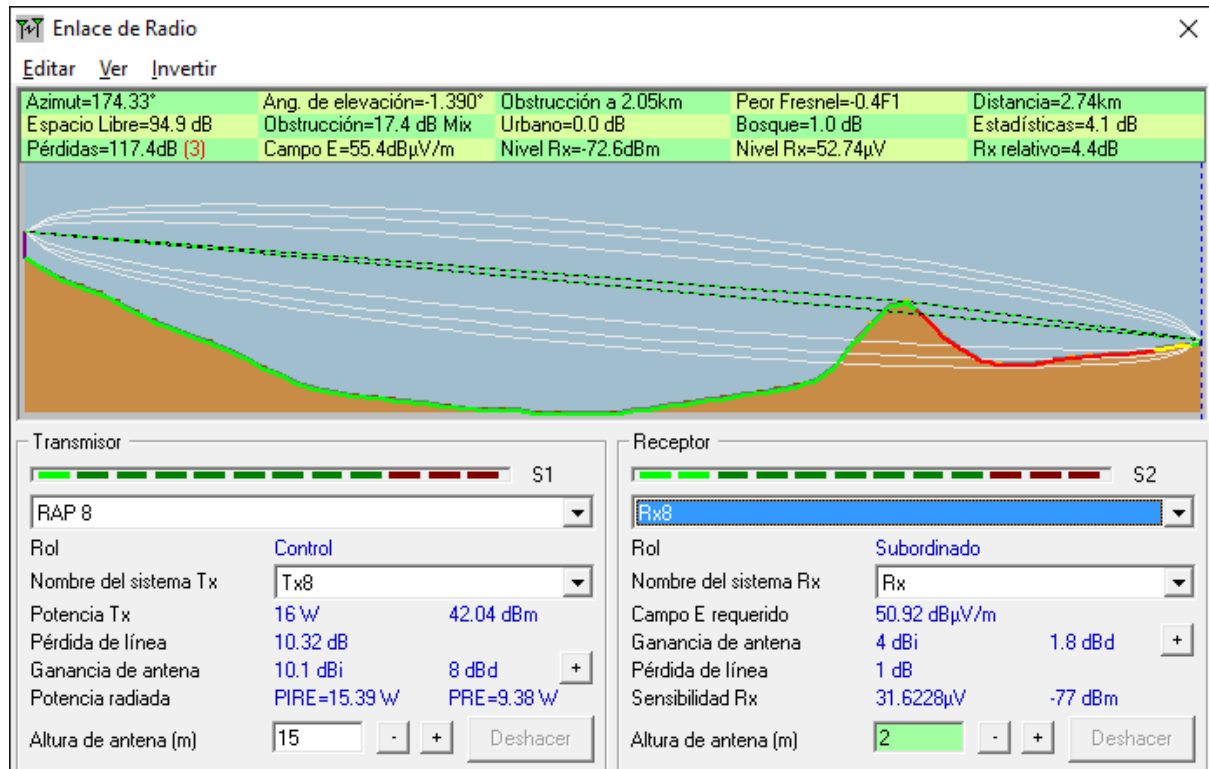


Figura 104. Enlace de radio en el RAP 8 – Cobertura mínima  
Fuente. Elaboración Propia.

#### 5.4.1.1. Recolección de Datos de la Simulación de Cobertura ISDB-T

En esta sección se registra la recepción de intensidad de señal de la red diseñada para las muestras con cobertura baja y mínima del estudio de cobertura que se realizó en el capítulo 3 con el objetivo de evaluar la mejoría de la cobertura ISDB-T en función a un pronóstico. Como la frecuencia 605 MHz no será transmitida, se mantendrá el valor medido en el estudio de cobertura. Cada punto de acceso de radio es distribuido con sus respectivas muestras que pertenecen al área de cobertura que ofrece cada uno, y cada muestra es referenciado con el mismo código que se denominó en la Tabla 10. Las Tablas 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 y 51, muestran la nueva recepción de intensidad de señal para las muestras que actualmente tienen cobertura baja, y las Tablas 52, 53, 54, 55 y 56, muestran la nueva recepción de intensidad de señal para las muestras que actualmente tienen cobertura mínima.



5.4.1.1.1. Pronóstico de Mejora para Cobertura ISDB-T Baja

Tabla 44. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 1 – Cobertura baja

<b>RAP 1: Sencca - Poroy</b>										
N°	FRECUCENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU035	-63.20	-63.40	-63.60	-63.80	-64.00	-64.20	-64.70	-81.61	-65.30	-65.98
CU037	-74.50	-74.90	-77.30	-75.80	-76.00	-76.40	-77.40	-82.53	-78.40	-77.03
CU038	-64.90	-64.90	-65.00	-65.00	-65.10	-65.10	-65.30	-84.19	-65.40	-67.21
CU039	-67.10	-67.30	-67.60	-67.70	-67.90	-68.10	-68.60	-83.59	-69.00	-69.65
CU040	-66.60	-66.70	-66.80	-66.90	-66.90	-67.00	-67.10	-82.05	-67.30	-68.59
CU041	-61.00	-61.20	-61.40	-61.50	-61.70	-61.90	-62.40	-83.71	-63.00	-64.20
CU042	-66.30	-66.50	-66.70	-66.90	-67.10	-67.30	-67.90	-83.08	-68.60	-68.93
CU043	-66.60	-66.70	-66.80	-66.90	-67.00	-67.10	-67.70	-80.50	-68.50	-68.64
CU045	-70.50	-71.10	-71.70	-72.20	-72.80	-73.30	-74.40	-83.55	-76.30	-73.98
PR001	-72.30	-72.60	-72.90	-73.20	-73.50	-73.80	-74.60	-82.29	-75.30	-74.50
PR002	-71.10	-71.30	-71.50	-71.70	-71.80	-72.00	-72.50	-82.32	-72.90	-73.01
PR004	-52.70	-52.00	-52.80	-52.90	-53.00	-53.00	-53.50	-83.60	-54.10	-56.40
PR005	-63.10	-63.30	-63.50	-63.70	-63.90	-64.00	-64.30	-82.18	-64.40	-65.82

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 45. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 2 – Cobertura baja

<b>RAP 2: Jaquira - Santiago</b>										
N°	FRECUCENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU011	-65.10	-65.20	-65.20	-65.30	-65.30	-65.40	-65.50	-82.49	-65.80	-67.25
CU067	-74.40	-74.60	-74.80	-75.00	-75.20	-75.40	-75.90	-82.45	-76.40	-76.02
ST025	-64.40	-64.60	-64.80	-64.90	-65.10	-65.30	-65.80	-81.15	-66.20	-66.92
ST026	-50.30	-49.70	-49.40	-49.10	-48.90	-48.80	-49.10	-81.97	-50.00	-53.03
ST028	-73.80	-74.40	-74.80	-75.30	-75.70	-76.20	-77.40	-82.36	-78.50	-76.50
ST029	-68.50	-68.80	-69.10	-69.30	-69.60	-69.90	-70.60	-80.76	-71.30	-70.87
ST032	-55.70	-56.10	-56.50	-57.00	-57.40	-57.80	-58.70	-79.26	-59.00	-59.72
ST033	-69.00	-60.90	-57.20	-55.10	-53.90	-53.30	-54.60	-79.43	-62.40	-60.65
ST036	-53.30	-53.20	-53.20	-53.30	-53.50	-53.80	-55.00	-81.67	-56.30	-57.03
ST037	-50.10	-50.90	-51.60	-52.50	-53.40	-54.40	-58.30	-81.19	-64.80	-57.47
ST039	-52.90	-53.00	-52.70	-52.30	-52.10	-52.30	-54.40	-81.62	-53.80	-56.12
ST059	-54.40	-54.60	-54.80	-55.00	-55.10	-55.30	-55.70	-81.32	-56.20	-58.05
ST060	-51.60	-51.80	-52.00	-52.10	-52.30	-52.50	-53.00	-81.48	-53.40	-55.58
ST061	-73.80	-74.10	-74.40	-74.70	-75.00	-75.30	-76.10	-83.22	-76.90	-75.95

ST062	-72.30	-72.50	-72.80	-73.00	-73.10	-73.30	-73.90	-81.41	-74.40	-74.08
ST063	-51.60	-52.10	-52.70	-53.40	-54.40	-55.50	-60.80	-80.99	-78.40	-59.99
ST065	-70.30	-70.50	-70.70	-70.80	-71.00	-71.10	-71.60	-83.21	-72.00	-72.36

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 46. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 3 – Cobertura baja

<b>RAP 3: Quillahuata – San Sebastián</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU015	-52.00	-52.10	-52.10	-52.20	-52.20	-52.20	-52.40	-79.61	-52.70	-55.28
CU016	-51.90	-52.00	-52.10	-52.20	-52.30	-52.30	-52.40	-82.85	-52.60	-55.63
CU031	-67.40	-67.50	-67.70	-67.90	-68.00	-68.20	-68.60	-80.45	-69.10	-69.43
CU032	-63.60	-63.80	-64.10	-64.30	-64.40	-64.60	-65.10	-81.96	-65.50	-66.37
CU068	-53.30	-53.40	-53.60	-53.70	-53.80	-64.00	-54.40	-82.49	-54.70	-58.15
SS010	-70.00	-70.50	-71.00	-71.40	-71.90	-72.30	-72.60	-82.25	-74.20	-72.91
SS022	-73.70	-74.00	-74.20	-74.50	-74.80	-75.10	-75.80	-81.21	-76.60	-75.55
SS041	-55.60	-55.80	-56.10	-56.30	-56.60	-56.90	-57.80	-83.03	-59.00	-59.68
SS042	-58.30	-58.50	-58.60	-58.80	-58.90	-59.10	-59.60	-81.96	-60.00	-61.53
SS044	-56.70	-56.90	-57.10	-57.30	-66.40	-64.90	-62.00	-81.42	-60.30	-62.56
SS045	-62.30	-62.60	-62.90	-63.20	-63.50	-63.70	-64.30	-82.72	-64.70	-65.55
SS050	-71.50	-71.70	-71.90	-72.10	-72.30	-72.40	-73.00	-80.76	-73.40	-73.23
SS056	-62.50	-63.30	-63.80	-64.10	-64.10	-63.80	-63.30	-82.21	-64.70	-65.76
SS057	-56.30	-56.40	-56.70	-56.90	-57.20	-57.60	-60.00	-82.08	-64.70	-60.88
SS063	-70.90	-71.00	-71.20	-71.30	-71.50	-71.60	-72.00	-83.19	-72.40	-72.79
SS064	-56.60	-56.80	-57.00	-57.30	-57.60	-58.00	-60.10	-81.32	-64.60	-61.04
SS065	-48.00	-48.10	-48.20	-48.30	-48.50	-48.60	-49.00	-83.04	-49.40	-52.35
SS070	-60.20	-61.00	-61.90	-62.80	-63.90	-65.00	-69.60	-82.07	-64.00	-65.61
SS074	-64.10	-65.00	-65.70	-66.10	-66.10	-65.90	-65.20	-82.35	-65.30	-67.31
SS075	-65.70	-65.80	-65.40	-65.00	-64.90	-65.10	-67.30	-79.67	-66.50	-67.26
SS076	-70.20	-70.50	-70.80	-72.00	-72.30	-72.50	-73.20	-81.92	-73.90	-73.04
ST022	-63.60	-63.50	-63.30	-63.10	-63.00	-63.00	-63.80	-80.79	-65.50	-65.51
ST023	-61.10	-61.70	-62.30	-63.00	-63.60	-64.30	-66.60	-80.68	-69.20	-65.83
ST024	-58.00	-57.80	-57.70	-57.80	-57.80	-58.00	-58.60	-81.61	-59.60	-60.77
ST050	-57.30	-56.80	-56.50	-56.40	-56.40	-56.40	-56.80	-79.65	-57.60	-59.32
ST051	-56.20	-56.20	-56.30	-56.50	-56.90	-57.50	-63.00	-81.09	-58.20	-60.21
ST052	-56.30	-56.20	-56.20	-56.40	-56.70	-57.20	-61.80	-81.13	-60.20	-60.24
ST053	-55.80	-56.10	-56.40	-56.90	-57.40	-58.20	-62.30	-79.57	-71.50	-61.57

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 47. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 4 – Cobertura baja

<b>RAP 4: Suclo Aucaylle - San Jerónimo</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
SJ005	-54.90	-55.10	-55.20	-55.40	-55.60	-55.70	-56.20	-80.81	-56.60	-58.39
SJ007	-49.40	-49.80	-50.10	-50.40	-50.70	-51.00	-51.80	-80.40	-52.50	-54.01
SJ008	-51.90	-52.10	-52.30	-52.50	-52.70	-52.90	-53.60	-78.38	-54.20	-55.62
SJ009	-49.00	-49.30	-49.70	-50.00	-50.30	-50.70	-51.50	-81.26	-52.30	-53.78
SJ010	-52.00	-52.20	-52.40	-52.60	-52.80	-53.00	-53.60	-81.24	-54.20	-56.00
SJ011	-56.70	-56.70	-56.70	-56.80	-56.80	-56.80	-56.90	-78.11	-57.00	-59.17
SJ016	-57.10	-57.30	-57.50	-57.60	-57.80	-58.00	-58.40	-82.50	-58.90	-60.57
SJ017	-62.80	-63.10	-63.30	-63.50	-63.70	-63.80	-64.40	-83.02	-64.90	-65.84
SJ020	-52.90	-53.10	-53.30	-53.50	-53.70	-53.90	-54.50	-79.31	-55.00	-56.58
SJ021	-55.30	-55.50	-55.70	-55.80	-56.00	-56.10	-56.50	-82.03	-56.90	-58.87
SJ022	-73.80	-75.30	-75.80	-76.20	-76.70	-77.20	-78.50	-81.31	-74.70	-76.61
SJ026	-69.00	-69.50	-70.00	-70.40	-70.90	-71.30	-72.60	-78.66	-73.80	-71.80
SJ027	-59.20	-59.40	-59.60	-59.70	-59.90	-60.10	-60.50	-82.11	-61.00	-62.39
SJ028	-57.80	-58.00	-58.20	-58.30	-58.50	-58.70	-59.20	-81.62	-59.70	-61.11
SJ030	-68.80	-69.10	-69.30	-69.60	-69.90	-70.10	-70.80	-81.90	-71.50	-71.22
SJ031	-70.80	-70.70	-71.20	-71.80	-72.30	-72.80	-72.30	-81.00	-73.80	-72.97
SS008	-69.30	-69.50	-69.60	-69.70	-69.90	-70.00	-70.40	-82.56	-70.80	-71.31
SS013	-68.70	-68.90	-69.00	-69.10	-69.20	-69.30	-69.70	-84.19	-70.00	-70.90
SS015	-59.40	-59.60	-59.80	-59.90	-60.10	-60.30	-60.80	-80.42	-61.40	-62.41
SS017	-65.40	-65.60	-65.70	-65.90	-66.00	-66.20	-66.60	-79.72	-66.90	-67.56
SS025	-64.00	-64.20	-64.40	-64.60	-64.80	-65.00	-65.50	-83.31	-66.10	-66.88
SS026	-63.20	-63.50	-63.80	-64.10	-64.40	-64.70	-65.50	-83.89	-66.00	-66.57
SS028	-73.80	-73.90	-74.10	-74.30	-74.40	-74.60	-75.00	-80.50	-75.50	-75.12
SS029	-62.80	-63.00	-63.10	-63.30	-63.40	-63.60	-64.10	-83.44	-64.50	-65.69
SS034	-70.40	-70.80	-71.20	-71.60	-75.30	-75.60	-76.70	-82.22	-77.60	-74.60
SS035	-67.00	-67.20	-67.30	-67.40	-67.60	-67.70	-68.10	-81.42	-68.40	-69.12
SS036	-60.50	-60.60	-60.70	-61.20	-61.30	-61.30	-61.50	-82.19	-61.80	-63.45
SS037	-69.90	-70.20	-70.40	-70.60	-70.90	-71.10	-71.70	-82.86	-72.30	-72.22
SS038	-63.10	-63.30	-63.40	-63.50	-63.60	-63.70	-64.10	-81.47	-64.40	-65.62
SS039	-62.20	-62.50	-62.70	-63.00	-63.20	-63.50	-64.20	-83.91	-65.00	-65.58
SS040	-63.50	-63.70	-63.80	-63.90	-64.00	-64.10	-64.40	-81.51	-64.70	-65.96
SS051	-65.60	-65.80	-66.00	-66.20	-66.40	-66.60	-67.10	-82.40	-67.70	-68.20
SS052	-67.40	-67.60	-67.90	-68.10	-68.40	-68.60	-69.30	-81.17	-69.90	-69.82
SS055	-58.90	-59.10	-59.20	-59.40	-59.60	-59.80	-60.30	-82.14	-60.80	-62.14
SS069	-58.70	-59.00	-59.30	-59.50	-59.80	-60.10	-60.90	-81.08	-61.70	-62.23

SS071	-73.50	-73.10	-73.60	-74.40	-74.20	-74.50	-75.90	-83.84	-75.50	-75.39
SA001	-73.80	-74.00	-74.30	-74.50	-74.70	-74.90	-75.40	-82.73	-76.00	-75.59

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 48. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 5 – Cobertura baja

<b>RAP 5: Condebamba - Saylla</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
SA002	-53.90	-54.10	-54.20	-54.40	-54.60	-54.70	-55.30	-80.79	-55.90	-57.54
SA003	-42.50	-42.60	-42.80	-42.90	-43.10	-43.20	-43.60	-80.38	-44.00	-47.23
SA004	-44.50	-44.80	-45.00	-45.30	-45.60	-45.80	-46.60	-80.65	-47.40	-49.52
SA005	-40.80	-41.00	-41.10	-41.20	-41.40	-41.50	-42.10	-81.60	-42.50	-45.91
SA006	-47.30	-47.50	-47.60	-47.80	-48.00	-48.10	-48.60	-83.00	-49.00	-51.88
SA007	-48.20	-48.30	-48.50	-48.60	-48.80	-48.90	-49.40	-81.59	-49.80	-52.45

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 49. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 6 – Cobertura baja

<b>RAP 6: Ccorca Ayllu - Ccorca</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CC001	-53.40	-53.70	-53.90	-54.10	-54.20	-54.30	-54.60	-81.30	-54.70	-57.13
CC002	-46.10	-46.20	-46.40	-46.50	-46.70	-46.80	-47.20	-81.95	-47.60	-50.61
CC003	-56.70	-56.80	-57.00	-57.20	-57.40	-57.60	-58.10	-81.87	-58.60	-60.14
CC004	-67.00	-67.20	-67.30	-67.50	-67.60	-67.80	-68.20	-81.73	-68.60	-69.21
CC005	-57.60	-57.80	-57.90	-58.10	-58.20	-58.40	-58.80	-81.63	-59.10	-60.84
CC006	-60.20	-60.40	-60.50	-60.70	-60.90	-61.10	-61.60	-82.31	-62.10	-63.31

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 50. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 7 – Cobertura baja

<b>RAP 7: Kircas – San Sebastián</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
SJ033	-54.20	-54.60	-55.20	-55.70	-56.20	-56.70	-57.00	-81.39	-56.50	-58.61
SJ034	-70.00	-70.20	-70.40	-70.60	-70.80	-70.90	-71.50	-81.29	-72.00	-71.97
SJ035	-70.30	-70.50	-70.70	-70.90	-71.00	-71.20	-71.70	-81.78	-72.10	-72.24
SS070	-58.50	-57.80	-57.30	-56.90	-56.70	-56.70	-56.90	-82.51	-57.50	-60.09
SS077	-68.00	-68.30	-68.50	-68.80	-69.00	-69.30	-70.00	-82.97	-70.70	-70.62

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 51. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 8 – Cobertura baja

<b>RAP 8: Sequeraccay – Cusco</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU069	-57.70	-57.80	-58.00	-58.20	-58.30	-58.50	-59.00	-81.71	-59.40	-60.96
CU070	-60.60	-61.10	-61.50	-61.90	-62.30	-62.70	-63.30	-80.61	-63.40	-64.16
SS067	-69.20	-64.40	-69.60	-69.80	-70.00	-70.20	-70.70	-80.83	-71.10	-70.65
SS068	-58.20	-58.60	-59.00	-59.40	-59.80	-60.20	-61.50	-81.96	-63.00	-62.41

Fuente. Elaboración Propia.

#### 5.4.1.1.2. Pronóstico de Mejora para la Cobertura ISDB-T Mínima

Tabla 52. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 1 – Cobertura mínima

<b>RAP 1: Sencca - Poroy</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU036	-67.70	-67.90	-68.00	-68.20	-68.40	-68.50	-68.90	-73.97	-69.30	-68.99
PR003	-63.00	-62.00	-61.20	-60.50	-60.00	-59.70	-59.40	-75.23	-59.80	-62.31
PR006	-50.00	-50.30	-50.70	-51.00	-51.20	-51.50	-52.40	-72.22	-53.10	-53.60

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 53. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 2 – Cobertura mínima

<b>RAP 2: Jaquira - Santiago</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU014	-64.70	-65.00	-65.20	-65.50	-65.80	-66.00	-66.80	-69.48	-67.60	-66.23
CU022	-54.30	-54.50	-54.60	-54.80	-55.10	-55.20	-55.70	-74.17	-56.20	-57.17
ST001	-55.90	-56.00	-56.20	-56.30	-56.50	-56.60	-57.20	-70.28	-56.80	-57.98
ST016	-64.20	-66.00	-68.20	-71.00	-75.10	-65.50	-73.70	-71.13	-67.00	-69.09
ST027	-55.60	-55.80	-56.10	-56.30	-56.50	-56.70	-57.10	-69.20	-57.30	-57.84
ST030	-68.50	-69.00	-69.40	-69.80	-70.30	-70.70	-71.60	-66.61	-73.00	-69.88
ST034	-56.10	-56.00	-56.00	-55.90	-56.00	-56.10	-56.90	-62.72	-58.30	-57.11
ST064	-68.00	-68.20	-68.30	-68.50	-68.60	-68.80	-69.20	-67.84	-69.50	-68.55

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 54. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 3 – Cobertura mínima

<b>RAP 3: Quillahuata – San Sebastián</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
CU001	-63.20	-63.70	-64.20	-64.60	-65.00	-65.50	-66.70	-74.54	-67.90	-66.15
CU020	-65.30	-65.60	-65.80	-66.00	-66.30	-66.50	-67.20	-74.84	-67.80	-67.26
CU047	-63.30	-63.60	-63.90	-64.20	-64.50	-64.80	-65.60	-73.96	-66.10	-65.55
CU049	-62.20	-62.50	-62.80	-63.10	-63.40	-63.70	-64.60	-72.66	-65.30	-64.47
CU059	-54.70	-55.80	-56.60	-58.20	-59.70	-61.50	-69.90	-67.35	-74.30	-62.01
CU060	-63.30	-63.50	-63.70	-63.90	-64.10	-64.20	-64.70	-73.69	-65.20	-65.14
CU062	-68.10	-68.20	-68.40	-68.60	-68.70	-68.90	-69.30	-73.22	-69.80	-69.25
SS009	-67.70	-68.10	-68.50	-69.00	-69.50	-69.90	-71.20	-68.90	-72.40	-69.47
SS024	-59.00	-59.30	-59.50	-59.70	-60.00	-60.20	-60.80	-73.96	-61.50	-61.55
SS030	-59.90	-60.20	-60.50	-60.70	-61.00	-61.30	-62.10	-68.28	-62.90	-61.88
SS031	-65.50	-65.70	-65.90	-66.00	-66.20	-66.40	-66.90	-73.54	-66.40	-66.95
SS043	-62.30	-62.40	-62.30	-62.10	-61.90	-61.80	-62.30	-71.72	-63.90	-63.41
SS046	-61.70	-62.00	-62.30	-62.70	-63.00	-63.40	-64.60	-67.02	-65.40	-63.57
SS053	-68.80	-69.10	-68.50	-68.80	-69.20	-69.50	-70.40	-71.27	-71.30	-69.65
SS062	-61.30	-60.20	-59.30	-58.70	-58.10	-57.70	-57.30	-74.97	-57.60	-60.57
SS066	-52.90	-53.10	-53.40	-53.60	-53.90	-54.20	-55.00	-73.34	-56.10	-56.17
ST020	-62.40	-62.50	-62.60	-62.60	-62.70	-62.70	-62.80	-66.67	-63.10	-63.12
ST021	-61.70	-61.70	-61.90	-62.20	-62.50	-62.90	-64.40	-67.47	-65.30	-63.34
ST041	-55.60	-55.50	-55.50	-55.60	-55.70	-55.80	-56.60	-72.01	-57.90	-57.80
ST046	-67.70	-67.90	-68.00	-68.10	-68.20	-68.30	-68.60	-66.76	-68.90	-68.05
ST054	-56.50	-57.10	-57.70	-58.40	-59.20	-60.00	-63.00	-74.06	-67.20	-61.46
ST055	-55.10	-55.90	-57.60	-60.10	-63.80	-70.90	-62.90	-72.27	-57.50	-61.79
WC004	-62.00	-62.20	-62.30	-62.50	-62.60	-62.80	-63.20	-72.31	-63.60	-63.72
WC012	-54.60	-54.80	-54.90	-55.10	-55.30	-55.50	-56.00	-71.00	-56.50	-57.08
WC014	-55.10	-55.50	-55.90	-56.40	-56.90	-57.50	-59.40	-64.21	-61.80	-58.08
WC016	-65.00	-65.40	-65.80	-66.30	-66.70	-67.10	-68.30	-67.96	-69.50	-66.90
WC017	-61.10	-61.50	-61.90	-62.20	-62.60	-63.00	-64.00	-67.78	-65.00	-63.23
WC018	-57.20	-57.60	-57.90	-58.20	-58.50	-58.80	-59.60	-69.73	-60.40	-59.77
WC020	-58.10	-58.20	-58.30	-58.40	-58.50	-58.60	-58.90	-72.98	-59.30	-60.14

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 55. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 4 – Cobertura mínima

<b>RAP 4: Suclo Aucaylle - San Jerónimo</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
SJ002	-61.80	-62.00	-62.10	-62.30	-62.40	-62.60	-63.00	-72.84	-63.40	-63.60
SJ003	-62.90	-63.00	-63.20	-63.30	-63.40	-63.50	-63.90	-71.21	-64.20	-64.29
SJ004	-56.90	-57.00	-57.20	-57.30	-57.50	-57.70	-58.20	-72.46	-58.70	-59.22
SJ006	-52.10	-52.30	-52.50	-52.70	-52.90	-53.10	-53.70	-71.97	-54.30	-55.06
SJ015	-56.40	-56.60	-56.80	-57.00	-57.10	-57.30	-57.80	-69.42	-58.30	-58.52
SJ024	-50.10	-50.30	-50.50	-50.00	-51.00	-51.20	-51.70	-70.54	-52.30	-53.07
SS007	-65.70	-65.90	-66.10	-66.30	-66.40	-66.60	-67.10	-71.52	-67.50	-67.01
SS011	-50.80	-51.50	-52.20	-52.70	-53.10	-53.30	-53.10	-70.92	-52.30	-54.44
SS014	-66.50	-65.50	-64.60	-63.90	-63.30	-62.80	-61.90	-73.07	-61.70	-64.81
SS016	-63.70	-64.00	-64.30	-64.60	-64.90	-65.10	-65.80	-72.32	-66.20	-65.66
SS018	-66.00	-66.20	-66.30	-66.40	-66.60	-66.70	-67.10	-76.39	-67.50	-67.69
SS019	-54.70	-54.90	-55.10	-55.30	-55.50	-55.70	-56.20	-76.42	-56.70	-57.84
SS023	-67.10	-67.20	-67.40	-67.50	-67.70	-67.80	-68.20	-72.58	-68.60	-68.23
SS027	-63.30	-63.60	-63.90	-64.20	-64.50	-64.80	-65.60	-74.93	-66.20	-65.67
SS033	-60.40	-60.70	-61.00	-61.50	-61.80	-62.20	-63.20	-71.02	-64.20	-62.89
SS047	-61.70	-62.20	-62.60	-63.00	-63.40	-63.80	-65.00	-73.95	-66.10	-64.64
SS048	-64.00	-64.40	-64.90	-65.40	-65.80	-66.30	-67.60	-69.84	-68.90	-66.35
WC015	-58.30	-58.50	-58.80	-59.10	-59.30	-59.60	-60.30	-71.45	-61.00	-60.71

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 56. Nueva Intensidad de señal recibida (dBm) del RAP 7 – Cobertura mínima

<b>RAP 7: Kircas – San Sebastián</b>										
N°	FRECUENCIA (MHz) / POTENCIA RECIBIDA (dBm)									Media (dBm)
	485	497	509	521	533	545	581	605	617	
SS073	-67.80	-67.90	-68.00	-68.10	-68.20	-68.30	-68.60	-69.51	-68.80	-68.36
SS078	-68.50	-69.10	-69.50	-70.00	-70.40	-70.90	-72.10	-69.94	-73.40	-70.43

Fuente. Elaboración Propia.

Los RAPs 5, 6 y 8 no presentan muestras con cobertura mínima actualmente dentro de su área de cobertura porque están ubicadas en Ccorca, Saylla y la Comunidad Campesina de Sequeraccay respectivamente. Por lo tanto, solo existen muestras con cobertura baja en esas zonas.

#### 5.4.1.2. Procesamiento de las muestras simuladas

Luego de la recolección de datos, se contabilizó y se determinó el nivel simulado de recepción de la potencia recibida promedio para cada muestra, por lo tanto, en las Tablas 57 y 58, se distribuye por distritos, el nivel de recepción de todas las muestras para cada zona, acumulando las muestras con cobertura buena y regular actualmente:

- Zona Urbana:

Tabla 57. Cobertura simulada de la zona urbana en la provincia del Cusco

ZONA URBANA										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL MUESTRAS
DISTRITOS	CUSCO	8	13%	52	84%	2	3%	0	0%	62
	SAN JERONIMO	13	50%	11	42%	2	8%	0	0%	26
	SAN SEBASTIAN	7	11%	48	75%	9	14%	0	0%	64
	SANTIAGO	23	40%	33	57%	2	3%	0	0%	58
	SAYLLA	3	75%	0	0%	1	25%	0	0%	4
	WANCHAQ	6	20%	24	80%	0	0%	0	0%	30
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>60</b>	<b>25%</b>	<b>168</b>	<b>69%</b>	<b>16</b>	<b>7%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>244</b>

Fuente. Elaboración Propia.

- Zona Rural

Tabla 58. Cobertura simulada de la zona rural en la provincia del Cusco

ZONA RURAL										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL MUESTRAS
DISTRITOS	CUSCO	4	50%	3	38%	1	13%	0	0%	8
	CCORCA	4	57%	2	29%	0	0%	1	14%	7
	POROY	2	33%	2	33%	2	33%	0	0%	6
	SAN JERONIMO	2	22%	1	11%	4	44%	2	22%	9
	SAN SEBASTIAN	3	19%	9	56%	4	25%	0	0%	16
	SANTIAGO	3	43%	1	14%	3	43%	0	0%	7
	SAYLLA	3	100%	0	0%	0	0%	0	0%	3
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>21</b>	<b>38%</b>	<b>18</b>	<b>32%</b>	<b>14</b>	<b>25%</b>	<b>3</b>	<b>5%</b>	<b>56</b>

Fuente. Elaboración Propia.



### 5.4.1.3. Pronóstico de Cobertura ISDB-T

En las Tablas 59 y 60, se distribuye por distritos la cobertura simulada de la población para cada zona, y en la Tabla 61, se distribuye por distritos la cobertura simulada total de toda provincia del Cusco.

- Zona Urbana:

Tabla 59. Pronóstico de cobertura ISDB-T para la zona urbana en la provincia del Cusco

ZONA URBANA										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL POBLACIÓN
DISTRITOS	CUSCO	2084	13%	13543	84%	521	3%	0	0%	16148
	SAN JERONIMO	4320	50%	3655	42%	665	8%	0	0%	8639
	SAN SEBASTIAN	2070	11%	14198	75%	2662	14%	0	0%	18930
	SANTIAGO	6388	40%	9166	57%	556	3%	0	0%	16110
	SAYLLA	389	75%	0	0%	130	25%	0	0%	519
	WANCHAQ	1291	20%	5166	80%	0	0%	0	0%	6457
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>16543</b>	<b>25%</b>	<b>45728</b>	<b>68%</b>	<b>4533</b>	<b>7%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>66803</b>

Fuente. Elaboración Propia.

- Zona Rural:

Tabla 60. Pronóstico de cobertura ISDB-T para la zona rural en la provincia del Cusco

ZONA RURAL										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL POBLACIÓN
DISTRITOS	CUSCO	206	50%	154	38%	51	13%	0	0%	411
	CCORCA	97	57%	49	29%	0	0%	24	14%	170
	POROY	116	33%	116	33%	116	33%	0	0%	349
	SAN JERONIMO	56	22%	28	11%	112	44%	56	22%	251
	SAN SEBASTIAN	44	19%	131	56%	58	25%	0	0%	233
	SANTIAGO	90	43%	30	14%	90	43%	0	0%	210
	SAYLLA	303	100%	0	0%	0	0%	0	0%	303
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>911</b>	<b>47%</b>	<b>508</b>	<b>26%</b>	<b>428</b>	<b>22%</b>	<b>80</b>	<b>4%</b>	<b>1927</b>

Fuente. Elaboración Propia.

- Toda la Provincia:

Tabla 61. Pronóstico de cobertura ISDB-T para toda la provincia del Cusco

ZONAS: URBANO Y RURAL										
NIVEL DE COBERTURA		ÓPTIMA		REGULAR		MINIMA		BAJA		TOTAL POBLACIÓN
<b>DISTRITOS</b>	<b>CUSCO</b>	2289	14%	13698	60%	572	3%	0	0%	16559
	<b>CCORCA</b>	97	57%	49	0%	0	0%	24	14%	170
	<b>POROY</b>	116	33%	116	33%	116	33%	0	0%	349
	<b>SAN JERONIMO</b>	4375	49%	3683	34%	776	9%	56	1%	8890
	<b>SAN SEBASTIAN</b>	2114	11%	14329	34%	2720	14%	0	0%	19163
	<b>SANTIAGO</b>	6478	40%	9196	41%	646	4%	0	0%	16320
	<b>SAYLLA</b>	692	84%	0	0%	130	16%	0	0%	822
	<b>WANCHAQ</b>	1291	20%	5166	77%	0	0%	0	0%	6457
<b>TOTAL COBERTURA</b>		<b>17454</b>	<b>25.4%</b>	<b>46236</b>	<b>67.3%</b>	<b>4960</b>	<b>7.2%</b>	<b>80</b>	<b>0.12%</b>	<b>68730</b>

Fuente. Elaboración Propia.

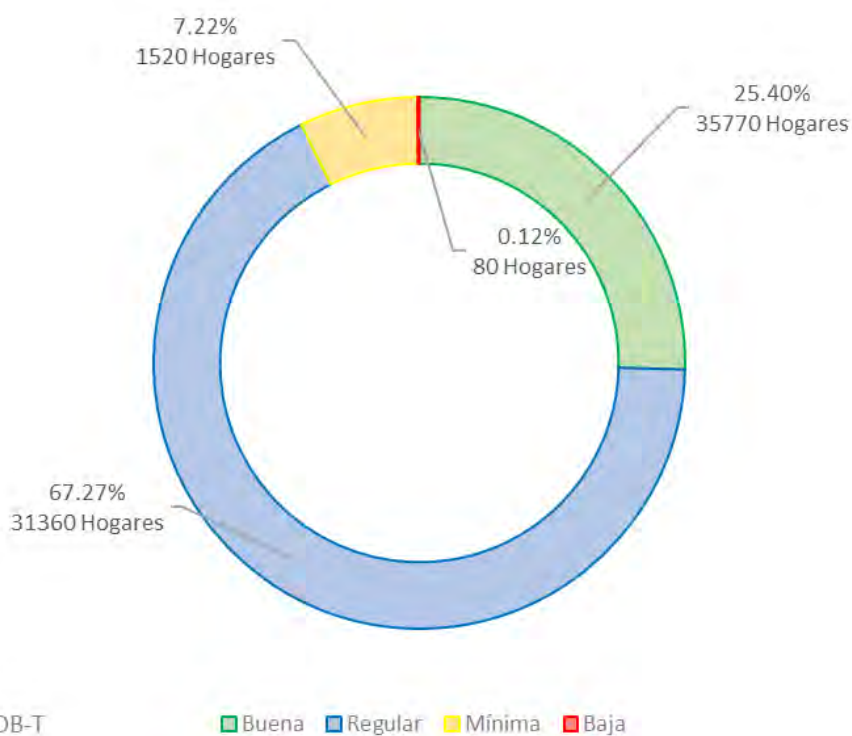


Figura 105. Pronóstico de la Cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco

Fuente. Elaboración Propia.

### 5.4.1.3.1. Mapa del Área Cobertura ISDB-T

Se utilizó la herramienta Radio Mobile para determinar el área de cobertura simulada y exportarla para validar en Google Earth.

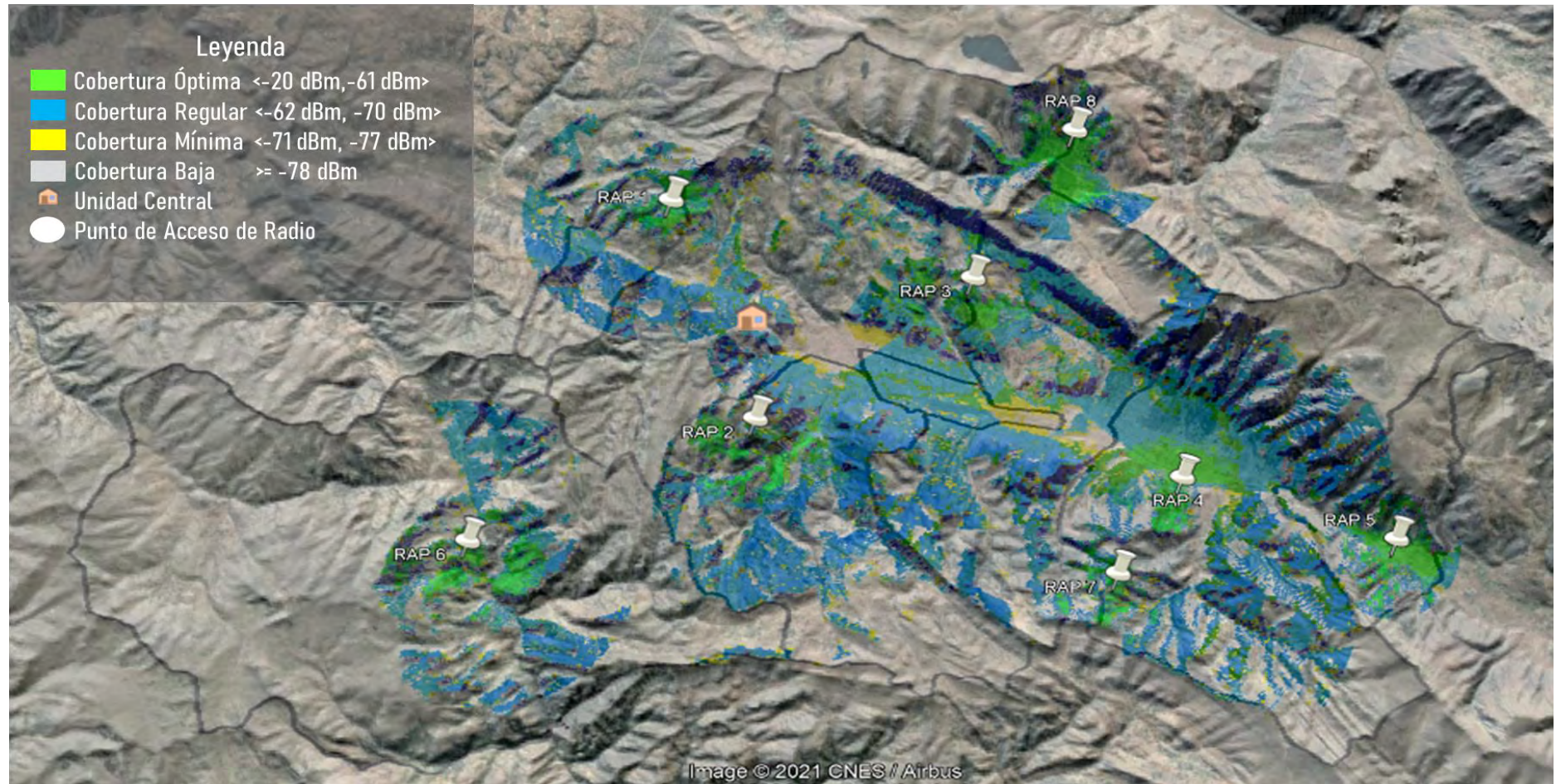


Figura 106. Mapa del área Cobertura simulada ISDB-T  
Fuente. Elaboración Propia.

#### 5.4.1.3.2. Mapa del Pronóstico de Cobertura ISDB-T

La Figura 107, muestra la ubicación de las muestras con su respectivo nivel de cobertura utilizando la herramienta Google Earth.

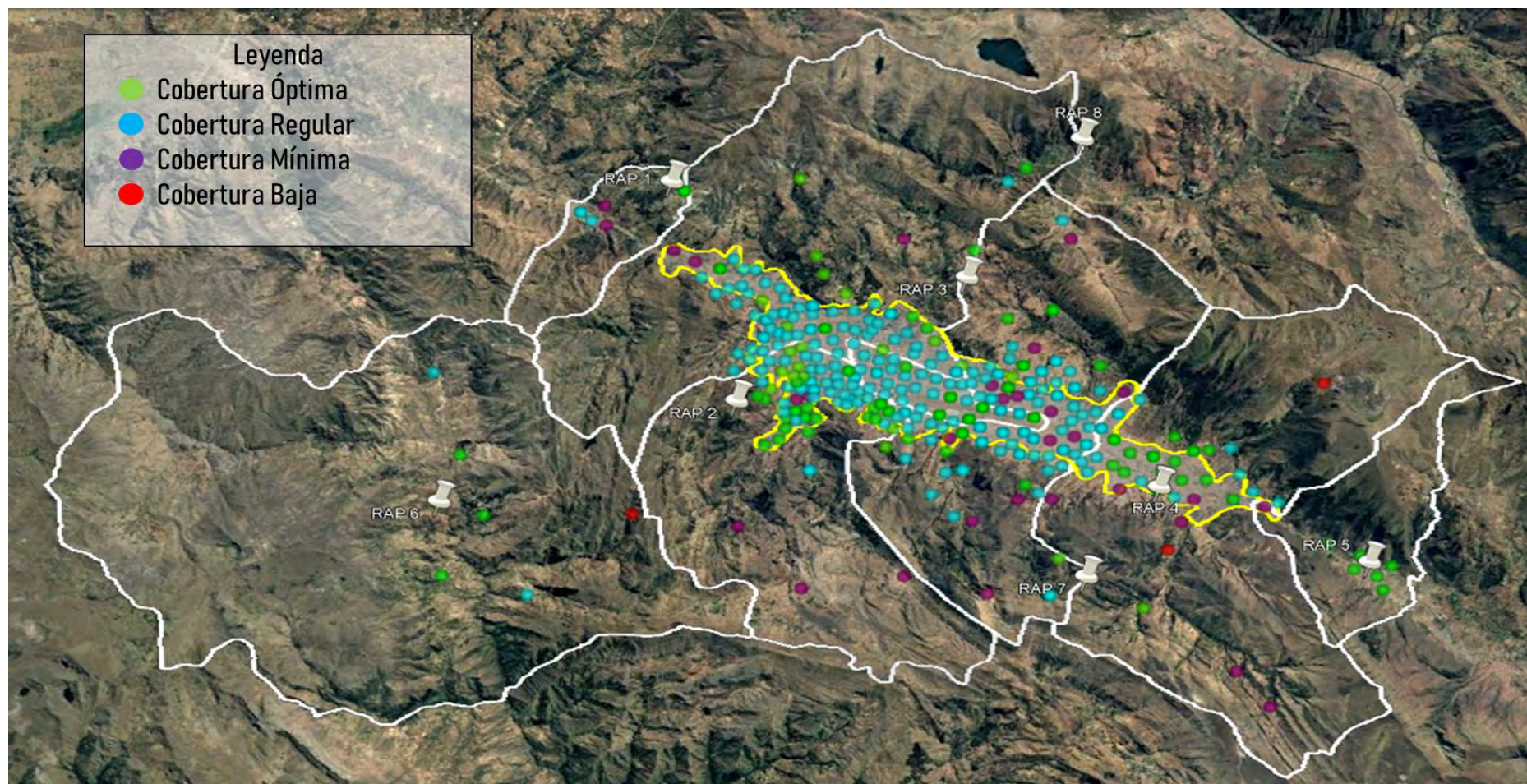


Figura 107. Mapa del Pronóstico de Cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco  
Fuente. Elaboración Propia.

#### 5.4.1.4. Comparación entre la Cobertura Actual y Simulada

La Tabla 62 y 63, muestra la comparación entre la cobertura actual y la cobertura simulada por tipo de zonas, verificando el incremento porcentual y la mejora de cobertura ISDB-T con la red diseñada.

Tabla 62. Comparación entre la cobertura actual y simulada para la zona urbana

DISTRITOS		Cusco	San Jerónimo	San Sebastián	Santiago	Saylla	Wanchaq	Total	
Nivel de Cobertura	Óptima	Actual	10%	0%	3%	14%	0%	3%	7%
		Pronóstico	13%	50%	11%	40%	75%	20%	25%
		<b>Incremento</b>	<b>3%</b>	<b>50%</b>	<b>8%</b>	<b>26%</b>	<b>75%</b>	<b>17%</b>	<b>18%</b>
	Regular	Actual	52%	31%	22%	40%	0%	70%	39%
		Pronóstico	84%	42%	75%	57%	0%	80%	68%
		<b>Incremento</b>	<b>32%</b>	<b>11%</b>	<b>53%</b>	<b>17%</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>29%</b>
	Mínima	Actual	16%	23%	30%	19%	0%	27%	22%
		Pronóstico	3%	8%	14%	3%	25%	0%	7%
		<b>Incremento</b>	<b>-13%</b>	<b>-15%</b>	<b>-16%</b>	<b>-16%</b>	<b>25%</b>	<b>-27%</b>	<b>--15%</b>
	Baja	Actual	23%	46%	45%	28%	100%	0%	32%
		Pronóstico	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		<b>Incremento</b>	<b>-23%</b>	<b>-46%</b>	<b>-45%</b>	<b>-28%</b>	<b>-100%</b>	<b>0%</b>	<b>-32%</b>

Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 63. Comparación entre la cobertura actual y simulada para la zona rural

DISTRITOS		Cusco	Ccorca	Poroy	San Jerónimo	San Sebastián	Santiago	Saylla	Total	
Nivel de Cobertura	Óptima	Actual	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%
		Pronóstico	50%	57%	33%	22%	19%	43%	100%	47%
		<b>Incremento</b>	<b>25%</b>	<b>57%</b>	<b>33%</b>	<b>22%</b>	<b>19%</b>	<b>43%</b>	<b>100%</b>	<b>42%</b>
	Regular	Actual	25%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	7%
		Pronóstico	38%	29%	33%	11%	56%	14%	0%	26%
		<b>Incremento</b>	<b>13%</b>	<b>29%</b>	<b>33%</b>	<b>11%</b>	<b>43%</b>	<b>14%</b>	<b>0%</b>	<b>19%</b>
	Mínima	Actual	0%	0%	33%	0%	19%	14%	0%	10%
		Pronóstico	13%	0%	33%	44%	25%	43%	0%	22%
		<b>Incremento</b>	<b>13%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>44%</b>	<b>6%</b>	<b>29%</b>	<b>0%</b>	<b>12%</b>
	Baja	Actual	50%	100%	67%	100%	69%	86%	100%	78%
		Pronóstico	0%	14%	0%	22%	0%	0%	0%	4%
		<b>Incremento</b>	<b>-50%</b>	<b>-86%</b>	<b>-67%</b>	<b>-78%</b>	<b>-69%</b>	<b>-86%</b>	<b>-100%</b>	<b>-74%</b>

Fuente. Elaboración Propia.

La Tabla 64, muestra la comparación entre la cobertura actual y simulada para toda la provincia del Cusco, en donde el existe un incremento del 45% de la población que sería beneficiado con una cobertura óptima, y el incremento del 8% de la población que tendría cobertura regular en el peor de los casos. Existe un descenso de 20% de la población que tienen cobertura mínima y 32.9% que tienen cobertura baja actualmente, por lo tanto, este pronóstico indica una mejoría de la cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco.

Tabla 64. Comparación entre la cobertura actual y simulada para la provincia del Cusco

DISTRITOS		Cusco	Ccorca	Poroy	San Jerónimo	San Sebastián	Santiago	Saylla	Wanchaq	TOTAL	
Nivel de Cobertura	Óptima	%A	10%	0%	0%	0%	3%	14%	0%	3%	7%
		%P	14%	57%	33%	49%	11%	40%	84%	20%	25.4%
		%I	<b>4%</b>	<b>57%</b>	<b>33%</b>	<b>49%</b>	<b>8%</b>	<b>26%</b>	<b>84%</b>	<b>17%</b>	<b>18.4%</b>
	Regular	%A	51%	0%	0%	30%	22%	39%	0%	70%	38%
		%P	83%	29%	33%	41%	75%	56%	0%	80%	67.3%
		%I	<b>32%</b>	<b>29%</b>	<b>33%</b>	<b>11%</b>	<b>53%</b>	<b>17%</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>29.3%</b>
	Mínima	%A	16%	0%	33%	22%	30%	19%	0%	27%	22%
		%P	3%	0%	33%	9%	14%	4%	16%	0%	7.2%
		%I	<b>-13%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>-13%</b>	<b>-16%</b>	<b>-15%</b>	<b>16%</b>	<b>-27%</b>	<b>-14.8%</b>
	Baja	%A	23%	100%	67%	48%	46%	28%	100%	0%	33%
		%P	0%	14%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0.12%
		%I	<b>-23%</b>	<b>-86%</b>	<b>-67%</b>	<b>-47%</b>	<b>-46%</b>	<b>-28%</b>	<b>-100%</b>	<b>0%</b>	<b>-32.9%</b>

Fuente. Elaboración Propia.

El 0.12% del pronóstico de baja cobertura, representa a 3 muestras rurales de toda la provincia del Cusco (C.C Tamborpuquio – Ccorca, CP. Huaccoto – San Jerónimo y C.P Kayrapampa – San Jerónimo) que tienen una alta influencia de interferencia geográfica que no permite la recepción de intensidad de señal ISDB-T que transmiten los RAPs.

Con los resultados obtenidos, la red ISDB-T diseñada, tiene la capacidad reemitir señales hacia pequeñas áreas de coberturas con el fin de mejorar la recepción de intensidad de señal para toda una población gracias al enlace óptico que ofrece una mínima pérdida de trayecto en la emisión óptica de señales ISDB-T desde la unidad central hasta los puntos de acceso de radio.

## CAPÍTULO 6: COSTOS Y PRESUPUESTO

En esta sección se valoriza cada elemento utilizado para el desarrollo de esta tesis. Para el estudio de cobertura se requirió del servicio de movilidad e instrumentación electrónica. Además del desarrollo de redacción se requirió materiales de escritorio y el servicio de internet. Añadiendo costos de los tramites documentarios y diferentes servicios para seguir con desarrollo de la tesis.

*Tabla 65: Costos y presupuesto*

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
<b>1.- Materiales de escritorio</b>					
1.01	Papel bond	Millar	5	S/. 15.00	S/. 75.00
1.02	Útiles de escritorio	Global	1	S/. 50.00	S/. 50.00
1.03	Computadora de escritorio	Unidad	1	S/. 2000.00	S/. 2000.00
1.04	Impresora láser	Unidad	1	S/. 1700.00	S/. 1700.00
<b>2.- Instrumentación electrónica</b>					
2.01	Analizador de espéctros	Unidad	1	S/. 2000.00	S/. 2000.00
2.02	Antena ISDB-T	Unidad	1	S/. 100.00	S/. 100.00
2.03	Teléfono móvil	Unidad	1	S/. 700.00	S/. 700.00
2.04	Computadora portátil	Unidad	1	S/. 2400.00	S/. 2400.00
<b>3.- Servicios</b>					
3.01	Trámites documentarios	Global	1	S/. 650.00	S/. 650.00
3.02	Impresión de volúmenes	Unidad	7	S/. 110.00	S/. 770.00
3.03	Movilidad	Global	1	S/. 600.00	S/. 600.00
3.04	Imprevistos	Global	1	S/. 300.00	S/. 300.00
3.05	Internet	Mensual	8	S/. 100.00	S/. 800.00
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>S/. 12145.00</b>

*Fuente.* Elaboración Propia.

## CONCLUSIONES

Se ha determinado que la influencia de los factores de la cobertura ISDB-T en la provincia del Cusco son mayormente las interferencias geográficas debido a que la transmisión actual ISDB-T es vulnerable a los terrenos de altura considerable, no permitiendo la recepción a la población que se encuentra en esos sectores. Por lo tanto, se ha propuesto el sistema radio sobre fibra para mejorar la cobertura ISDB-T y evitar las interferencias geográficas en las zonas con baja recepción de acuerdo a un estudio de cobertura previo.

Se ha logrado realizar el diagnóstico de la cobertura ISDB-T actual en la provincia del Cusco mediante el estudio de campo para los hogares con acceso a la televisión digital abierta, obteniendo como resultado al 45% de la población que tienen cobertura entre óptima y regular, al 22% de la población que tienen cobertura mínima y al 33% de la población que tienen cobertura baja sin poder sintonizar las frecuencias de TV digital; por lo tanto, cuando se realice al apagón analógico en la provincia del Cusco, el 33% de la población no podrá acceder a la televisión por señal abierta, y el 22% de la población tendrán una recepción mínima vulnerables a errores de conexión.

Se ha logrado determinar las zonas con baja cobertura que son mostradas en la Figura 37, donde existen sectores en el área urbana de la provincia del Cusco pertenecientes a los distritos de Cusco, Poroy, San Jerónimo, San Sebastián y Santiago que presentan baja recepción por la interferencia geográfica y urbana. También la baja recepción está presente en las comunidades campesinas pertenecientes al área rural de los distritos mencionados por la interferencia geográfica provocando que se encuentren fuera del área de cobertura. En los distritos de Ccorca y Saylla, la baja recepción está presente en todo el distrito por la



interferencia geográfica de cerros y lejanía del receptor frente a las estaciones transmisoras. El distrito de Wanchaq no presenta zonas con baja cobertura debido a que no existe una alta influencia de interferencia geográfica.

Para este estudio, el sistema radio sobre fibra ofrece menor pérdida de trayecto de las señales ISDB-T a comparación de la transmisión de TV digital actual, logrando una mejor recepción para las zonas que tienen baja cobertura actualmente. Además, existe la opción de añadir otros servicios a la red que son compatibles con el sistema RoF como el internet inalámbrico, telefonía móvil, cámaras de seguridad, comunicaciones por radio, etc. En este estudio se propuso mejorar la cobertura para 8 frecuencias ISDB-T, pero en un futuro muchos canales se digitalizarán y tendrán la ventaja de añadirse a la red diseñada.

Se ha logrado realizar el diseño de la red RoF con la unidad central ubicada en las estaciones repetidoras de TV en el cerro Picchu y ocho puntos de acceso de radio cuyas ubicaciones son detalladas en la Tabla 34, donde la emisión óptica usa una modulación directa obteniendo como resultado usando la herramienta Optysystem, que el factor Q del sistema es de 20.148 para el RAP más lejano y 44.172 para el RAP más cercano, esto indica que existe una buena comunicación óptica entre la unidad central y los RAPs, debido a que el min BER del sistema es de  $2.40E-70$  para el RAP más lejano y 0 aproximadamente para el RAP más cercano. Por lo tanto, la resolución de la imagen tendrá una pérdida demasiado mínima en la recepción óptica y de la posibilidad de retransmitir la señal de TV digital a las zonas de cobertura deseada con una calidad de imagen de alta resolución.

Se ha obtenido un pronóstico de la cobertura ISDB-T evaluando a las muestras que presentan cobertura baja y mínima actualmente mediante el uso de la herramienta Radio Mobile y obteniendo como resultado al 92.7% de la población que tendrían cobertura entre óptima y regular, al 7.2% de la población que tendrían cobertura mínima y al 0.12% de la población que tendrían cobertura baja sin poder sintonizar las frecuencias de TV. También la mejoría de la cobertura ISDB-T para cada muestra se ilustra en la Figura 106. Se realizó una comparación entre la cobertura actual y la simulada donde existiría el aumento del 47.7% de la población con cobertura entre óptima y regular, la disminución del 14.8% de la población con cobertura mínima y la disminución del 32.9% de la población con cobertura baja. Esto indica una alta mejoría de la cobertura ISDB-T en caso de que la red diseñada sea implementada, beneficiando a la población con baja recepción y mejorando la calidad de servicio que puede ofrecer una estación de TV.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del estudio de cobertura ISDB-T realizado en este trabajo para futuros proyectos enfocados en la televisión digital terrestre, impulsando mejorar el servicio de las emisoras de televisión y brindar un beneficio a la población que actualmente no puede sintonizar señales de TV.

Se recomienda realizar más estudios enfocados al sistema radio sobre fibra, debido a que es una solución viable frente a problemas de cobertura que presentan los sistemas de comunicación y que en un futuro puede ser necesario la implementación de éste con el fin de beneficiar a una población que carece de algún tipo de servicio de comunicación.

Se recomienda brindar más conocimientos sobre fibra óptica a los estudiantes de Ingeniería Electrónica de manera teórica y práctica para que en el campo profesional estén preparados frente a problemas de diseños, instalaciones e implementaciones de redes ópticas y también para promover trabajos innovativos utilizando este medio de transmisión.

Se recomienda tener como referencia esta tesis para futuros trabajos enfocados en diseño de redes utilizando como medio de transmisión a la fibra óptica y el sistema radio sobre fibra para enviar una señal de cualquier servicio hacia una población que será beneficiada gracias al diseño propuesto.

Se recomienda el uso de esta tesis para promover emitir otro tipo de servicio utilizando la red diseñada para la provincia del Cusco como el servicio de internet inalámbrico (Wi-Fi), sistemas de cámaras de seguridad, y servicios de telefonía móvil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ETT Smartare Community, «Digital-TV,» Mimersbrunn, 09 Mayo 2003. [En línea]. Available: <https://www.mimersbrunn.se/article?id=2041>.
- [2] J. A. Díaz Zegarra, Apagón Analógico: Consideraciones para la Elección del Estándar de Televisión Digital, Callao: Universidad Nacional del Callao, 2010.
- [3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Televisión Digital Terrestre en el Perú, Lima, 2016.
- [4] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Informe Anual de Evaluación del Proceso de Implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en el Perú, Lima, 2018.
- [5] J. Alba Roncel, ¿Qué es la Radación Electromagnética? Usos Benefisiosos y Efectos Perjudiciales, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2018.
- [6] Union Internacional de Comunicaciones (UIT), Factores de Propagación que Afectan a los Sistemas con Técnicas Demodulacion Digital en Ondas Kilompetricas y Hectométricas, 2015.
- [7] J. Luque Ordóñez, Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico, Autores Científicos, Técnicos y Académicos.
- [8] I. Hernáez Rioja, Modulación QAM.
- [9] L. Jimenez, J. Parrado, C. Quiza y C. Suárez, Modulación Multiportadora OFDM, Académia y Desarrollo.
- [10] J. Gago Barrio, Digitalización de la Señal de Televisión, Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya.

- [11] C. Gallegos Chávez, Características Técnicas del ISDB-T, Asunción: Digital Broadcasting Experts Group, 2009.
- [12] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Decreto Supremo N° 008-2011-MTC, Lima: El Peruano, 2011.
- [13] Elementos de Transmisión para la Seguridad Electrónica - Cables Coaxiales, [www.rnds.com.ar](http://www.rnds.com.ar).
- [14] Itlalaguna, «Fundamentos de Fibra óptica,» [En línea]. Available: [http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/optopdf7\\_archivos/unidad7tema2.pdf](http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/opteca/optopdf7_archivos/unidad7tema2.pdf).
- [15] J. Z. Diaz Diaz, Análisis de Sistemas de Radio Sobre Fibra usando Fibras Ópticas de Plástico, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.
- [16] J. Cardona Fernández y L. Fernández Campos, Estudio de Técnicas de Modulación para Enlaces Ópticos, Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya, 2010.
- [17] Facultad de Ingeniería Industrial y Sistemas, Sistemas de Modulación en Fibra Óptica, Callao: Universidad Nacional del Callao, 2017.
- [18] International Telecommunication Union (ITU), Recommendation ITU-T G.9803, Ginebra, 2018.
- [19] H. Hodson, Wired is the New Wireless, New Scientist, 2012.
- [20] K. Hoon, Radio over Fiber Technology for Wireless Communication Services, Samsung Electronics, 2005.
- [21] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Censos Nacionales, Lima, 2017.

- [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Informe Anual de Evaluación del Proceso de Implementación de la Televisión Digital Terrestre (TDT) en el Perú, Lima, 2017.
- [23] TDT Profesional, «Niveles de Señal de Televisión Óptimos,» 9 Setiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.tdtprofesional.com/blog/niveles-de-senal-de-television-optimos/>.
- [24] Wanshuo Electronic Equipament (WSEE), WS-LT3000 Series Direct-modulated Optical Transmitter, Shandong.
- [25] ROBOfiber, Custom made CWDM rack mount and card format filters, Danville, 2012.
- [26] AliExpress, «Divisor PLC SC APC 1X 8 de modo único LC divisor de fibra óptica 1x8 SC Apc plc divisor/1x8 plc divisor óptico FBT pareja,» Shenzhen Wowphoon Store, [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/32831801686.html>.
- [27] IKUSI, Receptor óptico TV + FI-SAT autónomo, San Sebastián: Smartexperience.
- [28] Onetastic, Repetidor de TV - Multitastic, Brescia.
- [29] RYMSA, AT15-801/802/804 -Datasheet, Tryo Group.
- [30] A. Rodríguez, «Tipos de Conectores de Fibra Óptica,» Fibraoptica hoy, 14 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://www.fibraoptica hoy.com/tipos-conectores-fibra-optica/>.
- [31] Cisco, «Calculo de Atenuación Máxima para enlaces de Fibra Óptica,» 30 Marzo 2005. [En línea]. Available: [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/optical-networking/ons-15454-sonet-multiservice-provisioning-platform-mspp/27042-max-att-27042.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/optical-networking/ons-15454-sonet-multiservice-provisioning-platform-mspp/27042-max-att-27042.html).
- [32] Aselcom - Electrónica y Telecomunicación, «Acometida exterior cable ajustado doble cubierta 4,5mm (G657A2) terminado en SC/APC en un extremo 100m,» [En línea]. Available: <https://tienda.aselcom.com/1447-acome1xsca45-100.html>.

- [33] Slideshare, «Cable Coaxial,» 12 Febrero 2012. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/Maynorporoj/cable-coaxial-11542255>.
- [34] Data-Alliance, «Pérdida de inserción en conectores y adaptadores,» [En línea]. Available: <https://es.data-alliance.net/connectors-adapters-insertion-loss/>.
- [35] A. Macho Ortiz, Estudio y Caracterización de un Modulador Electroóptico Mach-Zehnder, ETSIT - UPM, 2012.
- [36] J. A. Dinamarca Ossa, Universidad Técnica Federico Santa María Departamento de Electrónica Teoría de Comunicaciones Digitales Informe de Teoría de Comunicaciones Digitales “Análisis de Diagramas de Ojo”, Santiago: Universidad Técnica Federico Santa María, 2012.

## ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

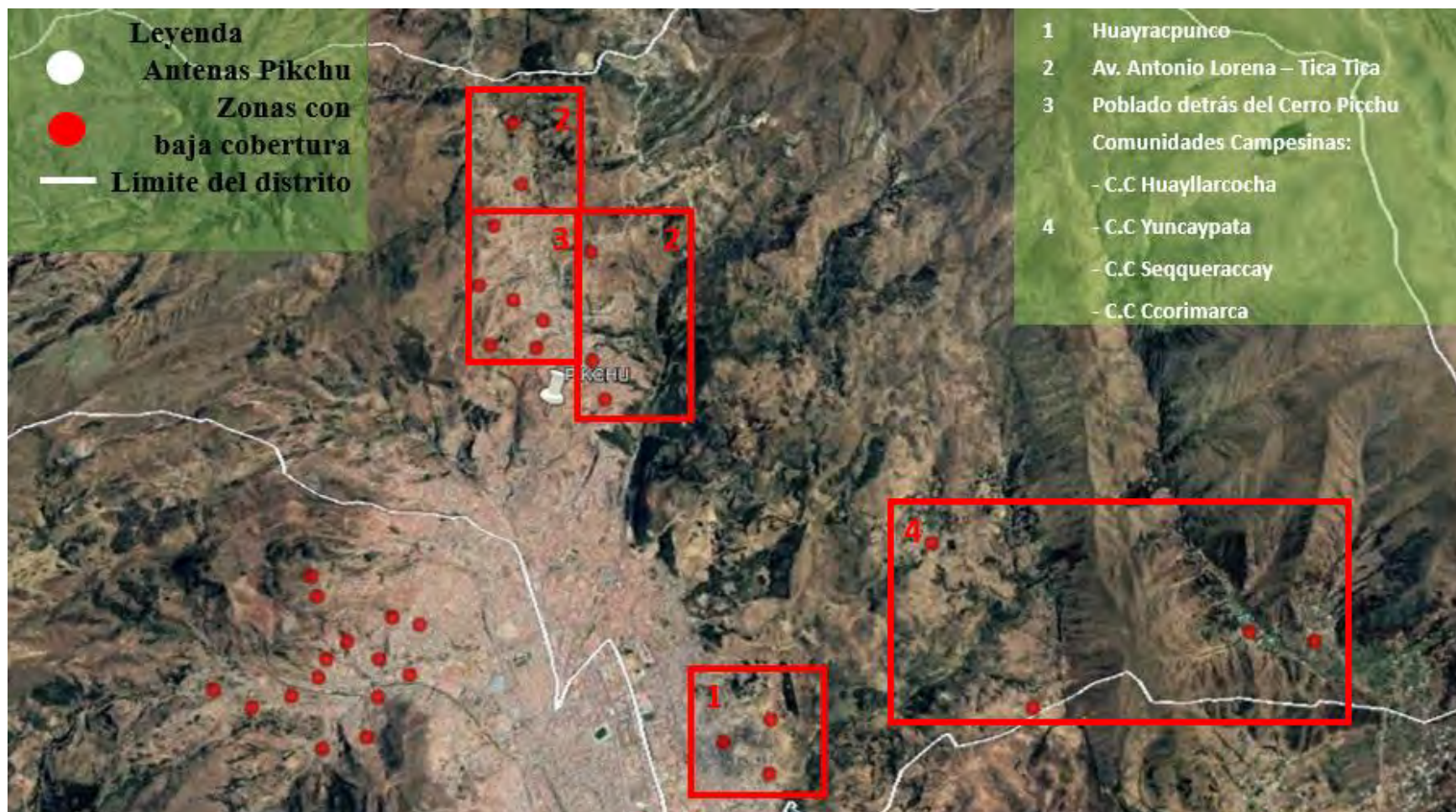
PROBLEMA	OBJETIVO	VARIABLES	Método
<p><b>Problema general:</b> Se desconoce en qué medida influyen los factores intrínsecos y extrínsecos en la cobertura ISDB-T y como mejorar la transmisión y recepción de TV digital dentro de la provincia del Cusco.</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar la influencia de los factores intrínsecos y extrínsecos de la cobertura ISDBT y proponer el diseño de una red utilizando los parámetros del sistema digital radio sobre fibra, para mejorar la cobertura en la provincia del Cusco.</p>	<p><b>Variables Dependientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cobertura.</li> <li>- Intensidad de señal recibida.</li> <li>- Factor Q.</li> </ul> <p><b>Variables Independientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicación de los elementos de la red.</li> <li>- Parámetros de transmisión.</li> <li>- Enlace óptico.</li> </ul>	<p>Por el objetivo del trabajo de tesis, el estudio es de tipo exploratorio-descriptivo; exploratorio, porque se pretende incrementar el grado de conocimiento sobre la transmisión de señales comerciales y, descriptiva, por cuanto a partir de la determinación de las condiciones del entorno y otras características particulares. Y para responder al problema del estudio el tipo es cualitativo-cuantitativo; cualitativo, porque se describe y se analiza información de hechos en entornos y casos específicos; cuantitativo, porque se utilizan predominantemente diseños experimentales, encuestas sociales y estudios estadísticos.</p>
<p><b>Problemas específicos:</b> 1. Se desconoce la situación actual de la cobertura ISDB-T dentro de la provincia del Cusco.</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> 1. Realizar el diagnóstico de la cobertura ISDB-T mediante un estudio de campo en toda la provincia del Cusco.</p>		
<p>2. Se desconocen cuales son las zonas dentro de la provincia que presentan una baja recepción de señal de TV digital.</p>	<p>2. Determinar las zonas que presentan una baja recepción de señal de TV digital y los factores que influyen en esta clase de recepción.</p>		
<p>3. Inexistencia de un sistema viable para mejorar la cobertura en las zonas con baja recepción de TV digital.</p>	<p>3. Proponer como sistema viable la radio sobre fibra para mejorar la cobertura en las zonas con baja recepción de TV digital.</p>		



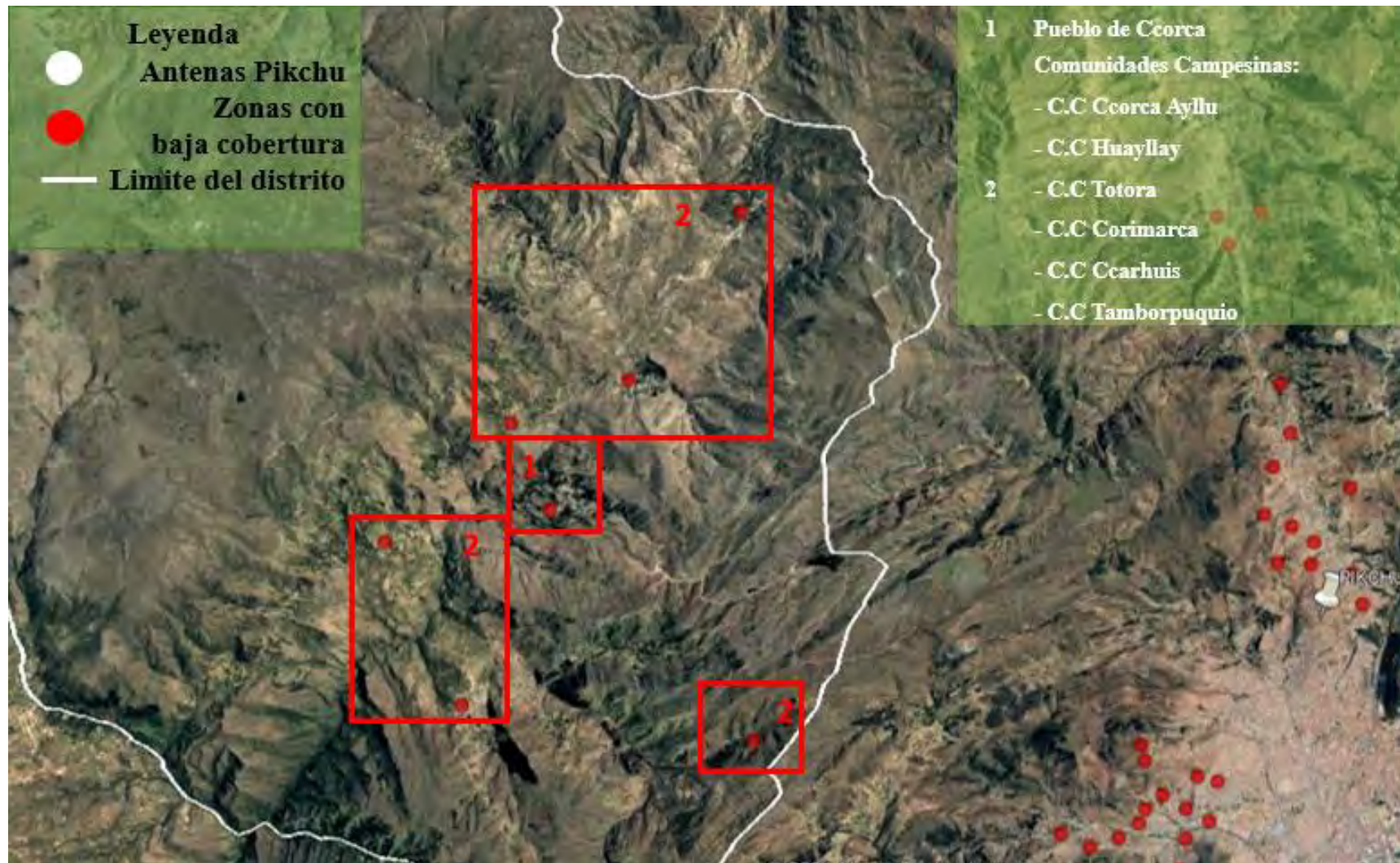
<p>4. Se desconoce el proceso de diseño para adaptar el sistema de comunicación propuesto a la red actual ISDB-T.</p>	<p>4. Realizar el diseño de los enlaces de fibra óptica para la distribución de la señal de TV digital bajo los parámetros del sistema radio sobre fibra.</p>		
<p>5. Desconocimiento del pronóstico de la cobertura ISDB-T utilizando el sistema de comunicación propuesto.</p>	<p>5. Obtener el pronóstico de la cobertura ISDB-T mediante la simulación en software del diseño propuesto.</p>		

Anexo N° 2: Zonas con baja cobertura ISDB-T

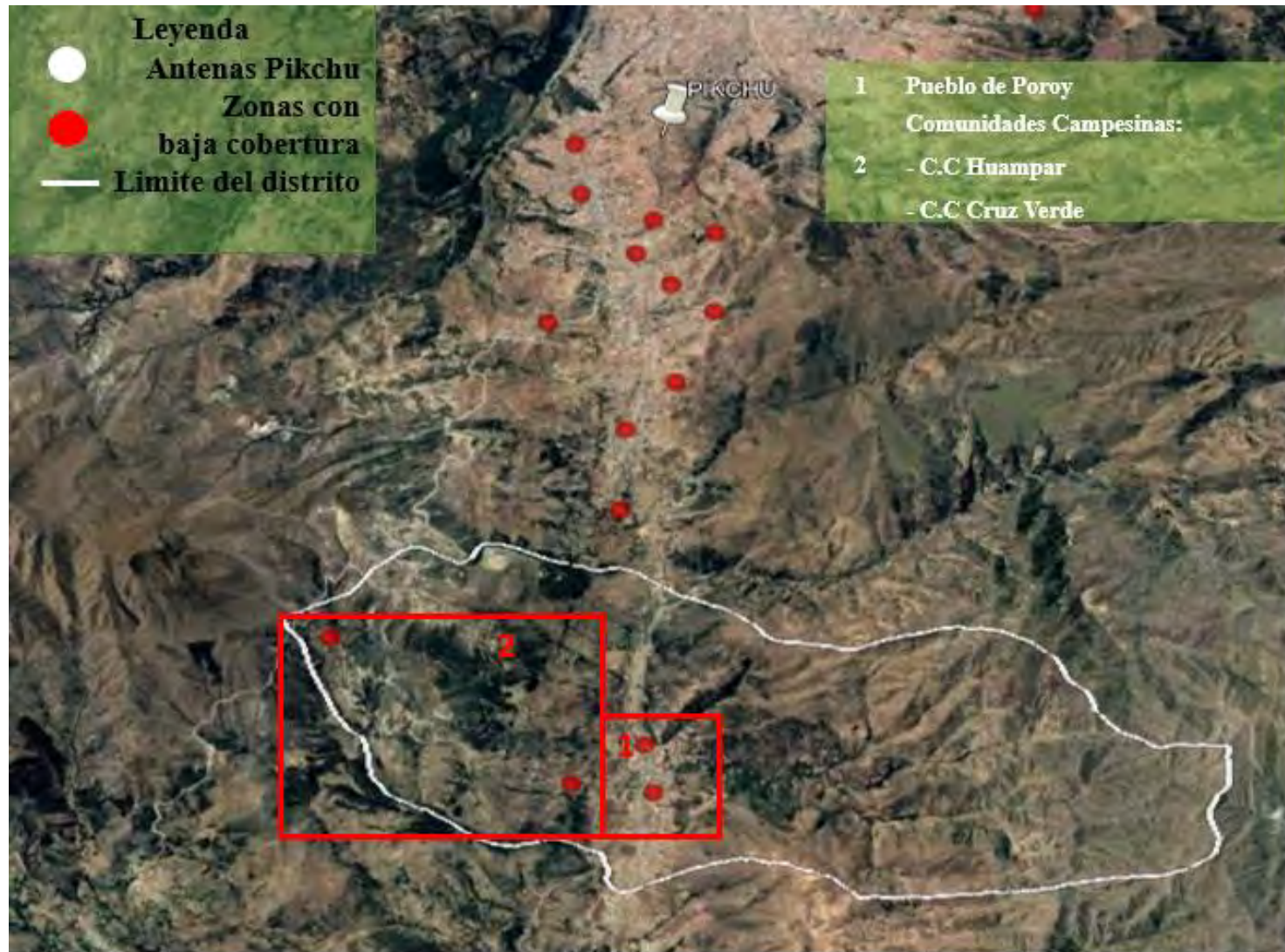
Distrito de Cusco:



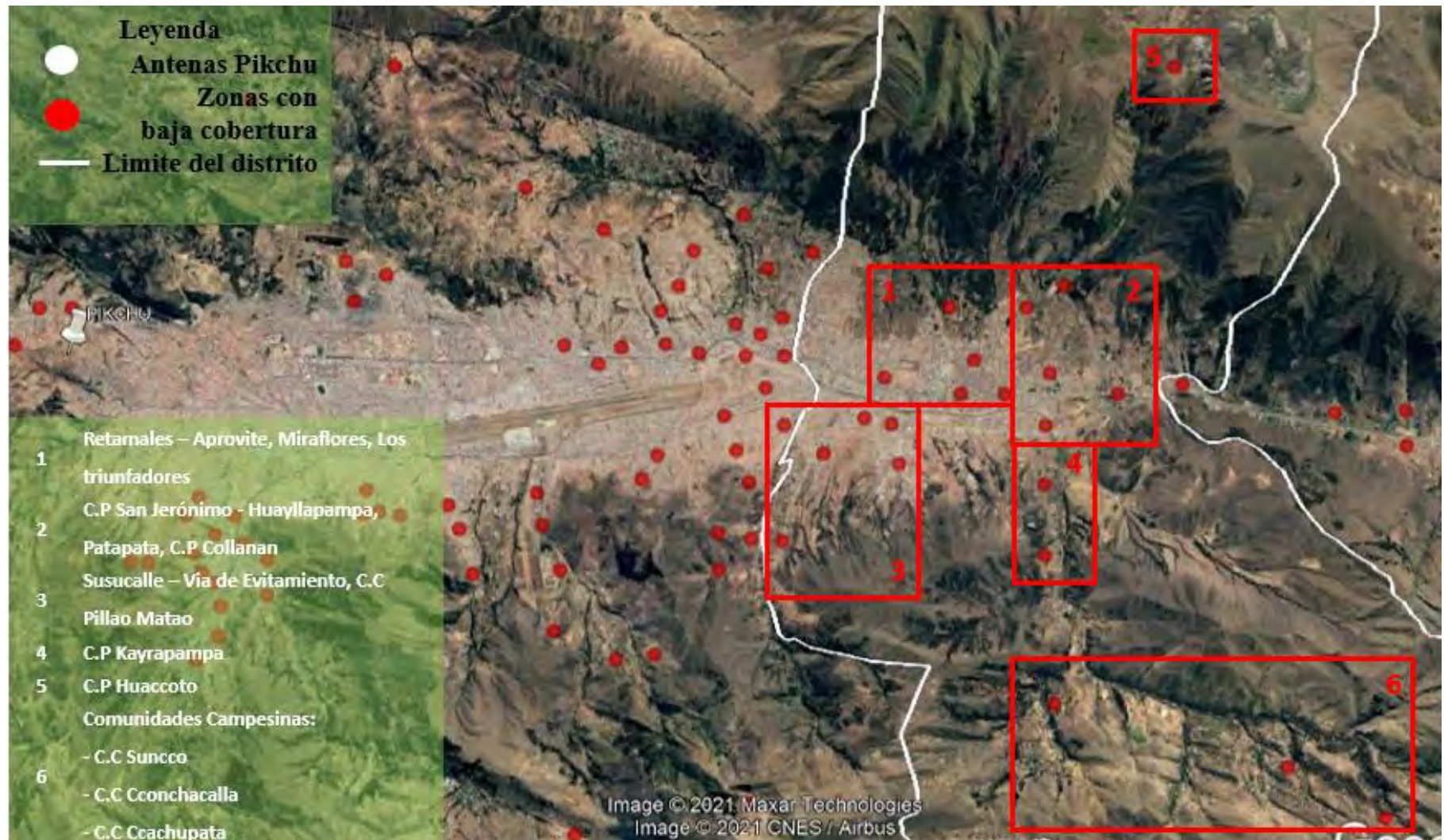
Distrito de Ccorca:



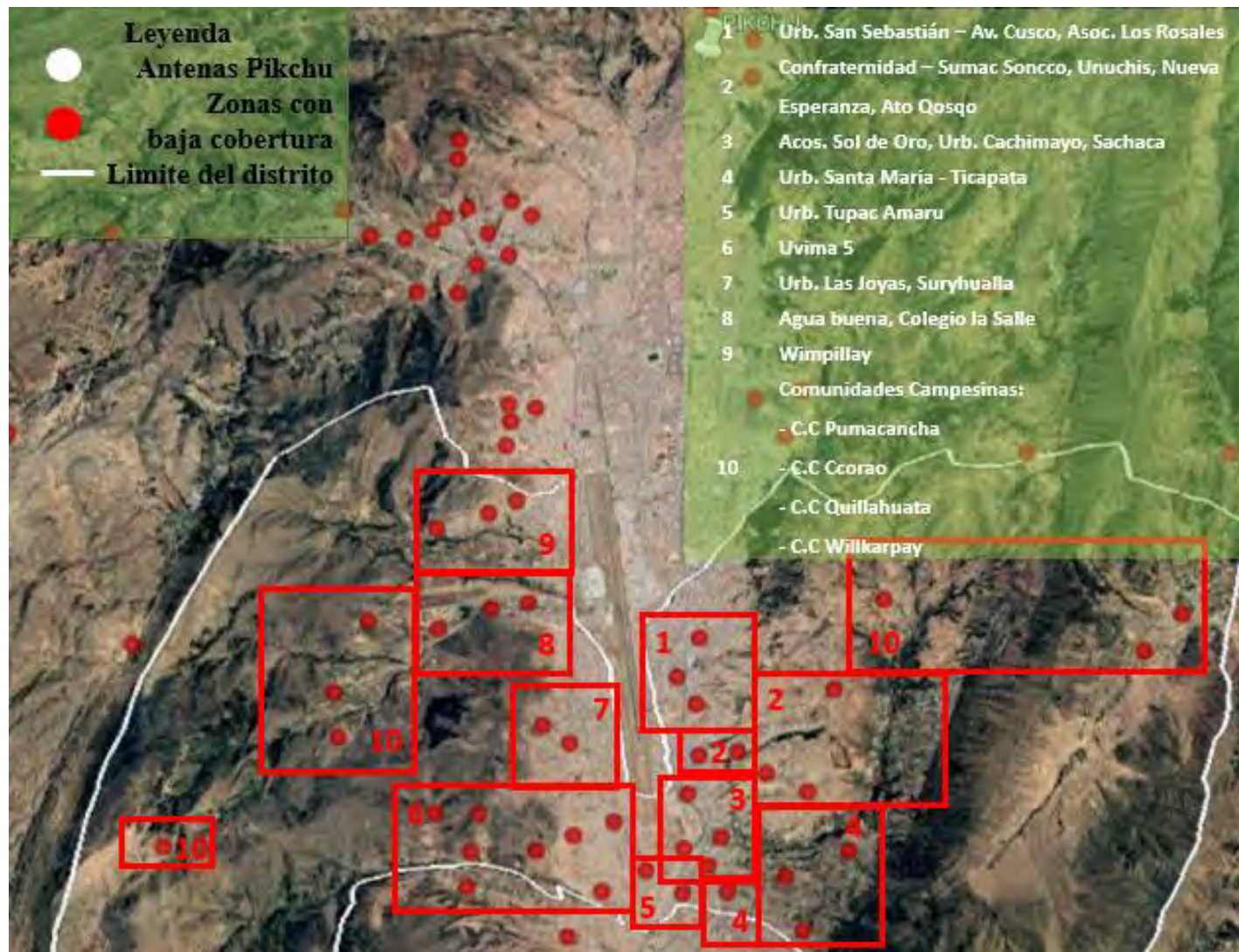
Distrito de Poroy:



Distrito de San Jerónimo:



Distrito de San Sebastián:



Distrito de Santiago:



Distrito de Saylla:







## CATV

### WS-LT3000 Series Direct-modulated Optical Transmitter



#### ■ Performance characteristics

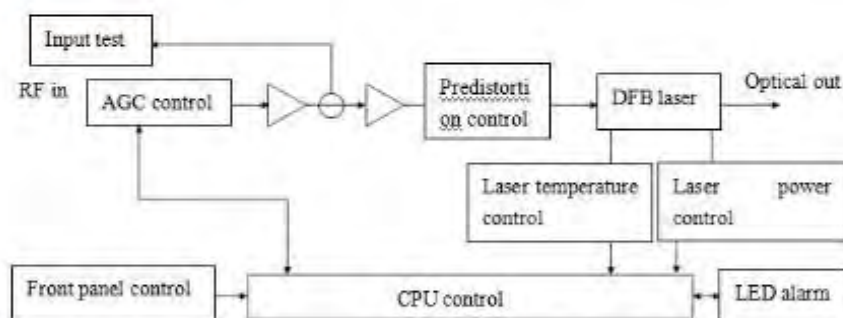
- ◆ The use of high-performance DFB lasers of international famous brands has narrow spectral lines, good linearity, and high output power.
- ◆ The advanced multi-frequency RF predistortion technology uses RF power automatic processing technology to automatically optimize the drive level so that the C/CTB, C/CSO, and C/N specifications are always at optimal values.
- ◆ The 32-bit ARM processor can efficiently coordinate the working status of each module and accurately monitor and control each operating parameter.
- ◆ Laser temperature stabilization circuit (ATC) and optical power output stabilization circuit (APC) ensure optimal laser performance.
- ◆ 47-862MHz (1000Mhz can be customized) operating bandwidth.
- ◆ The dual-module structure is reserved to increase the functions of light emitting, EDFA, light collection, RF switch, and other functions.
- ◆ Modular structure, easy to expand the function of equipment and maintenance;
- ◆ Standard network management interface, in line with SNMP network management protocol;
- ◆ The power supply can realize dual power hot backup, snap-type fixed, one-touch pull. Easy to operate, firmly fixed. Voltage 220V & 110V & 48V optional.

### ■ Applications

WS-LT3000 optical transmitter is designed according to CATV standard. It modulates CATV RF amplitude signal into 1310nm/1550nm optical signal, and then transmits it to optical node in HFC network through single-mode optical fiber. It is mainly used for TV signal medium-sized network transmission and can be used for many purposes. The high-power optical amplifiers are used for the laying of fiber-to-the-home (FTTH) networks.

The WS-LT3000 optical transmitter is equipped with a reliable and stable optical output power circuit and a pump laser thermoelectric cooler temperature control circuit to ensure the best performance of the equipment. Professional cooling structure design, intelligent temperature control fan, low power consumption. It is an ideal choice for building CATV secondary network signal transmission.

### ■ Principle Diagram



WS-LT3000

### ■ Limit Parameters

Technical Parameters	WS-LT3000-3***	WS-LT3000-5***
Maximum received optical range	1310nm±20	1550nm±15
Lowest input level	75~90dBuV ( Recommended Best Value 80dBuV )	
The highest input optical power	2~30mW	3~10dBm
Extreme operating temperature	-5°C ~ +45°C	
Limit supply voltage	AC220V(160V ~ 265V) / AC110V ( 90 ~ 130V ) / DC48V ( 38 - 58V )	



## ANEXO N° 3: DATASHEET DEL RECEPTOR ÓPTICO



smartexperience

### Receptor óptico TV + FI-Sat autónomo

Aplicación en la distribución por fibra óptica de señales digitales TV terrestre y FI satélite instalaciones colectivas de gran densidad.



Salida TV+FI



Entrada señal óptica



Atenuador variable

FRD-400

Especificaciones técnicas

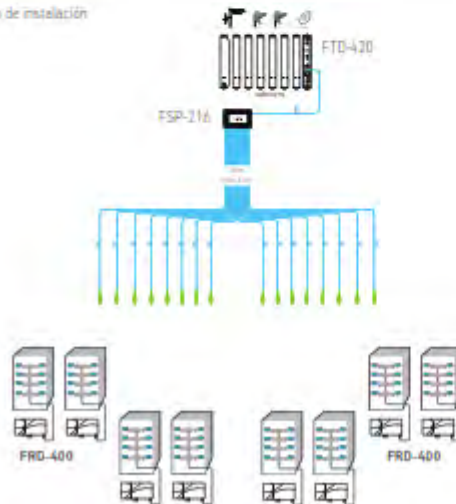
Modelo		FRD-400	
REF.		4914	
Potencia óptica de entrada	dBm	-12 ... +1 *	
Bandas de frecuencias salida RF via directa	MHz	45 - 862 (TV) y 950 - 2150 (FI)	
Sección óptica			
Longitud de onda	nm	1290 - 1600	
Pérdidas de retorno entrada óptica	dB/ Hz	> 50	
Conector de entrada óptica		SC/APC 8*	
Sección RF			
Ondulación en banda	dB	±1,5 (TV), ±2 (FI)	
Nivel de salida del receptor para 20 canales digitales. Para 76 dBuV entrada al transmisor y -12 dBm de entrada al receptor	dBuV	104	
Nivel de salida del receptor para 20 canales analógicos. Para 72 dBuV entrada al transmisor y -4 dBm de entrada al receptor	dBuV	100	
CNR *	TV analógico (ΔB = 5 MHz)	dB	> 52
	FI (ΔB = 36 MHz)	dB	> 36
CTB *	dB	> 60	
CSO *	dB	> 60	
Atenuador variable TV	dB	0 - 15	
Ajuste de pendiente TV	dB	0 - 15	
Atenuador variable FI	dB	0 - 15	
Ajuste de pendiente FI	dB	0 - 10	
Pérdidas de retorno de salida	dB	>12 (TV), 10 (FI)	
Test de salida	dB	-30	
Tipo conectores salida y test		F	
Tensión de red	Vac	230 - 240	
Consumo	W	15	
Dimensiones	mm	222 x 140 x 44	

\*Medido en un sistema de transmisión típico de DTT con emisor láser FT2-42B.

\*\*Valores para canales digitales.

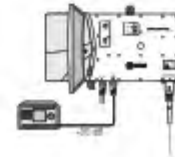
- 1 entrada óptica 1290-1600 nm (2ª -3ª ventana): 1 salida RF 45-2150 MHz.
- Conexión de fibra óptica tipo monomodo.
- Aplicación en la distribución por fibra óptica de señales analógicas o digitales TV terrestre y FI satélite en instalaciones colectivas extensas.
- Alimentación red alterna 50/60 Hz. Nivel de protección de seguridad eléctrica Clase II. Cable insertable de red con clavija bipolar.
- Cajas de zamak. Fijación mural. Montaje interior. Provisión para puesta a tierra.

Ejemplo de instalación



AJUSTE DE LA SEÑAL RF DE SALIDA

Conectar un analizador de señal a la puerta test -30 dB de salida. Actuando con el eje suministrado sobre los potenciómetros de atenuación y equalización, ajustar los niveles de las señales TV y FI de acuerdo con los cálculos de ingeniería.



FRD-400



Pl. Miramar, 179  
20114 San Sebastián - Spain  
Tel: +34 942 44 18 19 - Fax: +34 942 44 20 00  
ikusi@ikusi.com - www.ikusi.com

## ANEXO N° 4: DATASHEET DEL MUX-DEMUX CWDM ROBOFIBER



### Custom made CWDM rack mount and card format filters

#### 1. Features

- ◆ Low Insertion Loss
- ◆ High Isolation
- ◆ Low PDL
- ◆ Compact Design
- ◆ Good Channel-to-channel Uniformity
- ◆ Wide Operating Wavelength:  
1260nm~1620nm or 1460nm~1620nm
- ◆ Wide Operating Temperature:  
-5°C ~ 75°C
- ◆ High Reliability and Stability



#### 2. Applications

- ◆ CWDM System
- ◆ PON Networks
- ◆ CATV Links

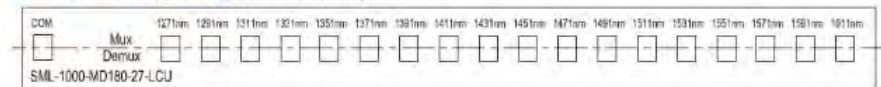
#### 3. Compliance

- ◆ Telcordia GR-1209-CORE-2001
- ◆ Telcordia GR-1221-CORE-1999
- ◆ ITU-T G.694.1
- ◆ RoHS

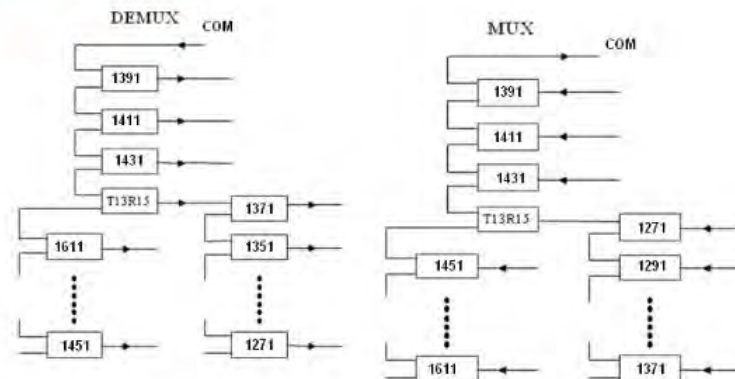
#### 4. Specifications

Parameters		1:18 Mux/Demux
Center Wavelength (nm)		1271-1611
Passband (nm)		ITU±6.5
Operating Wavelength (nm)		1260~1620
Fiber Type		SMF-28e with 0.9mm Loose tube
IL (dB)		≤4.2
Isolation (dB)	Adjacent Channel	≥30
	Non-Adjacent Channel	≥50
Ripple (dB)		≤0.5
PDL (dB)		≤0.2
PMD (ps)		≤0.1
RL (dB)		≥45
Directivity (dB)		≥50
Maximum Optical Power (mw)		500
Fiber length(m)		1.0±0.05
Operating Temperature (°C)		-5~75
Storage Temperature (°C)		-40~85
Package Dimension (mm)		19" 1U Rack-Mount
Connector Type		LC/PC

#### 5. Front Panel Diagram (rack mounting 1RU)



#### 6. Structure Diagram





## MultiTastic



**M**ultiTastic es un innovador transmisor multi-canal, lo que introduce el concepto de "Cast-Sharing", garantizando un sistema de gestión totalmente redundante.

En el panorama actual de la radiodifusión, las emisoras de televisión principales, operadores de redes, así como las comunidades locales operan no sólo un canal digital sino varios. Pero cuando se trata de invertir en infraestructura de red (CAPEX) y para garantizar la operación a largo plazo de estas redes (OPEX), los costos se elevan mucho, y la inversión es casi imposible de sostener cuando se necesita una alta cobertura del territorio.

En un solo rack de 4U 19", MultiTastic combina hasta 8 (7+1 o 6+2) módulos transmisores (DVB-T/H/T2, ISDB-Tb, ATSC, DAB/DAB+/T-DMB) cada uno equipado con diferentes interfaces de entrada (receptor de satélite incorporado, ASI, ETI, EDI, Gigabit Ethernet o RF).

Un sistema inteligente de matrices internas permite que uno o dos transmisores de reserva se enciendan automáticamente en el caso de una falla,

El sistema de amplificación de RF puede ser independiente por cada transmisor o también común, con amplificador final redundante (MultiTastic C2) en caso de canales adyacentes.

Los receptores de satélite, el receptor GPS / GLONASS y dos circuitos de alimentación redundantes aseguran la continuidad de la operación en todas las condiciones.

En lugar de invertir en varias unidades de transmisión por separado, así como en sistemas de gestión de la redundancia complejos y costosos, las emisoras y los operadores de red pueden ahora simplemente invertir en un solo transmisor MultiTastic en rack de 4U 19" y operar hasta 7 canales diferentes con un solo dispositivo ...

Este es el "Cast-Sharing"!



## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Chasis compacto de 4U rack 19"
- Hasta 7+1 o 6+2 módulos transmisores (15W de potencia de salida de cada módulo)
- Potencia de salida: 15W por módulo o 100W total (Multitastic C2 - canales adyacentes)
- Versión de amplificación común (para canales adyacentes) no requiere combinador externo
- Amplificador RF redundante y enchufable en caliente en versiones C2
- Diferentes interfaces de entrada para cada módulo transmisor:
  - 1 entrada ASI (TS, BTS, T2MI, SMPTE-310M, ETI)
  - 1 entrada GBE (TS over IP o EDI)
  - Opcional: 1 receptor de satélite DVB-S/S2 incorporado (single o multi-stream con módulo CAM)
  - Opcional: 1 receptor con entrada RF para configuraciones repetidor/gap-filler
- Totalmente compatible con las modulaciones DVB-T/H/T2, ISDB-T/Tb, ATSC, DAB/DAB+/T-DMB
- Matriz de RF y ASI para la gestión de la redundancia de cada módulo
- Re-Multiplexer/Layer Combiner/Convertidor TS-BTS (188 a 204 byte) para el estándar ISDB-Tb
- Circuitos de pre-corrección adaptativa
- 2 receptores GPS / GLONASS de alta estabilidad
- 2 fuentes de alimentación "hot swappable"
- SNMP, interfaz web y pantalla táctil



Transmisor MultiTastic + 1 receptor GPS / GLONASS



Transmisor MultiTastic + 2 receptores GPS / GLONASS



Repetidor MultiTastic + 1 receptor GPS / GLONASS



Repetidor MultiTastic + 2 receptores GPS / GLONASS



MultiTastic con receptor satelital + 1 receptor GPS / GLONASS



MultiTastic con receptor satelital + 2 receptores GPS / GLONASS

## ESPECIFICACIONES

### CONFIGURACIÓN

**Número máximo módulos transmisores:** 8, extraíbles "en caliente"  
**Protección:** N+1, N+2, N+1-M+1

### TRANSMISORES

**Potencia de salida:** 15 W rms por canal (hasta 7 canales) @ MER > 34 dB (versión C1)  
 100 W rms total en amplificación común (versión C2)  
**Rango de frecuencia ágil:** UHF Banda IV y V o VHF Banda III  
**Resolución de frecuencia:** 1 Hz  
**Pre-corrección:** Adaptable  
**Conector salida RF:** N (h), 50 Ohm  
**Amplificador RF:** Redundante y enchufable en caliente en versiones C2

### MODULADOR

#### DVB-T/H/T2

**Norma:** EN300744, EN302304, EN302755 V1.3.1 (DVB-T2-Lite), TS101191, TS102773 (T2-M), TS102034  
**Entradas:** ASI BNC (h), 75 Ohm y RJ45 TS o P 10/100/1000  
 Jerárquica y no jerárquica (DVB-T, utilizando la entrada TS o P)  
**FFT:** 1K (DVB-T2), 2K, 4K, 8K, 16K ext. (DVB-T2), 16K & 18K ext. (DVB-T2), 32K & 32K ext. (DVB-T2)  
**Code rate:** Todas las modalidades disponibles según el estándar  
 Block Short o Normal (DVB-T2)  
 DVB-T: Reed-Solomon (204, 188)  
 DVB-T2: BCH, LDPC  
**Intervalo de guarda:** 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 (DVB-T2), 1/9/128 (DVB-T2), 1/128 (DVB-T2)  
**Constelación:** QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (DVB-T2). Rotadas y no rotadas (DVB-T2)  
**MISO processing:** Compatible

#### ISDB-Tb

**Norma:** ABNT NBR 15601, ABNT NBR 15603  
**Entradas:** ASI TS/BTS BNC (h), 75 Ohm y RJ45 TS/BTS o P 10/100/1000  
**FFT:** Modo 1 (2K), Modo 2 (4K), Modo 3 (8K)  
**Code rate:** 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8  
**Intervalo de guarda:** 1/4, 1/8, 1/16, 1/32  
**Modulación jerárquica:** Hasta 3 niveles  
**Constelación:** QPSK, 16QAM, 64QAM  
**Time interleaver:** Compatible  
**Recepción parcial:** Compatible

#### DIAB/DAB+/T-DMB

**Norma:** EN 300401, ETS 300 799  
**Entradas:** ETL (NIG703), NAS374(6704) o NAS592(6704) BNC (h), 75 Ohm  
 ETL (ETS TS 102 493/RJ45 10/100)  
**Modalidad de transmisión:** Modo I, II, III, IV  
 (automáticamente relevado desde el stream ETL o seleccionable para el usuario)  
**Operación:** MFN o SFN

#### ATSC

**Norma:** A/53, A/110  
**Entradas:** ASI / SMPTE-310M BNC (h), 75 Ohm y RJ45 TS o P 10/100/1000  
**Modulación:** 8-VSB  
**Bit rate de entrada:** 19.39 Mbit/s  
**Ancho de banda:** 6 MHz  
**Retardo de procesamiento:** Hasta 1 segundo (programable)

#### Análogo

**Norma:** B, G, D, K, M, N, J  
**Entradas:** Video BNC (h), 75 Ohm, audio Tini-DG "Mini XLR", 6 Pin (m), 600 Ohm  
**Estándares de color:** PAL, NTSC

### RECEPTOR SATELITAL

**Norma:** ETSI EN 300 421 (DPSK) (DVB-S)  
 ETSI EN 302 307 (DPSK, BPSK, 16APSK) (DVB-S2)  
 ETSI EN 50083-9 (ASI)  
 ETSI EN 50221 (Common Interface)  
**DVB-S2:** VCM, CCM, Multi Stream and Single Stream, Normal & Short FEC frames  
**Symbol rate:** 1 - 45 Msym/s (DVB-S)  
 2 - 45 Msym/s (DVB-S2)  
**Constelación:** DQPSK, 8PSK, 16APSK  
**FEC:** Automática, todas las modalidades disponibles según el estándar  
 Block Short or Normal  
 DVB-S: Reed-Solomon (204, 188)  
 DVB-S2: BCH, LDPC  
**Roll-Off:** 0.2, 0.25, 0.35

**Conector de entrada:** F (h), 75 Ohm  
**Frecuencia:** Banda L, 930-2250 MHz  
**Tensión control LNB:** Ofc. +13/18 Vdc, 22 kHz, 0.25 A (protección de sobrecarga)  
**Nivel entrada RF:** 40 - 100 dBμV (con atenuador)  
**Conector de salida:** BNC (h), 75 Ohm  
**Modalidad:** 188 bytes  
**Bit rate máximo de entrada TS:** 80 Mbps (límite CAM: 72 Mbps)  
**Interfaz CAM:** PCMCIA DVB-T Common Interface  
**Modalidad CA (Conditional Access):** Multicrypt, Simulcrypt  
**Soporte CAS:** Mediaguard, Viaccess, Irdeto, Conax, BISS con Professional multiprogram CAM (descrambling de hasta 24 Elementary Streams) Betacrypt, Cryptoworks, Nagravision con consumer CAM estándar (descrambling de hasta 4 servicios)

### RE-EMISOR/GAP FILLER

#### Entrada RF

**Tipo de señal:** Un canal DTV (DVB-T/H/T2, ISDB-T/Tb, ATSC)  
**Rango de frecuencia:** 170 - 662 MHz (Sintonía ágil)  
**Sensibilidad:** -75 - -15 dBm  
**Selectividad (PI = -40dBm):** > 60 dB ± 4.2 MHz  
 < 6 dB  
**Conversión de frecuencia:** Conversión directa (Zero IF)  
**Pérdidas de retorno:** > 15 dB  
**Conector:** N (h), 50 Ohm

#### Cancelador de ecos

**Nivel de cancelación:** 40 dB, típico  
**Ventana de cancelación:** 20 μs  
**Ventana de cancelación selectiva:** 1.6 μs (time shift 2 hasta 820 μs)  
**Cancelación de Doppler:** Si  
**Relación eco/señal máxima:** +15 dB (rel. señal princ.) típico  
**Retardo total:** < 10 μs

### GPS / GLONASS

**Conector entrada:** N (h), 50 Ohm  
**Conector entrada/salida monitor 10 MHz:** BNC (h), 75 Ohm  
**Conector entrada/salida monitor 1 PPS:** BNC (h), 75 Ohm  
**Ruido de fase:** -140 dBc/Hz @ 10 kHz  
 -150 dBc/Hz @ 100 kHz  
**Estabilidad:** 1e-12 / 24 h con OCXO disciplinado  
**Estabilidad de hold-over:** 5 μs después 5 horas 11 μs después 74 horas, opcional

### MECANICO

**Chasis:** 4U rack 19"  
**Ancho:** 482 mm  
**Altura:** 177 mm  
**Profundidad:** 420 mm sin ventiladores  
**Peso:** 25 Kg

### CONTROL

**Pantalla táctil TFT**  
**Interfaz Web**  
**SNMP**  
**GPIO**

### AMBIENTAL

**Temperatura operativa:** -5°C - 40°C  
**Humedad relativa máxima:** 90%, sin condensación  
**Altitud máxima de funcionamiento:** 2500 m. s.l.m. (>2500 m. opcional)

### ELECTRICO

**Alimentación:** Monofásica 100-240 V - 50/60 Hz, Enchufe IEC320 C14  
**Doble fuente de alimentación:** Extraíble "en caliente" (opcional)  
**Consumo máximo:** 750 W con 8 tarjetas TX a la máxima potencia

### NOTAS

Para cumplir con las normas y límites para la supresión de las emisiones fuera de banda (y, en el caso de los estándares digitales, para mantener las características de las hombreras), el transmisor sólo debe ser utilizado con los filtros adecuados a la salida de RF.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

## ORDERING INFO

DESCRIPCIÓN	Modelo
Chasis básico, 4RU, 8 slots, para alojamiento tarjetas transmisores Multitastic para configuraciones N+1 o N+2, incluye 1 fuente de alimentación, 1 receptor GPS / GLONASS y matriz RF de salida.	MULTITASTIC C1
Tarjeta transmisor de TV digital, 15 W rms, banda UHF, entradas ASI y GbE, incluye matriz ASI	MULTITASTIC 15U
Tarjeta repetidor/gap-filler, 15 W rms, banda UHF, incluye cancelador de eco	MULTITASTIC 15R
Chasis básico, 4RU, 8 slots, para alojamiento tarjetas moduladores para configuraciones N+1 o N+2, incluye 1 fuente, 1 receptor GPS / GLONASS, 1 amplificador RF de banda ancha y matriz RF de salida.	MULTITASTIC C2
Tarjeta modulador de TV digital, entradas ASI y GbE, incluye matriz ASI	MULTITASTIC T
Tarjeta repetidor/gap-filler con cancelador de eco	MULTITASTIC R
OPCIONES	
Fuente de alimentación redundante, extraíble "en caliente"	Opt. A
Amplificador de RF de banda ancha redundante, enchufable en caliente, y módulo de combinación (sólo versiones C2)	Opt. R2
Tarjeta plug-in receptor GPS / GLONASS redundante, extraíble "en caliente"	Opt. G2
Antena GPS / GLONASS, 26 dB LNA, incluye sistema de fijación y 25 mt. de cable coaxial	Opt. KA
Tarjeta receptor de satélite DVB-S/S2, single y multistream, con slot CAM integrado	Opt. S
Tarjeta receptor RF, para operaciones en configuración repetidor/gap-filler	Opt. RM
Matriz de entrada DVB-S/S2 integrada para configuraciones N+1 y N+2	Opt. MS
Matriz de entrada RF integrada para configuraciones N+1 y N+2	Opt. MR
Opción software Remux/Layer Combiner ISDB-Tb y convertidor TS-BTS (188 a 204 byte)	Opt. L
Opción software Dual-cast, añade modulación DVB-T	Opt. T
Opción software Dual-cast, añade modulación DVB-T2	Opt. T2
Opción software Dual-cast, añade modulación ISDB-T	Opt. I
Opción software Dual-cast, añade modulación ATSC	Opt. AT



Panel trasero con doble fuente de poder redundante



**ONEtastic S.r.L**  
 Via Ghislandi, 47 - 25125 Brescia (BS) - Italy  
 Phone: +39 030 3539080 / Fax: +39 030 2683019  
[www.onetastic.com](http://www.onetastic.com) - [info@onetastic.com](mailto:info@onetastic.com)

# ANEXO N° 6: DATASHEET DE LA ANTENA ONMI AT15-802 RYMSA



**AT15-801/802/804**

## Band IV/V low power superturnstile antennas

UHF Superturnstile Antennas for TV applications offer a broadband omnidirectional radiation pattern with excellent circularity, combined with a minimum wind load impact on the supporting mast.

These antenna systems are ideal for top-mounting, and they are supplied ready for installation, fully assembled and enclosed in a GRP cylinder.

### Electrical Specifications

	AT15-801	AT15-802	AT15-804
Frequency range		470-800 Mhz	
VSWR		≤ 1.15:1	
Impedance		50 Ohm	
Polarization		Horizontal	
Peak gain (ref. λ/2 dipole)	1 Bay 5 dBd	2 Bays 8 dBd	4 Bays 11 dBd
3 dB vertical beam width (mid-band)	25°	11°	5.5°
Maximum power handling RMS	2 kW	2 kW / 5 kW	5 kW / 10 kW
Connector type <sup>(1)</sup>	EIA 7/8" male	EIA 7/8" male / EIA 1 5/8" male	EIA 1 5/8" male / EIA 3 1/8" male
Pressurization	Not pressurized		

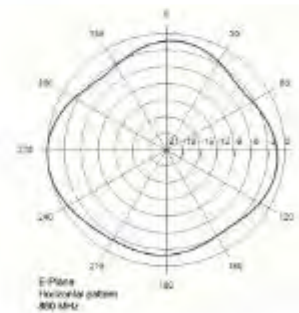
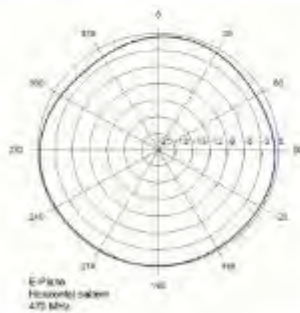


### Mechanical & Environmental Specifications

Materials	Batwings	Aluminium	
	Connectors	Aluminium and brass	
	Isolators	PTFE	
	Radome	Fiberglass	
Radome dimensions (Ø X H)	323 x 1200 mm	323 x 2300 mm	323 x 4600 mm
Weight	27 kg	53 kg	116 kg
Wind Load @ 160 Km/h	323 N	726 N	1228 N
Maximum wind speed		220 km/h	
Grounding		DC grounded	
Temperature range		-40°C to +60°C	
Humidity		100%	

#### NOTES:

- (1) Other connector types under request.
- Others gain values and power handling can be supplied. Please, ask RYMSA RF.



RYMSA RF will reserve the right to make any changes without notice.

E-mail: [info@rymsarf.com](mailto:info@rymsarf.com)  
Web: [www.rymsarf.com](http://www.rymsarf.com)